

TESI DOCTORAL

**DINÀMIQUES DEL PAISATGE AGRARI A L'ALT
EMPORDÀ (1977-1997). UNA ANÀLISI A PARTIR DE LA
TELEDETECCIÓ I DELS SISTEMES D'INFORMACIÓ
GEOGRÀFICA.**

Pere Serra Ruiz

Directors: Dr. David Saurí Pujol
Dr. Xavier Pons Fernández

DEPARTAMENT DE GEOGRAFIA



UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Bellaterra, febrer 2002.

**DINÀMIQUES DEL PAISATGE AGRARI A L'ALT
EMPORDÀ (1977-1997). UNA ANÀLISI A PARTIR DE LA
TELEDETECCIÓ I DELS SISTEMES D'INFORMACIÓ
GEOGRÀFICA.**

Pere Serra Ruiz

A l'Alícia, a en Dídac
i a l'Encarnació
Gràcies per la vostra paciència.

The collection of phenomena must precede the analysis of them, and every new fact, illustrative of the action and reaction between humanity and the material world around it, is another step toward the determination of the great question, whether man is of nature or above her.

G.P. Marsh, 1864

El Ampurdán es una de las comarcas de más personalidad del suelo catalán. Esta personalidad, en parte, ha sido debida a factores de orden geográfico; tal sería el hecho de contar como núcleo esencial una llanura relativamente extensa y abierta al mar, la más amplia de la Cataluña mediterránea. En parte, quizá la más importante, a causas históricas.

El Alto Ampurdán
A. Compte, 1963-64

Índex

Presentació	I
Capítol 1: Introducció	1
1.1 Introducció.....	1
1.2 Objectius.....	8
1.3 Hipòtesis de treball.....	9
1.4 Metodologia i fonts d'informació.....	10
1.5 Estructura.....	14
Capítol 2: Aportacions geogràfiques a l'anàlisi dels canvis en els usos del sòl	17
2.1 La visió holística de la natura i el treball de camp: <i>Man and Nature</i>	17
2.2 L'enfocament culturalista i la fotografia aèria: <i>Man's role in changing the face of the Earth</i>	20
2.3 Les forces inductores i les noves tecnologies: <i>The Earth as transformed by human action</i>	23
2.4 L'estadi actual de la recerca: <i>Land Use and Land Cover Change (LUCC)</i>	28
2.5 Conclusions.....	33
Capítol 3: Alt Empordà: factors biofísics i acció humana	36
3.1 Factors biofísics.....	38
3.1.1 Relleus i sòls.....	38
3.1.1.1 Pirineus de l'Empordà.....	38
3.1.1.2 Zona de transició: els Aspres.....	41
3.1.1.3 Ambients sedimentaris de la Plana.....	43
3.1.2 Xarxa hidrogràfica.....	47
3.1.3 Clima.....	48
3.1.4 Vegetació.....	52
3.2 Acció humana: aprofitament forestal, dessecació d'estanys i canvis agrícoles.....	53
3.2.1 Regadiu tradicional.....	57
3.2.2 Conreus dels anys 1950 i 1960.....	59
3.2.3 El pla de la zona regable de la Muga.....	61
3.2.4 Evolució de la població. Turisme i segones residències.....	61
3.2.5 Situació dels aiguamolls i de l'Albera abans de la protecció.....	66
3.3 Conclusions.....	67
Capítol 4: Teledetecció i canvis d'usos del sòl 1977-1993 i 1991-1997	70
4.1 Introducció.....	70
4.2 Material disponible.....	72
4.3 Metodologia.....	75
4.3.1 Correccions geomètriques.....	75
4.3.2 Correccions radiomètriques.....	77
4.3.3 Fenologia dels conreus herbacis.....	78
4.3.4 Llegenda.....	80
4.3.5 Procés d'anàlisi i tractament de les imatges.....	81
4.3.5.1 Combinacions RGB.....	81
4.3.5.2 <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	83
4.3.5.3 Anàlisi de Components Principals.....	84
4.3.6 Classificació.....	85
4.3.7 Solucions de les classes problemàtiques.....	88
4.3.8 Tests.....	89
4.4 Resultats.....	92
4.4.1 Localització usos del sòl de 1977.....	92
4.4.1.1 Comparació dels resultats amb les dades censals del Ministerio de Agricultura de 1977.....	92
4.4.1.2 Mapa dels usos del sòl de 1977.....	94
4.4.2 Localització dels usos del sòl de 1993.....	95
4.4.2.1 Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP de 1993.....	95

4.4.2.2	Mapa d'usos del sòl de 1993.....	95
4.4.3	Localització dels canvis dels usos del sòl 1977-1993.....	97
4.4.3.1	Comparació dels resultats amb les dades censals.....	97
4.4.3.2	Canvis d'usos del sòl.....	97
4.4.4	Localització dels usos del sòl de 1991.....	103
4.4.4.1	Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP 1991.....	103
4.4.4.2	Mapa usos del sòl de 1991.....	103
4.4.5	Localització usos del sòl de 1997.....	107
4.4.5.1	Comparació dels resultats amb les dades censals de 1997.....	107
4.4.5.2	Mapa usos del sòl de 1997.....	107
4.4.6	Localització canvis usos del sòl 1991-1997.....	108
4.4.6.1	Comparació dels resultats amb les dades censals.....	108
4.4.6.2	Canvis d'usos del sòl.....	108
4.5	Conclusions.....	110
Capítol 5:	Anàlisi de les forces inductores dels canvis d'usos del sòl.....	118
5.1	Consideracions prèvies a l'anàlisi municipal.....	119
5.2	Consideracions prèvies a l'anàlisi píxel a píxel.....	120
5.3	Forces inductores dels usos del sòl de 1977.....	121
5.3.1	A escala municipal.....	121
5.3.1.1	Caracterització socioeconòmica	121
5.3.1.2	Regressió lineal múltiple.....	129
5.3.2	A escala de píxel.....	131
5.3.2.1	Caracterització biofísica.....	121
5.3.2.2	Regressió logística múltiple.....	133
5.4	Forces inductores dels usos del sòl de 1993.....	139
5.4.1	A escala municipal.....	139
5.4.1.1	Caracterització socioeconòmica.....	139
5.4.1.2	Regressió lineal múltiple.....	143
5.4.2	A escala de píxel.....	143
5.4.2.1	Caracterització biofísica.....	143
5.4.2.2	Regressió logística múltiple.....	145
5.5	Evolució de les forces inductores 1977-1993.....	149
5.5.1	Canvis en el sector agrícola.....	149
5.5.1.1	Conreus herbacis.....	149
5.5.1.2	Conreus llenyosos.....	152
5.5.2	Canvis en el sector forestal.....	154
5.5.3	Canvis en els prats i pastures.....	156
5.5.4	Canvis en la superfície urbana.....	159
5.6	Forces inductores dels usos del sòl de 1991.....	160
5.6.1	A escala municipal.....	160
5.6.1.1	Regressió lineal múltiple.....	160
5.6.2	A escala de píxel.....	161
5.6.2.1	Caracterització biofísica.....	161
5.6.2.2	Regressió logística múltiple.....	163
5.7	Forces inductores dels usos del sòl de 1997.....	166
5.7.1	A escala municipal.....	166
5.7.1.1	Caracterització socioeconòmica.....	166
5.7.1.2	Regressió lineal múltiple.....	170
5.7.2	A escala de píxel.....	170
5.7.2.1	Caracterització biofísica.....	170
5.7.2.2	Regressió logística múltiple.....	172
5.8	Evolució de les forces inductores 1991-1997.....	174
5.8.1	Canvis en el sector agrícola.....	174

5.8.2 Altres canvis.....	186
5.9 Conclusions.....	186
Capítol 6. Conseqüències socioambientals dels canvis en els usos del sòl 1977-1997.....	192
6.1 Impactes paisatgístics.....	192
6.1.1 Consideracions prèvies sobre el paisatge.....	192
6.1.2 Evolució paisatgística.....	195
6.1.2.1 Zona muntanya.....	195
6.1.2.2 Zona transició.....	197
6.1.2.3 Plana.....	200
6.2 Impactes sobre el cicle hidrològic.....	204
6.2.1 Inundacions.....	204
6.2.2 Sequeres.....	207
6.2.3 Contaminació.....	209
6.3 Conclusions.....	211
Capítol 7. Conclusions finals.....	214
Bibliografia	225

Índex de Taules

Capítol 3

Taula 3.1: Àrea d'estudi en ha.....	36
Taula 3.2: Superfície dels regadius dels 1960s.....	58
Taula 3.3: Nombre de parcel·les per mides, cens 1962.....	60
Taula 3.4: Distribució de la superfície agrària segons règim de tinença, 1962.....	60
Taula 3.5: Nombre d'explotacions per mides, 1962.....	60
Taula 3.6: Evolució de la població des de 1718.....	63
Taula 3.7: Habitatges principals i secundaris de 1960 i 1970.....	66

Capítol 4

Taula 4.1: Informació addicional disponible 1970s.....	74
Taula 4.2: Informació addicional disponible 1990s.....	74
Taula 4.3: Matriu de correlacions de les imatges dels setanta (MSS) i de principis dels noranta (TM).....	82
Taula 4.4: Càrregues factorials dels 1970s.....	84
Taula 4.5: Correspondència entre classes espectrals i usos del sòl de MSS 1990s.....	87
Taula 4.6: Freqüència classes espectrals respecte als fruiters.....	88
Taula 4.7: Matriu de confusions CUS MSS 1977.....	90
Taula 4.8: Matriu de confusions CUS MSS 1993.....	90
Taula 4.9: Matriu de confusions CUS TM 1991.....	91
Taula 4.10: Matriu de confusions CUS TM 1997.....	91
Taula 4.11: Comparació dels resultats amb les dades censals del Ministerio de Agricultura de 1977.....	94
Taula 4.12: Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP 1993.....	96
Taula 4.13: Comparació resultats amb les dades censals 1977-1993.....	97
Taula 4.14: Matriu de transicions 1977-1993 en ha.....	98
Taula 4.15: Matriu de transicions 1977-1993 en ha, després d'erosionar.....	98
Taula 4.16: Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP 1991.....	106
Taula 4.17: Comparació dels resultats amb les dades censals del DARP 1997.....	107
Taula 4.18: Comparació dels resultats amb les dades censals 1991 i 1997.....	108
Taula 4.19: Matriu de transicions 1991-1997 en ha.....	109
Taula 4.20: Matriu de transicions 1991-1997 en ha, després d'erosionar.....	109

Capítol 5

Taula 5.1: Relació de les abreviatures emprades per als usos del sòl de 1977.....	123
---	-----

Taula 5.2: Variables incloses en l'anàlisi dels usos del sòl 1977, per municipis.....	124
Taula 5.3: Resultats regressió lineal dels usos sòl 1977 a escala municipal.....	131
Taula 5.4: Caracterització biofísica dels usos sòl 1977 en valors mitjans.....	131
Taula 5.5: Caracterització geològica dels usos del sòl 1977 en %.....	132
Taula 5.6: Resultats de la regressió logística dels usos sòl 1977.....	136
Taula 5.7: Diferents resultats de la regressió logística per al blat de moro de 1977.....	135
Taula 5.8: Resum de les forces inductores dels usos del sòl de 1977 segons la regressió lineal i la logística.....	138
Taula 5.9: Relació de les abreviatures emprades per als usos del sòl de 1993.....	139
Taula 5.10: Variables incloses en l'anàlisi dels usos del sòl 1993, per municipis.....	140
Taula 5.11: Resultats regressió lineal dels usos sòl 1993 a escala municipal.....	143
Taula 5.12: Caracterització biofísica dels usos sòl 1993 en valors mitjans.....	145
Taula 5.13: Caracterització geològica dels usos del sòl 1993 en %.....	146
Taula 5.14: Resultats de la regressió logística dels usos sòl de 1993.....	147
Taula 5.15: Resum de les forces inductores dels usos del sòl de 1993 segons la regressió lineal i la logística.....	148
Taula 5.16: Evolució de les forces inductores 1977-1993.....	151
Taula 5.17: Usos del sol de 1991 per municipis.....	161
Taula 5.18: Resultats regressió lineal dels usos sòl 1991 a escala municipal.....	162
Taula 5.19: Caracterització biofísica dels usos sòl 1991 en valors mitjans.....	162
Taula 5.20: Caracterització geològica dels usos del sòl 1991 en %.....	163
Taula 5.21: Resultats de la regressió logística dels usos sòl de 1991.....	165
Taula 5.22: Resum de les forces inductores dels usos del sòl de 1991 segons la regressió lineal i la logística.....	166
Taula 5.23: Relació de les abreviatures emprades per als usos del sòl de 1997.....	167
Taula 5.24: Variables incloses en l'anàlisi dels usos del sòl 1997, per municipis.....	168
Taula 5.25: Resultats regressió lineal dels usos sòl 1997 a escala municipal.....	171
Taula 5.26: Caracterització biofísica dels usos sòl 1997 en valors mitjans.....	172
Taula 5.27: Caracterització geològica dels usos del sòl 1997 en %.....	172
Taula 5.28: Resultats de la regressió logística dels usos sòl de 1997.....	174
Taula 5.29: Resum de les forces inductores dels usos del sòl de 1991 segons la regressió lineal i la logística.....	176
Taula 5.30: Evolució de les forces inductores 1991-1997.....	177
Taula 5.31: Evolució del % d'autoabastament de productes agraris a la Unió Europea.....	179
Taula 5.32: Preus d'intervenció estipulats per la PAC abans de la reforma de 1992 en ptes/tm.....	180
Taula 5.33: Pagaments compensatoris de la PAC als petits productors, a partir reforma 1992.....	182
Taula 5.34: Pagaments compensatoris de la PAC als productors professionals a partir 1992.....	183
Taula 5.35: Subsidis PAC segons règims per municipis; hectàrees primades en milers de pessetes.....	184
Taula 5.36: Guaret obligatori (<i>set aside</i>) en ha, per municipis.....	186

Capítol 6

Taula 6.1: Evolució paisatgística zona muntanya 1977-1993 per usos sòl.....	207
Taula 6.2: Evolució paisatgística zona muntanya 1991-1997 per usos sòl.....	209
Taula 6.3: Evolució paisatgística zona transició 1977-1993 per usos del sòl.....	210
Taula 6.4: Evolució paisatgística zona transició 1991-1997 per usos del sòl.....	212
Taula 6.5: Evolució paisatgística de la Plana 1977-1993 per usos sòl.....	213
Taula 6.6: Evolució paisatgística de la Plana 1991-1997 per usos sòl.....	214

Índex de Mapes

Capítol 3

Mapa 3.1: Àrea d'estudi.....	37
Mapa 3.2: L'Empordà.....	39
Mapa 3.3: Geologia.....	40
Mapa 3.4: Altituds.....	42
Mapa 3.5: Pendents.....	42
Mapa 3.6: Xarxa hidrogràfica.....	46
Mapa 3.7: Temperatura mitjana de les mínimes anual.....	50

Mapa 3.8: Temperatura mitjana de les màximes anual.....	50
Mapa 3.9: Temperatura mitjana anual.....	50
Mapa 3.10: Precipitació anual.....	51
Mapa 3.11: Radiació solar mitjana anual.....	51
Mapa 3.12: Pla de la zona regable de la Muga per sectors.....	62

Capítol 4

Mapa 4.1: Intensificació agrícola: de prats i pastures a conreus herbacis.....	111
Mapa 4.2: Intensificació herbacis regadiu: de resta herbacis de secà a blat de moro i resta regadiu.....	111
Mapa 4.3: Abandonament de vinyes i oliveres: convertides a matolls.....	111
Mapa 4.4: Transformació de vinyes a resta herbacis de secà.....	111
Mapa 4.5: Transformació d'oliveres a resta herbacis de secà.....	112
Mapa 4.6a: Regeneració forestal dels incendis de 1978: de matolls a esclerofil·les.....	112
Mapa 4.6b: No regeneració forestal dels incendis: de matolls a matolls.....	112
Mapa 4.7: Incendis forestals de 1986: d'esclerofil·les a matolls.....	112
Mapa 4.8: Increment fruiters en detriment de la resta d'herbacis.....	114
Mapa 4.9: Increment urbanització en detriment de la resta d'herbacis.....	114
Mapa 4.10: Abandonament de prats i pastures: a superfície forestal.....	114
Mapa 4.11: Usos del sòl 1977 erosionats.....	115
Mapa 4.12: Usos del sòl 1993 erosionats.....	116
Mapa 4.13: Intensificació agrícola: de prats a herbacis.....	124
Mapa 4.14: Intensificació herbacis regadiu: de resta herbacis de secà a blat de moro i resta regadiu.....	124
Mapa 4.15: Canvis interns: de resta herbacis de secà a gira-sol.....	124
Mapa 4.16: Abandonament agrícola: d'herbacis a matolls.....	124
Mapa 4.17: Concentració fruiters: d'herbacis a fruiters.....	126
Mapa 4.18: Regeneració incendis forestals: de matolls a esclerofil·les.....	126
Mapa 4.19: Transformació vinyes: de resta de secà a vinyes.....	126
Mapa 4.20: Transformació o abandonament vinyes: de vinyes a resta secà o matolls.....	126
Mapa 4.21: Usos sòl 1991 erosionats.....	127
Mapa 4.22: Usos sòl 1997 erosionats.....	128

Capítol 5

Mapa 5.1: Resultat del mostreig aleatori del 10%.....	122
Mapa 5.2: Superfície afectada pels incendis de 1978.....	128
Mapa 5.2: Superfície afectada pels incendis de 1986.....	144
Mapa 5.4: Zones PEIN.....	155

Annexos

Annex 1: Usos del sòl de 1977.....	243
Annex 2: Usos del sòl de 1993.....	244
Annex 3: Usos del sòl de 1991.....	245
Annex 4: Usos del sòl de 1997.....	246

Índex de Figures

Capítol 1

Figura 1.1: Esquema de l'estructura de la tesi doctoral.....	16
--	----

Capítol 2

Figura 2.1: Forces implicades en el canvi ambiental.....	27
Figura 2.2: Els tres components principals del LUCC.....	30

Capítol 3

Figura 3.1: L'Empordà al segle XVIII.....	44
---	----

Figura 3.2: Antiga zona palustre.....	44
Figura 3.3: Nivells piezomètrics dels aqüífers de la Muga i del Fluvià.....	49
Figura 3.4: Evolució població 1718-1970.....	64
Capítol 4	
Figura 4.1: Remostreig segons el veí més proper.....	76
Figura 4.2: Fenologia dels cereals d'hivern.....	79
Capítol 5	
Figura 5.1: Gràfica de la funció logística.....	134
Figura 5.2: Recta de regressió entre habitatges secundaris i superfície urbana (dependent).....	188

Presentació

Tot va començar fa cinc anys quan em vaig entrevistar amb el Dr. David Saurí: vaig anar-li a plantejar el meu interès per continuar el tercer cicle, quan feia mig any que havia obtingut la llicenciatura. Després d'un període de treball conjunt, vàrem acordar demanar una beca predoctoral i que em matriculés en el Màster de Teledetecció de l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, dirigit pel codirector d'aquesta tesi, el Dr. Xavier Pons.

La tesi doctoral que es presenta a continuació s'emmarca en la línia d'investigació sobre el canvi ambiental recent, a escales intermèdies, del Departament de Geografia de la UAB. En concret, s'encabeix en dos projectes; el primer és el Projecte Archaeomedes, finançat per la UE i titulat: "*Human Ecodynamics and land use conflict: monitoring degradation-sensitive environments in the Empordà, North-east of Spain*". L'objectiu bàsic era l'anàlisi de les dinàmiques socioambientals, relacionant la urbanització, l'agroindústria i les infraestructures amb els problemes de degradació ambiental.

El segon és un projecte finançat per la CICYT que porta per títol "Dinámica socioeconómica y cambio en los usos del suelo. Análisis de causas y consecuencias en medios rurales mediterráneos". Aquest projecte va permetre realitzar tota una sèrie d'enquestes als agricultors altempordanesos que ha representat una font d'informació qualitativa de vital importància per entendre els processos que analitzarem a continuació.

Voldria donar les gràcies, per les dades facilitades, a l'Anna Roca de la Cambra Agrària Provincial de Girona, al Sr. Cruset del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de Girona i al Sr. Manel Monterde de l'Agència Catalana de l'Aigua; al Sr. Carles Dalmases, al Sr. Joan Masó, al Dr. Joan Pino, al Dr. Raimon Salvador i al Dr. Ricardo Diaz-Delgado del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals pel suport que sempre m'han ofert; al Dr. Miquel Ninyerola del Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia de la UAB per les dades facilitades; al Dr. Pere Puig i al Sr. Llorenç Badiella del Servei d'Estadística de la UAB per la seva paciència; als Drs. Joan Cals i Joan Bach de la UAB i al Dr. Albert Compte de Figueres pels seus savis consells.

També voldria agrair l'ajut que sempre m'han ofert els companys David Pavon, Montse Ventura, Lluís Ribera i Montse Pujades i als doctors Anna Ribas i Pere Pujol de la Universitat de Girona.

Voldria esmentar l'agraïment als companys del Departament de Geografia que m'han donat suport en tot moment: Anna Vera, Jordi Cristóbal, Albert Pèlachs, i Francesc Romagosa. Voldria també fer extensiu l'agraïment a la Dra. Helena Estalella, a la Dra. Montserrat

Domingo, al Dr. Joan Manel Soriano, al Dr. David Molina i al Sr. Jordi Nadal del Departament de Geografia per les consultes realitzades.

Finalment, voldria agrair als directors d'aquesta tesi, el Dr. David Saurí i el Dr. Xavier Pons, l'ajut i confiança que en tot moment han dipositat en mi.

A la tesi doctoral s'adjunta un CD amb part de les imatges de satèl·lit emprades en l'anàlisi, així com diverses fotografies fetes per l'autor amb l'objectiu de donar més consistència a les conclusions. Per visualitzar-les només cal clicar sobre l'arxiu [index.htm](#) que instal·la el programa.

Capítol 1: Introducció

1.1 Introducció

Des de l'aparició dels éssers humans, aquests han modificat la Terra a través de l'aprofitament dels seus recursos dessecant estanys i llacunes, talant boscos i conreant el sòl entre d'altres accions. Així, els canvis en els usos del sòl a diverses escales i en diferents períodes són les expressions materials de les interaccions entre les dinàmiques humanes i les mediambientals (Briassoulis, 2000).

Des del segle XIX, multitud d'estudis i recerques han intentat quantificar aquests canvis i extreure'n les conseqüències ambientals que en resulten. Recentment, es calcula que un 66% del 128 milions de quilòmetres quadrats de sòls de la Terra són usats per a la producció o habitació dels humans (Ludevid, 1995). Els humans, doncs, hem expandit les activitats a tots els racons de la superfície terrestre i, avui, els canvis en les cobertes i usos del sòl esdevenen una força inductora del canvi global de primer ordre (Veldkamp i Fresco, 1996).

Actualment és possible traçar algunes generalitzacions de les tendències més importants dels canvis en els usos i cobertes del sòl a escala planetària, especialment en relació als conreus, boscos, pastures i assentaments humans (Riebsame *et al.*, 1994; Meyer i Turner II, 1996). Els conreus, possiblement, han estat la transformació humana més extensa, multiplicant-se per set la seva superfície des del 1700. La superfície forestal ha sofert des del 1800 un retrocés al voltant del 15%, mentre que les pastures han sofert des del 1700 una lleugera disminució. Finalment, es calcula que un 2% de la superfície terrestre pot ser considerada com urbana, on hi viu, però, la meitat de la població mundial. De tota manera cal considerar que aquestes tendències no són uniformes, sinó que depenen de la regió; així, per exemple, l'expansió dels conreus i la disminució de la superfície forestal es veu aturada, en general, a l'Europa Occidental (des dels anys 1950) on, per tant, s'estaria produint el procés invers.

Així, doncs, la transformació de la Terra a causa de l'acció humana ha estat molt significativa i insistent. Els processos de canvi es caracteritzaven en el passat per ser uns ritmes de transformació relativament lents, prolongats en el temps, mentre que a partir de la Revolució Industrial els processos s'han accelerat en intensitat i extensió (Nogué, 1986; Turner II *et al.*, 1990; Moreira, 1995), com veurem detalladament en el capítol següent.

Els canvis en els usos 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 dels fluxos d'energia.

- ❖ Contribueixen als canvis dels cicles biogeoquímics.
- ❖ Modifiquen els cicles hidrològics.
- ❖ Influeixen en la complexitat ecològica.

Les conseqüències de les transformacions es manifesten cada vegada en més àmbits, des de l'escalfament climàtic potencial, fins a la degradació del sòl o a la pèrdua de biodiversitat. El concepte de canvi ambiental, tant des de la vessant sistèmica o global (emissions de diòxid de carboni a l'atmosfera, etc.) com acumulativa¹ (desforestació, erosió del sòl, etc.), ha d'incloure, doncs, la persistent influència de l'acció humana en les condicions i processos de la superfície terrestre (Riebsame *et al.*, 1994; Turner II, 1994).

En els països desenvolupats els canvis han comportat sobreproducció alimentària, reducció de la diversitat biològica, amb predomini dels monocreus, reducció de la diversitat paisatgística i degradació dels recursos hídrics per contaminació (Moreria, 1995; Rodà, 1998).

L'anàlisi de la distribució espacial de les cobertes i usos del sòl és, doncs, un requeriment essencial per a una gran quantitat de disciplines i recerques (European Commission, 1998). Podem trobar exemples en l'àmbit de la planificació territorial (Pujol i Pujadas, 1996; Viñas i Baulies, 1995), en l'estudi de les dinàmiques paisatgístiques (Poudevigne *et al.*, 1997; Ihse, 1995) i dels corredors biològics (Pino *et al.*, 1998), així com en l'estudi de riscos i impactes ambientals. Entre aquests darrers destaquen la contaminació (Bouma *et al.*, 1998), la desertització (European Commission, 1998), la desforestació (Lambin, 1998; Skole *et al.*, 1994) i els incendis forestals (Badia, 2000).

Per tant, l'obtenció d'un coneixement exhaustiu 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'anàlisi de les transformacions de la superfície terrestre a diferents escales (Meyer i Turner, 1996).

A partir de mitjans de la dècada de 1960 les àrees rurals mediterrànies han experimentat profundes transformacions ambientals i socials, destacant dos tipus de processos: l'especialització i intensificació agrària, d'una banda, i l'abandonament, d'una altra. Ambdós es relacionen, a grans trets, amb la progressiva hegemonia de la producció capitalista i del canvi d'orientació de la producció, des de l'autosuficiència vers el mercat local, regional i mundial. Segons Ceón (1987), l'artificialització de l'agricultura ha rebutjat aquelles terres que no eren

¹ És a dir, serien aquells canvis com la desforestació que no estan connectats a cap sistema que funcioni globalment (com ara l'atmosfera o els oceans) però que poden adquirir un caràcter global en funció de la seva magnitud.

aptes per acollir el procés de modernització, quedant abandonades o emprant-se estensivament (prats, etc.). Per tant, el resultat és una distinció més clara entre espais productius i espais seminatural.

La degradació i/o simplificació paisatgística i la contaminació han afectat sobretot les planes on la intensificació ramadera i agrícola ha estat més important. D'altra banda, la degradació més significativa ha vingut donada per la intensificació urbanística, molt clara en el litoral. Les àrees de muntanya, contràriament, han experimentat un abandonament generalitzat de les activitats rurals tradicionals, a causa de la despoblació i de l'envelliment, donant-se un increment de la superfície forestal per colonització espontània dels conreus i pastures abandonats.

La transformació de l'agricultura mediterrània plasmada en diferents modalitats d'ocupació i usos del sòl ha produït conseqüències significatives a nivell socioambiental: així la relativa estabilitat i diversitat que caracteritzava les àrees rurals quaranta anys enrera s'ha vist substituïda per una certa tendència a l'homogeneïtzació dels paisatges i per una major vulnerabilitat a les perturbacions físiques, com els incendis forestals, sequeres, inundacions i contaminació, i també socials, com la desintegració de la unitat familiar camperola i el despoblament (Cabero, 1998).

Històricament, les fonts geogràfiques per a l'obtenció i localització dels usos del sòl i dels seus canvis han estat les següents (Whitby i Ollerenshaw, 1988):

1. El treball de camp, que inclou l'observació visual directa i les enquestes sobre el terreny (*land-use surveys*, en anglès), comporta molts problemes d'interpretació i de localització; aquest darrer problema es veu, recentment, millorat gràcies a una cartografia més detallada i exacta i a l'ús de la tecnologia del *Global Positional System* (GPS). Altres problemes que comporta és el seu elevat cost, la possible subjectivitat dels enquestats, els errors deliberats per motius fiscals, etc. Per grans extensions de terreny normalment es requereix l'establiment de mostres representatives.
2. La fotografia aèria ha millorat la possibilitat d'obtenir informació de grans àrees d'estudi. Un exemple és el vol de tota Catalunya de 1956-57, que vist avui és un document de gran valor per comprendre els canvis en els usos del sòl, malgrat que la qualitat en algunes zones sigui baixa (pancromàtic en blanc i negre) i, per tant, difícil de fotointerpretar. De tota manera cal ressaltar la millora en la qualitat de les imatges i els diversos tractaments cromàtics (visible color, infraroig color, etc.) que han donat lloc a excel·lents productes com els ortofotomapes a escala 1:25 000 i 1:5 000 de l'Institut Cartogràfic de Catalunya, produïts majoritàriament en el darrer decenni.

Un altre aspecte a considerar és la resolució temporal, o sigui, l'existència de determinats vols que poden no ser adequats o ser incomplets pels objectius perseguits. D'altra banda, les fotografies aèries presenten força distorsions a causa de la geometria cònica de la captació i de l'escassa elevació de la plataforma des de la qual es capten, els avions; a més, les escales són aproximades. Per tant, la comparació de fotografies de diferents anys (i possiblement a escales diferents) pot comportar problemes.

En general els productes obtinguts de l'anàlisi de les fotografies aèries presenten unes llegendes poc desenvolupades pel que fa als usos agrícoles, que són de gran importància a l'àrea d'estudi com veurem més endavant; així, sol representar-se un gran grup que comprèn els conreus, o els conreus herbacis i els conreus llenyosos. Dins els conreus herbacis no es sol diferenciar cap ús a causa de la seva dificultat, fet més factible amb imatges de satèl·lit (Barbosa *et al.*, 1996), mentre que en relació als llenyosos es sol diferenciar els fruiters, les vinyes i les oliveres en el millor dels casos, com per exemple en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos del Ministerio de Agricultura (1978).

3. La teledetecció amb imatges de satèl·lit ha adquirit en els darrers anys una gran importància con a tècnica aplicada a l'observació de la Terra. Aspectes com la disponibilitat d'imatges periòdiques de les àrees d'interès o el format digital i georeferenciat de les imatges, li confereixen un gran avantatge respecte a la fotografia aèria i al treball de camp (Stuttard, 1992; Serra *et al.*, 2000). Així per exemple, el 1985 la Comissió Europea va promoure el programa *Coordination of Information on the Environment (CORINE)* amb l'objectiu d'inventariar, coordinar i comptabilitzar la informació de 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 fotointerpretació d'imatges del satèl·lit Landsat-5 captades amb el sensor Thematic Mapper (TM), l'any 1987. La llegenda s'estructurà jeràrquicament en tres nivells; el nivell més estratificat comprenia quaranta-quatre classes, ampliable segons les característiques de cada estat (Fuller i Brown, 1996).

Un altre exemple d'aplicació de la teledetecció és el projecte de la Unió Europea *Monitoring Agriculture with Remote Sensing (MARS)*, iniciat el 1988 i dut a terme pel *Joint Research Centre* situat a Ispra (Itàlia). L'objectiu principal era iniciar una metodologia per inventariar àrees conreades i obtenir estimacions de les productivitats agrícoles per unitat de superfície (Perdigao *et al.*, 1995; Genovese *et al.* 1999).

Com que el coneixement de les superfícies destinades als diversos usos, la seva distribució i evolució en el temps, es configura com una de les eines bàsiques del coneixement territorial que conduirà a la planificació i gestió integral del territori, l'Institut Cartogràfic de Catalunya confeccionà el Mapa d'usos del sòl de Catalunya a 1:250 000 a partir d'imatges del satèl·lit Landsat-5, captades pel sensor Thematic Mapper, durant el 1987 (actualitzant-se el mapa el 1992 i el 1997), amb una llegenda de vint usos i cobertes del sòl (Viñas i Baulies, 1995). Aquests mapes poden ser consultats a l'adreça d'Internet www.gencat.es/mediamb/sig/sig.htm.

De tota manera, es vol emfasitzar que totes aquestes fonts no són excloents, ans el contrari, poden ser complementàries ja que la teledetecció pot ajudar-se de la fotografia aèria per interpretar i del treball de camp per verificar possibles dubtes, com ha estat el cas d'aquesta tesi.

Un dels problemes que pot donar-se a l'hora de la detecció de canvis en els usos del sòl és la comparació de dues cobertes extretes de fonts diferents, per exemple, comparar els usos provinents de fotografia aèria i d'imatges satèl·lit (per exemple a Fox *et al.*, 1995), ja que entre d'altres qüestions (resolució temporal, etc.), el nivell de detall és molt diferent (Whitby i Ollerenshaw, 1988). Treballar amb fotografia requereix la digitalització de la fotointerpretació, i, per tant, es produeix una inevitable generalització, mentre que les imatges satèl·lit poden contenir més diversitat d'informació (segons la resolució espacial, evidentment).

En relació a les limitacions en la localització dels usos del sòl alienes a la teledetecció es voldria comentar uns quants aspectes observats en la Memòria de Recerca i que també han afectat aquesta tesi (Serra, 1998; Serra *et al.*, 1998). La primera limitació va ser que la resposta radiomètrica d'un camp en guaret pot ser diversa, depenent de si ha estat llaurat recentment quan el sensor capta la imatge, amb la qual cosa donaria una resposta molt semblant al sòl nu, o no, amb la qual cosa i a causa de l'existència d'herbassar o restes de conreu, donaria una resposta molt semblant al matoll o al secà. La següent va ser la impossibilitat de diferenciar els prats i pastures (les closes pròpiament) de la vegetació de les maresmes (canyissars, etc.) en la zona dels aiguamolls; les similars condicions d'inundació aconsellaren encabir-les en una mateixa categoria.

Una altra limitació va ser la localització de l'horta i dels llegums ja que són conreus amb una superfície d'ocupació molt reduïda; la seva discriminació requeriria l'ús d'imatges amb més resolució espacial i radiomètrica que les emprades en aquesta tesi.

La darrera limitació va ser la diferenciació dels diferents cereals d'hivern. El problema és que tant el blat, l'ordi i la civada quan maduren, a l'estiu, es tornen groguencs i per tant el sensor difícilment els diferenciarà.

Totes aquestes limitacions han comportat que no fos possible aprofundir més en la biodiversitat agrària, o sigui, presentar una llegenda amb més varietat d'espècies de plantes conreades.

El període analitzat en profunditat ha estat el comprès entre 1977 i 1997, a través del qual s'ha intentat copsar els canvis en els usos del sòl; es varen escollir aquests anys perquè s'ha disposat de prou imatges digitals i perquè representen la consolidació dels processos de transformació del paisatge tradicional.

Parlarem de cobertes del sòl -segons Turner II *et al.* (1995) l'estat biofísic de la superfície terrestre- i usos del sòl -com es manipula i amb quina finalitat- indistintament, malgrat les imatges satèl·lit capten cobertes i no usos, però com que en la majoria dels casos les diferències són molt minses s'ha optat per unir-les.

Tanmateix, la línia de recerca d'aquest estudi s'ha dirigit, també, cap a l'anàlisi de les forces inductores dels canvis d'usos del sòl. Aquestes forces, com veurem en el capítol següent, s'han estudiat amb un cert detall a escala global i per a grans conjunts regionals, però la seva concreció a escala subregional/local ha estat insuficient (Briggs i Wyatt, 1988; Veldkamp i Fresco, 1996).

Les forces inductores es subdividiren en dos grans grups (Walker, 1977; Díaz, 1986; Briassoulis, 2000):

1. Factors biofísics: clima, relleu i sòls.
2. Factors humans: pressió demogràfica, desenvolupament econòmic i tecnològic sectorial (règim de tinença de la terra, mida de les explotacions, fertilització, regadiu, mecanització i dessecació, etc.), polítiques i normes, etc.

Un aspecte important a esmentar és el de l'escala de decisió, o sigui, a quina escala prenen les decisions els actors responsables de l'evolució dels usos del sòl. Així, l'escala més gran és la del propietari del sòl, que en el cas del sòl agrícola és l'agricultor. Aquest pot actuar a escala municipal, quan totes les parcel·les que conrea estan localitzades en un mateix municipi, o a escala supramunicipal, quan les parcel·les ultrapassen l'àmbit d'un municipi. En aquesta tesi, l'escala que s'ha analitzat ha estat la municipal, ja que les variables usades estaven agregades a aquesta escala (com per exemple el nombre d'agricultors per municipis, etc.). A escala municipal la planificació es realitza a través del Pla General o de les Normes Subsidiàries, on el sòl agrari està inclòs en l'apartat de sòl no urbanitzable.

Una altra escala de decisió ha estat la catalana, a través de les polítiques adoptades per la Generalitat de Catalunya, amb la creació, per exemple, del Parc dels Aiguamolls de l'Empordà,

com analitzarem més endavant. Una tercera escala ha estat l'estatal, a través de les polítiques adoptades pels governs de Madrid, amb el desenvolupament, per exemple, del Pla de regadiu de la Muga o amb el control de les polítiques de preus agraris. Finalment, la darrera escala ha estat l'europea analitzada essencialment mitjançant la Política Agrària Comuna.

Més detalladament, les decisions en matèria agrícola estan influenciades per la rendibilitat del mercat, els avenços tecnològics, la formació, les estructures agràries, la tradició, l'opinió pública, les mesures polítiques i l'exemple dels altres agricultors² (Comisión Europea, 1998). A més podríem afegir les circumstàncies particulars de l'entorn familiar, l'estat de salut dels agricultors, etc. (Briggs i Wyatt, 1988).

Així, doncs, l'establiment de les forces inductores ha estat una feina feixuga i serà, finalment, una anàlisi parcial i acotada de la realitat ja que els factors poden ser interminables. En aquest sentit, cal esmentar la impossibilitat d'incloure variables significatives com el preu del sòl (només disponible pel 1981), o la manca de sèries temporals completes, o la manca d'un criteri homogeni en el temps, o l'existència d'errors.

Un darrer aspecte que es voldria comentar és el relacionat amb el paisatge. L'Alt Empordà presenta, sens dubte, un dels paisatges de Catalunya més interessants, tant des del punt de vista agrari com del cultural. La característica més especial és la seva biodiversitat d'ecosistemes: d'aiguamolls, agrícoles, etc.

Hi ha diversos exemples de treballs relacionats amb l'anàlisi paisatgística a través de fotografies aèries i censos. Per exemple, Ihse (1995) analitza els canvis en els usos del sòl en els 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 components principals; Power i Cooper (1995) analitzen els canvis succeïts a Irlanda, mentre que Poudevigne *et al.* (1997) ho fan pels paisatges rurals francesos.

En aquesta tesi, la font emprada per a l'anàlisi paisatgística ha estat la classificació 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, denominats taques (*patches* en anglès). Hi ha diversos exemples de treballs de quantificació del paisatge a través dels resultats obtinguts amb teledetecció (Quattrochi i Pelletier, 1991; Chuvieco, 1996a; Geoghegan *et al.*, 1998). En el nostre cas, el càlcul de diversos índexs ha permès comparar l'evolució paisatgística fruit de l'acció humana.

² Malgrat que històricament l'invidualisme ha caracteritzat als agricultors empordanesos (Compte, 1963-64).

1.2 Objectius

Els models aplicats als usos del sòl poden cercar diferents objectius (Riebsame *et al*, 1994):

1. Descripció: inventari simple o detallat de les cobertes i usos del sòl.
2. Explicació: connexió dels canvis en les cobertes i usos del sòl a les causes biofísiques i socials.
3. Predicció: dels canvis futurs.
4. Prescripció: a través de la planificació basada en criteris normatius i objectius socials, com la preservació, l'eficiència econòmica o la igualtat social, per exemple.

Els objectius generals d'aquesta tesi han estat dos: primer, l'establiment d'una metodologia, aplicant la teledetecció i els sistemes d'informació geogràfica, per a l'anàlisi de les transformacions dels usos del sòl. Aquest objectiu forma part de la descripció detallada dels usos del sòl per a cada període considerat: 1977, 1993, 1991 i 1997. També inclou la descripció dels canvis produïts entre els períodes 1977-1993 i entre 1991-1997.

Un segon objectiu és l'aplicació de l'anàlisi estadística per a l'establiment de les forces inductores dels canvis i com aquests han afectat al paisatge altempordanès; formaria part de la fase d'explicació. En la Memòria de Recerca presentada el juliol de 1998 (Serra, 1998) es varen analitzar les forces inductores dels canvis d'usos del sòl des d'una perspectiva qualitativa; ara l'objectiu ha estat aprofundir en l'anàlisi però des d'una perspectiva més quantitativa.

Finalment, en les conclusions s'esmenten algunes prediccions i prescripcions, sobretot en relació a la preservació mediambiental i paisatgística de l'Alt Empordà.

Els objectius concrets han estat els següents:

1. Anàlisi dels processos de canvi d'usos del sòl al llarg dels segles fins a mitjans de 1970, com a punt de partida del període d'estudi: de 1977 a 1997. L'interès es basa a copsar com les transformacions tecnològiques, econòmiques, polítiques i socials varen canviar el paisatge empordanès fins al 1970.
2. Cartografia dels usos i canvis d'usos del sòl a través de la teledetecció i dels sistemes d'informació geogràfica, entre 1977 i 1993 amb imatges del sensor Multispectral Scanner i entre 1991-1997 amb imatges del sensor Thematic Mapper, contrastant quantitativament els resultats amb les dades censals de les administracions (Ministerio de Agricultura per al 1977

i Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca per al 1991,1993 i 1997), com a suport per estimar la qualitat dels mapes obtinguts.

3. Anàlisi de les característiques i evolució de les forces biofísiques i socioeconòmiques inductores del canvi d'usos del sòl; aquestes forces són, esquemàticament: els factors biofísics (clima, relleu, etc.), l'estructura del sector agrari (concentració parcel·lària, la Política Agrària Comuna, etc.), la població i el turisme i les polítiques de conservació de la natura.
4. Anàlisi de les conseqüències dels canvis d'usos del sòl, en relació al paisatge i al cicle hidrològic, on s'inclouen les inundacions, les sequeres i la contaminació de les aigües. En concret, s'intentarà copsar l'evolució paisatgística dels usos del sòl (usos predominants, fragmentació, etc.) i l'evolució del cicle hidrològic (increment o reducció de les pèrdues per inundacions, etc.).

1.3 Hipòtesis de treball

La hipòtesi de treball principal és que amb la metodologia emprada podrem copsar, exhaustivament, les principals tendències dels canvis en els usos del sòl entre 1977 i 1997, establir les forces inductores dels canvis i les conseqüències socioambientals resultants.

Tal com s'ha esmentat anteriorment, l'àrea d'estudi no és homogènia ja que presenta significatives divergències biofísiques i socioeconòmiques i, per tant, les dinàmiques paisatgístiques poden ser divergents (Rodà, 1998). Així, es varen establir tres àrees seguint criteris biofísics i humans: la primera va ser la Plana agrícola, fortament antropitzada i amb una altitud que no ultrapassa els 100 m. La segona va ser la zona de transició entre la Plana i la muntanya, que inclou els anomenats Aspres. Finalment, la tercera va ser la part alta de l'àrea d'estudi, la zona de muntanya, caracteritzada per la seva major altitud i pel predomini de la coberta forestal.

Per tant, seguint la tipologia establerta, s'intentarà verificar l'existència i intensitat de les transformacions que en els darrers anys pateixen les àrees rurals mediterrànies. Concretament (Saurí i Breton, 1998):

- La intensificació agrícola de les planes al·luvials, generalment dedicada a l'horta, als farratges i als fruiters. Amb les polítiques d'inversions públiques s'han incrementat les potencialitats del regadiu. La tendència a l'increment de l'agricultura intensiva de regadiu s'ha vist recolzada per la consolidació de la ramaderia industrial.
- Paral·lelament, en el sector agrari mediterrani ha tingut un gran pes l'agricultura de secà, extensiva, on es combina els conreus, els boscos i les pastures. En formaria part la trilogia clàssica mediterrània: el blat, la vinya i l'olivera. En els darrers anys, però, la tendència d'aquesta típica agricultura de secà és clarament decreixent.
- El model poblacional i urbanístic tradicional també ha sofert importants transformacions; podem parlar de dos fenòmens: el primer seria la forta concentració urbanística dels espais costaners, sobretot lligada al fenomen del turisme de masses. El segon seria el despoblament, que afectaria aquelles zones on l'abandonament de les activitats agràries tradicionals de secà ha estat més significatiu.

Per tot plegat, les hipòtesis de les conseqüències socioambientals serien, d'una banda, la modificació paisatgística, en un doble vessant: la primera seria la tendència a l'homogeneïtzació paisatgística en la plana al·luvial, fruit de la intensificació agrícola, i també en la zona de muntanya, fruit de l'abandonament agrari. La segona seria la degradació paisatgística, sobretot a la zona de transició entre la plana i la muntanya, a causa dels incendis forestals potencialment més devastadors degut a l'aforestació espontània de la superfície forestal. De l'altra, seria la modificació del cicle hidrològic, en una triple vessant: l'increment dels danys econòmics de les inundacions, l'augment de les pèrdues per sequeres, agreujades pel model hidrològic desenvolupat, i la creixent contaminació de les aigües, agreujada per la sobreexplotació.

En definitiva, s'intentarà contrastar si es tendeix a una distinció més clara entre els espais productius (la Plana) i els espais seminaturals (la zona de muntanya) i analitzar les possibles implicacions.

1.4 Metodologia i fonts d'informació

Un primer aspecte instrumental important que es voldria comentar és el de la integració entre la teledetecció i els sistemes d'informació geogràfica (SIG) (Johnston, 1998). La integració té dos grans vessants: la primera és l'ús de les cobertes digitals provinents dels SIG com a suport en la interpretació o classificació de les imatges de satèl·lit, a través de la superposició (*ancillary*

data en anglès). Segons Chuvieco (1996a), aquesta integració pot tenir dues fases: la primera és en la classificació, sobretot a través de dades auxiliars per a la confecció de les àrees d'entrenament, i la segona és en la fase de test. En ambdues fases els avantatges dels SIG són evidents ja que es pot tenir informació emmagatzemada obtinguda de fotografies aèries, per exemple parcel·les de fruiters, i sobreposar-la a les imatges satèl·lit per observar quina resposta tenen. El mateix es pot realitzar amb les cobertes que continguin la xarxa de carreteres, de rius, etc. Aquest aspecte ha estat àmpliament debatut, donada la seva importància, a Davis *et al.* (1991), Dobson (1993) i Hinton (1996), entre d'altres.

La segona vessant és que el producte final de la classificació amb teledetecció (un mapa forestal, de cobertes i usos del sòl, etc.) es pot emprar com a coberta per a l'anàlisi SIG, ja que un requisit bàsic d'aquest darrer és la disponibilitat d'una bona base de dades, operativa i actualitzada. Per tot plegat, la integració d'ambdós instruments ens pot permetre, sens dubte, una anàlisi més exhaustiva per a qualsevol tipus de recerca.

En els transcurs de la tesi doctoral que es presenta s'ha fet servir tota una sèrie d'operacions típiques dels sistemes d'informació geogràfica; en concret s'han emprat les següents (Johnston, 1998):

1. Operacions realitzades sobre cobertes individuals:
 - Mesures dels atributs: freqüències, estadístiques, etc.
 - Mesures de mida: àrea i perímetre, longitud, etc.
 - Índexs extrets de l'Ecologia del Paisatge: fragmentació, etc.
 - Agregació espacial a través de la moda per a l'obtenció de màscares.
 - Remostreig de la mida de píxel a través d'interpoladors.
 - Agregació de grups de píxels amb el mateix atribut.
 - Reclassificació dels atributs.
 - Eliminació de píxels amb un cert valor.

2. Operacions realitzades usant més d'una coberta:
 - Superposicions de les capes per obtenir l'àrea comuna, etc.
 - Operacions matemàtiques: restes de capes, multiplicacions per aplicar màscares, etc.

L'anàlisi dels canvis d'usos del sòl amb teledetecció s'ha realitzat a través del mètode de la comparació postclassificació, o sigui, comparar els successius mapes obtinguts, enlloc d'analitzar els canvis directament (Singh, 1989; Camacho *et al.* 2000). Aquest fet comportà la

necessitat de comparar els mapes obtinguts amb el mateix sensor, ja que la diferent resolució espacial (diferent mida de píxel i d'*instantaneous field of view* (IFOV: és l'angle sòlid a partir del qual un detector és sensible a la radiació)), radiomètrica (longitud d'ona) i espectral (nombre de bandes) podria donar resultats erronis. Per tant, s'ha realitzat l'anàlisi en dos subperíodes per evitar els problemes descrits: de 1977 a 1993 amb imatges del sensor Multispectral Scanner i de 1991 a 1997 amb Thematic Mapper. A més amb aquesta metodologia s'ha intentat analitzar més detalladament els canvis d'usos del sòl recents, donada la major resolució espacial i espectral del sensor Thematic Mapper. O sigui, el que s'ha realitzat ha estat comparar els resultats a la mateixa escala, és a dir, comparar els usos del sòl a la mateixa mida de píxel, l'objecte més petit que es pot distingir en una imatge (Wulder, 1998).

Un altre aspecte molt important en el mètode de postclassificació és l'exactitud geomètrica dels mapes obtinguts ja que s'han de sobreposar i, per tant, s'ha de tenir en compte els errors planimètrics ja que si no es pot estar arribant a resultats ficticis (Serra *et al.*, 2001).

L'anàlisi de les forces inductores dels canvis d'usos del sòl s'ha realitzat a través de la regressió lineal multivariant i de la regressió logística multivariant. Hi ha diversos exemples d'aplicació de la regressió lineal multivariant a l'anàlisi dels usos del sòl com a variables dependents a diverses escales administratives. Per exemple, Koning *et al.* (1998) empenen el mètode per a una anàlisi en parròquies d'usos del sòl extrets dels censos a l'Equador. Wood i Skole (1998) apliquen l'anàlisi als usos del sòl extrets d'imatges satèl·lit en diversos municipis de l'Amazònia. En general, però, els resultats mostren uns coeficients de determinació (R^2 : mesura l'ajust del model) força baixos, com els seus autors reconeixen, i les variables dependents -els usos sòl- estan expressades en percentatge d'ocupació, fet que pot distorsionar l'anàlisi, així com el baix nombre de variables independents usades.

Com que els usos del sòl són variables categòriques (1 = urbà, 2 = rius, etc.), la regressió lineal no és aplicable directament ja que no admet aquest tipus de dades com variables dependents; el que es realitzà va ser convertir-les en hectàrees d'ocupació per a cada municipi, o sigui, en variables contínues. El problema que es presentà a continuació va ser que teníem molt pocs casos, concretament vint-i-un municipis, i que alguns usos del sòl només estaven presents en determinats municipis, amb la qual cosa l'anàlisi podia donar resultats molt esbiaixats. La solució, doncs, passà per aplicar, també, la regressió logística multivariant que permet treballar amb les variables categòriques originals sense modificar. Amb les dues opcions realitzades es compararen els resultats obtinguts.

Cal remarcar que en ambdues regressions s'han emprat un elevat nombre de variables independents per analitzar els usos del sòl, fet que diferencia la nostra anàlisi de la resta de

recerques consultades. Així, per exemple, per als 1970s s'empraren 82 variables amb la regressió lineal i 43 amb la logística.

Un altre aspecte important a esmentar és el relacionat amb la combinació de factors biofísics i socioeconòmics. Aquest és, sens dubte, un tema de vital importància en els darrers projectes de recerca, molt clar, per exemple en el *Land Use and Land Cover Change* (Lourenço *et al.*, 1999). El problema essencial que es presenta és de tipus espacial: els factors socioeconòmics són extrets de censos agregats a escala municipal i, per tant, quan es rasteritzen tots els píxels corresponents a un municipi tindran el mateix valor, mentre que els biofísics estan expressats a escala de píxel (de diferents mides) i poden ser tant dades contínues (temperatures, etc., obtingudes amb mètodes d'interpolació) com categòriques (geologia). A més a més s'havia de combinar tota aquesta informació amb els usos del sòl que són, tal com hem esmentat anteriorment, dades categòriques.

Davant d'aquesta problemàtica hi havia dues opcions: la primera era rebutjar l'anàlisi conjunta tal com Camacho *et al.* (2000) afirmen o la segona, que és per la qual es va optar, aplicar la regressió logística ja que aquesta té l'avantatge d'admetre tot tipus de dades.

Les fonts d'informació emprades han estat les següents: en referència al procés històric del canvi paisatgístic, la font emprada ha estat la compilació bibliogràfica i estadística, tant des d'una perspectiva biofísica (formació geològica, clima, etc.), com humana (dessecaments, etc.); d'ella s'ha extret tota la informació qualitativa i quantitativa (mitjançant l'elaboració de taules) relacionada amb els vint-i-un municipis analitzats. Aquest procés també s'ha aplicat per a l'establiment de les forces inductores dels canvis d'usos del sòl de 1977 a 1997. Concretament, s'ha emprat fonts provinents de:

- Institut d'Estadística de Catalunya
- Centre d'Estudis Demogràfics (UAB)
- Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de Girona
- Cambra Agrària Provincial de Girona
- Biblioteques de la Universitat Autònoma de Barcelona
- Biblioteques de la Universitat de Girona
- Biblioteques de la Universitat de Barcelona
- Biblioteques de la Universitat Politècnica de Catalunya
- Joint Research Centre (Ispra, Itàlia)

En relació a les fonts cartogràfiques digitals, aquestes han estat:

- Imatges satèl·lit adquirides a Eurimage: totes les de 1996 i 1997; la resta varen ser cedides pel Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF).
- Mapa Topogràfic de l'Alt Empordà a 1:50 000 i a 1:5 000 de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC). Extracció de la xarxa hidrogràfica, de carreteres, corbes de nivell, etc.
- Model digital d'elevacions (MDE) i de pendents realitzats amb MiraMon a partir de les corbes de nivell de l'ICC.
- Mapa Geològic del Instituto Tecnológico Geominero. Fulls 220-La Jonquera (1987-88) i 258-Figueres (1988-89) a escala 1:50 000.
- Radiació solar, temperatura mitjana màxima anual, temperatura mitjana anual, temperatura mitjana mínima anual, precipitació: Ninyerola *et al.* (2000) i <http://magno.uab.es/atles-climatic/>
- Fotos aèries dels 1970s escanejades en blanc i negre.
- Ortofotomapes a 1:25 000 en color de l'ICC amb un píxel de dos metres.
- Pla de regadius de la Muga del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1989).
- Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN): web del Departament de Medi Ambient: www.gencat.es/mediamb/sig/bases.htm
- Incendis forestals: Diaz-Delgado, R. (2000).

La premsa escrita, tant local com comarcal i sectorial, ha permès analitzar l'evolució temporal de les conseqüències socioambientals (inundacions, sequeres, etc.). En concret s'han consultat els següents diaris, periòdics i revistes: Hora Nova, L'Empordà, La Terra, Joves Agricultors i Revista de Girona.

Finalment, els softwares essencialment emprats han estat: MiraMon 4.0, Idrisi per a Windows 2.0, SPSS 10.0 i Fragstats 2.0.

1.5 Estructura

El treball s'ha dividit en set capítols comptant el present, al final de cadascun dels quals es presenten unes conclusions (figura 1.1). El segon capítol és una aproximació teòrica de les principals aportacions geogràfiques en relació als canvis d'usos del sòl, des del segle passat fins avui, en el marc més general de l'estudi de les relacions societat-medi. En ell s'emfasitza l'ús d'una font de localització geogràfica dels usos del sòl, segons l'aportació analitzada; així,

s'identifica el treball de camp amb l'obra de G.P. Marsh del segle XIX, la fotografia aèria amb el treball del Simposi de Princeton de 1955 i la teledetecció i els sistemes d'informació geogràfica amb el Simposi de Clark de 1987 i amb el projecte *Land Use and Land Cover Change*, iniciat el 1993.

En el tercer capítol es presenta l'àrea d'estudi des d'una doble perspectiva: la biofísica, a través de la formació geològica, xarxa hidrogràfica, clima i vegetació, i la humana, a través dels canvis soferts per l'acció humana des de l'Edat Mitjana fins a mitjans de 1970.

En el quart capítol es presenta la metodologia emprada per a l'obtenció de la cartografia dels usos del sòl a través de la teledetecció, des de l'adquisició de les imatges digitals fins als resultats finals, tant en referència als mapes obtinguts com a la comparació amb les dades estadístiques de les administracions.

En el capítol cinquè s'analitzen les forces inductores dels canvis d'usos del sòl a través de l'anàlisi estadística. Inicialment, es presenta la caracterització biofísica dels usos del sòl (o sigui, en relació a les temperatures, etc.) expressada en valors mitjans. A continuació, s'analitzen els resultats obtinguts amb la regressió lineal multivariant i amb la regressió logística multivariant. Per a cada període de referència s'ha escollit una sèrie de variables explicatives; per exemple per al 1977 les variables agrícoles provenien del Cens Agrari de 1972 o de 1982, per al 1991 i 1993 del cens de 1989 i per al 1997 del cens de 1999.

En el capítol sisè s'analitzen els efectes ambientals dels canvis d'usos del sòl en relació a l'evolució del paisatge, a les inundacions, al dèficit hídric i a la contaminació de les aigües.

Finalment, en el capítol setè es presenten les conclusions finals amb els principals resultats de la recerca i la seva valoració.

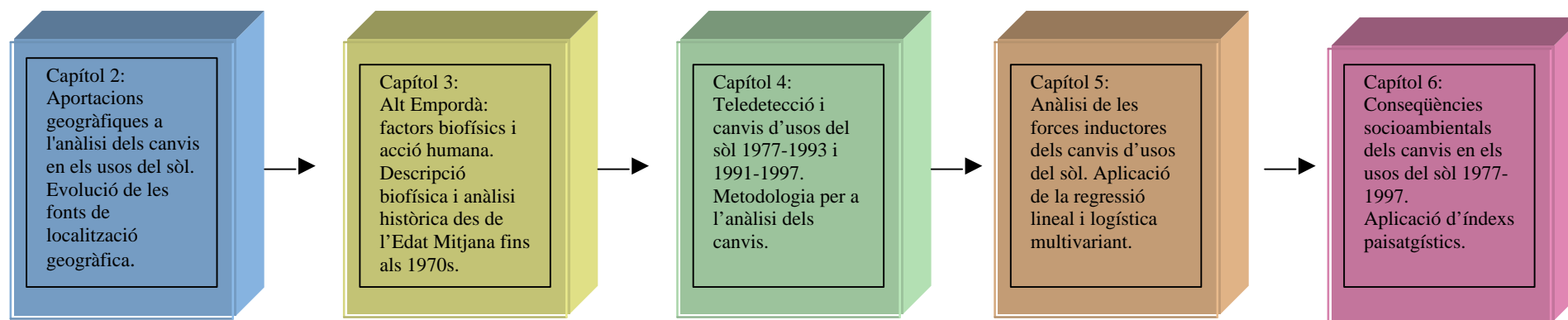


Figura 1.1: Esquema de l'estructura de la tesi doctoral.

Capítol 2: Aportacions geogràfiques a l'anàlisi dels canvis en els usos del sòl

En aquest capítol es pretén analitzar, breument, algunes de les aportacions més significatives que des de la Geografia s'han realitzat a l'estudi de les relacions entre la natura i la societat a través dels usos del sòl. A través d'elles s'intentarà copsar l'evolució metodològica i instrumental de l'anàlisi dels canvis en els usos del sòl mitjançant la següent qüestió: de quina forma la societat ha alterat, a partir d'un període determinat, les condicions mediambientals i quines han estat les conseqüències d'aquests canvis?

Les obres objecte d'anàlisi han estat: *Man and Nature* de G.P. Marsh de 1864, considerada la primera obra que sistematitzà i analitzà les transformacions de les societats en relació al paisatge. Les següents es caracteritzen pel caràcter multidisciplinar dels equips de recerca; dues són el resultat d'un simposi: *Man's role in changing the face of the Earth* de 1956, on s'emfasitzava la capacitat humana per alterar el seu medi natural, segons les conductes culturals que diferenciaven un grup humà dels altres i *The Earth as transformed by human action* de 1987, considerada l'actualització del simposi de 1956 en relació als efectes paisatgístics i l'ampliació en relació al canvi ambiental a llarg termini. La darrera és el projecte *Land use and land cover change (LUCC)*, iniciat el 1993, que correspondria a l'estadi actual de la recerca de les relacions societat-medi, a través dels usos del sòl, des de l'escala local a la mundial.

2.1 La visió holística de la natura i el treball de camp: *Man and Nature*

George Perkins Marsh (1801-1882), erudit i diplomàtic, redactà les seves experiències, des del Vermont natal (Estats Units) fins els seus viatges pel Mediterrani, per mostrar com l'espècie humana modificava la natura. La seva obra principal, de la qual es resumiran les idees fonamentals, fou *Man and Nature; or Physical Geography as Modified by Human Action*, que aparegué publicada el 1864.

La idea bàsica de l'obra era: “*that man was subverting the balance of nature to his own detriment*” (pàg. XVIII). La tala i crema de boscos, pràctica habitual dels agricultors del seu poble natal, precipitaven impactes massa importants; així deia: “*...Every middle-aged man who revisits his birth-place after a few years of absence, looks upon another landscape than that which formed the theatre of his youthful toils and pleasures*” (pàg. XVII).

Fruit, doncs, de la seva experiència personal, Marsh plantejà la preservació forestal i la reforestació com a requisit imprescindible per a la conservació dels sòls i de les aigües, així com la protecció de les conques, globalment enteses (Lowenthal, 1953; Goudie, 1992). Un punt clau és que Marsh entenia la natura com a una unitat, combinant el calvinisme, el romanticisme i l'idealisme germànics per destacar el rol de l'ésser humà.

L'estructura del llibre parteix d'una introducció on tracta les conseqüències de l'acció humana sobre la superfície terrestre. Així, per exemple, atribueix la decadència física de l'Imperi Romà a la desforestació, erosió i a l'abandonament de la terra, tot plegat com a resultat de la ignorància vers les lleis de la natura. Segons Marsh la capacitat de danyar la Terra augmentava amb els canvis tecnològics; per a l'obtenció d'un equilibri ambiental i per reparar aquest dany, proposava un estudi exhaustiu de cada continent i contramesures pràctiques immediates.

En els quatre capítols següents analitza la història de la pressió humana exercida sobre la vida vegetal i animal, en els boscos, en les aigües i en els sòls, posant especial èmfasi en els efectes de la desforestació a causa de la intensa preocupació dels científics de començaments del segle XIX sobre aquest fet. El darrer capítol tracta dels probables canvis geogràfics fruit dels projectes previstos aleshores, com eren el canal de Panamà o el drenatge del Zuider Zee i especula sobre la prospecció d'aigua als deserts, la disminució dels terratrèmols i de les erupcions volcàniques. Conclou afirmant que les accions humanes poden alterar l'estructura, composició i destí de la Terra.

Marsh examinà l'impacte humà, conscient o inconscient, en relació als components de la natura abans esmentats, a través de les següents qüestions:

- En quina mesura l'ésser humà pot modificar i millorar les condicions físiques de la superfície terrestre i del clima de les qual depèn el seu benestar?
- En quina mesura pot compensar, aturar o retardar el deteriorament degut als processos agrícoles i industrials?
- En quina mesura pot restaurar la fertilitat i salubritat dels sòls, les quals la seva follia ha malmès?

Els objectius de Marsh varen ser (Lowenthal, 1960; Lowenthal, 1965):

- ❖ Analitzar el caràcter i extensió dels canvis produïts per l'acció humana en les condicions físiques del globus, a través de l'acció humana i la reacció de la natura.
- ❖ Indicar la necessitat de prudència en totes les operacions que interfereixen, a llarg termini, amb les disposicions espontànies del món orgànic i inorgànic.

- ❖ Suggestir la possibilitat i la importància de la restauració de les harmonies trencades (amb la reforestació, la creació de noves reserves i el retorn dels torrents al seu desguàs superficial original) i la millora material de les regions explotades.
- ❖ Incidentalment, il·lustrar que l'ésser humà és un poder d'un ordre superior que cap de les altres formes de vida.

Així, doncs, Marsh creia en la necessitat de restaurar les terres antigament explotades i tenir cura de les noves, en una era de migració internacional (segle XIX) (Lowenthal 1960). També creia en l'equilibri de la natura i en la consideració de que les activitats humanes són destorbadores d'aquest balanç, fent desaparèixer els organismes rivals i afavorint els que li proporcionen aliment i vestir. Per tant, cada planta, animal i ésser humà és un agent geogràfic; l'ésser humà sent destructiu i les plantes -i els animals en certa mesura- sent restauradores. Finalment, incidí sobre l'increment dels contrastos climàtics com a resultat de la desforestació i sobre els canvis resultants del drenatge dels llacs, de la reforma de les maresmes i de la fixació de les dunes.

La metodologia de Marsh es pot resumir en els següents punts (Martí i Aran, 1994; Lowenthal, 1960; Lowenthal, 1965):

- Compilació bibliogràfica, gràcies al coneixement de vint llengües, usant de cada material els aspectes pràctics i de valoració real dels impactes, assolint un elevat grau d'objectivitat de fets concrets.
- Treball de camp, ja que Marsh sabia interpretar la configuració del terreny, trobar les arrels del paisatge o del medi biòtic i físic que observava.
- Anàlisi interdisciplinària i holística junt al reconeixement de la multidimensionalitat del concepte de medi ambient. Per ell la Geografia era un mètode de síntesi més que una disciplina amb un objectiu únic.
- Avaluació i definició dels impactes ambientals a través de la datació històrica de l'evolució de diversos bioindicadors, com la diversitat d'espècies faunístiques o la pervivència d'espais forestals.

Així, doncs, podem concloure que l'aportació de Marsh va ser sobretot pràctica, ja que creia que abans de realitzar qualsevol actuació s'havien de sospesar els resultats i actuar conseqüentment. En aquest sentit, creia, per exemple, que els beneficis del Canal de Suez havien de pesar més que els efectes ecològics adversos.

2.2 L'enfocament culturalista i la fotografia aèria: *Man's role in changing the face of the Earth.*

El llibre és el resultat d'un simposi internacional interdisciplinari ¹ organitzat per la Fundació de Recerca Antropològica Wenner-Gren a Princeton (New Jersey), el juny de 1955. Actuaren com a copresidents Carl O. Sauer, professor de Geografia de la Universitat de Califòrnia; Marston Bates, professor de Zoologia de la Universitat de Michigan i Lewis Mumford, professor de Planificació Urbana de la Universitat de Pennsylvania. El president fou William L. Thomas Jr., cap del departament de Geografia a l'escola estatal de Hayward, a Califòrnia.

L'obra analitzada es divideix en tres parts:

- *Retrospect*, presidida per C.O. Sauer, proporciona un coneixement general del canvi en l'era moderna, traçant la duració i varietat de les transformacions humanes en la Terra, des de l'ús del foc fins a la urbanització de la societat.
- *Process*, presidida per M. Bates, analitza els mètodes i les accions dels canvis humans en relació als paisatges, als sòls, a les aigües, al clima i a les comunitats biòtiques.
- *Prospect*, presidida per L. Mumford, tracta els efectes de les accions humanes sobre la habitabilitat continuada de la Terra i sobre el curs de la seva pròpia evolució.

Segons W. L. Thomas Jr., editor del volum, s'estava a mitjans de 1950 en un període extraordinari de la història de la humanitat, a causa de l'increment de la població, de la urbanització, etc. i es plantejava si serien capaços els participants de comprendre l'excepteionalitat del moment i el seu significat.

La història del rol de l'ésser humà per canviar la superfície terrestre comença amb la invenció del foc i la domesticació de les plantes i animals; segueix amb el comerç, les guerres, les migracions i l'expansió del transport i dels assentaments i culmina amb el desenvolupament de la mineria i de la manufactura moderna. Segons els autors, cada grup humà ha hagut d'organitzar la seva vida amb el seu medi ambient, amb les tècniques disponibles i els valors acceptats com a desitjables. La intensificació, ús i cura dels recursos és, en darrer terme, un problema de valors humans i de comportament; les dificultats han distingit un grup humà d'un altre.

¹ Els setanta participants del simposi formaven part de vint-i-quatre disciplines diferents, des de l'Antropologia a la Zoologia, amb la següent disposició: un 40% eren del camp de les ciències de la terra, un 28% de les ciències biològiques, un 12% de les ciències socials i de les humanitats i un 20% dels camps aplicats: administració, planificació urbana, etc. (Thomas, 1971).

Els efectes humans sobre la Terra són geogràficament variats i la seva història acumulativa; molts canvis no han estat destructius, molts no han estat planejats i altres no han estat anticipats. Afirment que l'ésser humà, el dominant ecològic del planeta, necessita els erudits de totes les branques del saber per a entendre què ha passat i què li està passant a la Terra sota la seva empremta.

Per tant, doncs, els objectius del simposi varen ser:

- copsar la capacitat de l'espècie humana d'alterar el seu medi natural,
- la forma de realitzar aquesta alteració i
- les seves conseqüències.

En l'apartat posterior a la introducció titulat *Our world from the air: conflict and adaptation*, E. A. Gutkind es plantejava el paper de la fotografia aèria com a instrument bàsic per estudiar els canvis en els usos del sòl plasmats en el paisatge, segons les pautes socials i culturals dels diversos grups humans. La visió sinòptica que oferia la fotografia aèria contenia un doble repte: per una banda forçava a veure les transformacions humanes de la Terra com una revolució permanent i per l'altra permetia experimentar la seva unitat dinàmica com un tot. Els resultats de cada interferència humana en la natura hauria de ser avaluada en relació a la varietat de les condicions mediambientals. L'estudi comparatiu de les transformacions humanes, gràcies a la fotografia aèria, obria el camí cap a una reavaluació del què ha fet i del què pot fer la humanitat a la Terra.

Segons Gutkind, s'havien produït tres cadenes de transformacions, per donar satisfacció a les necessitats humanes bàsiques: refugi, menjar, treball i relació social. El significat de cada cadena havia de ser avaluada en relació a aquestes quatre necessitats, que junt les tres transformacions, formaven un tot insoluble i, com que la condició humana és a tot arreu fonamentalment igual, produïa en condicions similars, resultats similars, malgrat que per a un ull no experimentat semblessin diferents. Aquestes són:

1. La més general és el canvi d'interacció de l'ésser humà amb el medi, des del Jo-Tu a una relació Jo-Allò. El Jo-Tu seria una relació íntima i directa entre l'ésser humà i el medi i entre éssers humans (visible a través de la distribució dels pobles tribals, etc.). Quan aquesta relació esdevé indirecta i estranya (Jo-Allò) es desintegren els lligams simbòlics i es produeix el caràcter amorf de les ciutats modernes. Des de la revolució científica la natura ha estat despersonalitzada i el coneixement de la relació entre societat i natura ha estat esborrada, apareixent l'*home* econòmic en l'horitzó. Aquesta desintegració creixent pot ser vista en la pèrdua d'homogeneïtat dels assentaments rurals i urbans i en l'explotació dels recursos naturals.

2. La segona cadena de transformacions consisteix en quatre escenaris de l'actitud canviant de l'ésser humà respecte al medi:
 - La por a les forces desconegudes de la natura així com a l'hostilitat dels éssers humans porten, sovint, a la col·lectivització del treball junt a la formació de grups integrats (per exemple: els bantus, etc.).
 - Comporta una adaptació més racional del medi vers les necessitats diferenciades; l'ésser humà accepta el canvi de la natura, persistint la relació Jo-Tu (per exemple: els camps d'arròs xinesos, etc.)
 - L'ajust cap el medi desenvolupa l'explotació. Els objectius són il·limitats i creixents en diversitat, així com en desunió. L'ésser humà expandeix el seu espai de vida autoenganyant-se en el rol d'un reformador omnipotent del seu medi (per exemple a través de les cases adossades, etc.). L'explotació dels recursos naturals, l'isolament rural i l'expansió humana han produït una desunió de l'estructura econòmica i social única. Aquest escenari és visible en tots els treballs a través de la fotografia aèria (per exemple: mines de carbó, etc.).
 - Està prenent forma, essent una època de responsabilitat i d'unificació, on comença a tenir cura del seu rol real i de les limitacions que el món l'imposa. La unitat en la diversitat i la unificació emergeixen com les tasques principals en el qual l'ésser humà ha d'actuar com un coordinador (conservació de rols, etc.).

3. La darrera cadena de transformacions representa l'experiència canviant de l'espai en relació a la concepció de l'Univers i de l'escala eixamplada de les activitats humanes. Tres fases poden ser distingides:
 - L'ésser humà és el centre de la vida terrestre i la Terra és el centre de l'Univers, el qual és concebut com a finit i format d'esferes concèntriques (Aristòtil). Totes les activitats humans tenien com a objectiu l'estabilitat i eren limitades en forma i caràcter (per exemple: la gran muralla xinesa, etc.).
 - L'Univers heliocèntric de Copèrnic, on el Sol era el centre, enlloc de la Terra. Els imperis compactes del primer període són reemplaçats per possessions disperses, amb fortificacions complicades (per exemple: la plaça de Sant Pere, etc.).
 - La concepció renaixentista de que l'Univers no té límits, és infinit.

Segons l'autor s'estava, aleshores, en un període formatiu de transformació, ja que les idees antigues de l'espai encara estaven arrelades i les noves concepcions encara no havien trobat una expressió concreta.

Finalment, doncs, cal destacar que en el resum final, Sauer esmenta la seva creença que els éssers humans pertanyen a la natura però que hi ha un aspecte que els fa únics, que és la cultura; com a ser cultural posseeix aspectes especials i un d'ells és la il·lusió de tenir algun control sobre el seu destí. Per tant, recomana prudència i moderació en les actuacions per oferir una Terra en bon estat a les generacions futures (Saurí, 1993).

2.3 Les forces inductores i les noves tecnologies: *The Earth as transformed by human action*

És un llibre que recull les principals aportacions del simposi realitzat a la Universitat de Clark (Massachusetts) l'octubre de 1987. Els editors varen ser: B.L. Turner II i W.B. Meyer de la Graduate School of Geography de la Universitat de Clark, W.C. Clark de la John F. Kennedy School of Government de la Universitat de Harvard, R.W. Kates del Alan Shawn Feinstein World Program de la Universitat de Brown, J.F. Richard del Department of History de la Universitat de Duke i J.T. Matthews del World Resource Institute. Els precursors de la recerca eren Marsh, el qual consideren un clàssic entre els treballs desafiadors de la inexhauribilitat de la Terra, i el Simposi de Princeton, el qual tenia l'inconvenient de la manca d'un concepte unificat de les relacions societat-natura, fruit de la recerca i reflexions d'erudits individuals. El títol del simposi és una paràfrasi de Marsh que engloba la idea de que la humanitat havia alterat fonamentalment la Biosfera.

L'obra es compon d'una introducció i de quatre seccions principals, cadascuna de les quals comença amb una introducció de l'editor de la secció. En el capítol introductori s'esmenten els antecessors intel·lectuals i es tracen algunes de les perspectives bàsiques de les relacions societat-natura dels darrers 300 anys. Les quatre seccions són:

Secció I: Canvis en la població i en la societat. Analitza les cinc principals forces humanes de canvi dels darrers 300 anys: població, tecnologia, institucions, organització/cultura, localització de la producció i consum i urbanització.

Secció II: Transformacions del medi ambient global. Consisteix en un balanç de les principals transformacions de la Biosfera degudes a l'acció humana en els darrers 300 anys. El primer capítol estableix el context per avaluar els canvis d'origen natural a llarg termini; la resta de capítols intenten traçar els canvis en els següents components: terra (transformació de la terra, boscos i sòls), aigua (ús i transformació, fluxos i qualitat), oceans i atmosfera (constituents

atmosfèrics, medi ambient marí i clima), biota (fauna terrestre i marina i flora) i químiques i radiació (carboni, sulfur, fòsfors i nitrogen i altres contaminants).

Secció III: Estudis regionals de les transformacions. Aquesta secció es compon de dotze casos d'estudi que documenten les interaccions multivariables del canvi mediambiental dels darrers 300 anys per àrees específiques. Un d'ells té una perspectiva a llarg termini mentre que la resta han estat agrupats segons criteris socioeconòmics i mediambientals com són les fronteres tropicals, les terres altes, les planes, el sud i el nord poblats.

Secció IV: Entendre les transformacions. Examina un rang de perspectives i teories que intenten explicar les accions humanes respecte a la Biosfera.

Els objectius del simposi i del volum es poden resumir en tres:

- Documentar les principals transformacions en el fluxos i paisatges de la Biosfera des del segle XVII, a escala global.
- Contrastar els models globals de canvi amb els experimentats a nivell regional.
- Explorar les principals forces humanes que han produït els canvis.

Aquests objectius s'intenten aconseguir a través de les següents qüestions: com hem transformat la Terra?, com aquestes transformacions canvien la nostra relació amb la natura?, com aquestes transformacions afecten la vida humana?

La Biosfera, segons els editors, és un complex sistema de formes de vida, hàbitats i fluxos. Marsh i el simposi de Princeton abordaven aquells aspectes que estaven fixats al lloc o podien ser examinats en el lloc. Aquests eren els paisatges de la Geografia clàssica, mentre que a partir de 1955 incrementa l'atenció als fluxos dels materials i de l'energia que són en constant moviment a través de la Biosfera.

El mateix que en el Simposi de Princeton, R.W. Kates, B.L. Turner II i W.C. Clark plantegen l'excepcionalitat del moment: durant els darrers 300 anys (inici de la Revolució Industrial) els canvis mediambientals han estat, fonamentalment, produïts per la humanitat a través del ràpid increment de la població (5 mil milions d'habitants l'any 1987) i del desenvolupament de la societat industrial a través d'energies no renovables. Segons els autors els resultats no tenien precedents:

- Pèrdua neta de boscos equivalent a 8 milions de km² (més o menys l'extensió dels Estats Units); més de tres quartes parts s'han perdut des de 1680.
- 150 milions de tones per any de sulfur abocades a l'Atmosfera.
- El consum humà anual d'aigua, el 1987, equivalia, més o menys, a 3600 km³.

Seguidament, exposen que transformar és efectuar un canvi fonamental en la natura; la Biosfera ha estat transformada pel gènere humà, intencionadament o no. La transformació s'ha incrementat a través del temps, mentre que les escales han canviat, des de la local i regional, a la planetària. Primàriament actuava sobre els estats visibles terrestres, com la coberta forestal, però aleshores (1987) s'estaven alterant els fluxos químics i energètics que sustenten la vida. Des del Simposi de Princeton no s'havia fet cap esforç per documentar i entendre la interacció de l'*home* i dels sistemes mediambientals a llarg termini i des d'una perspectiva global.

Aquest volum, doncs, aportava els primers resultats d'aquest esforç ja que aleshores era possible:

- El seguiment de les transformacions humanes a escala global.
- Estimar les seves trajectòries des dels segles passats amb algun grau de fiabilitat.
- Entendre les interaccions d'aquests processos a escala regional.

Això era possible gràcies als avenços de la ciència, concretament:

- Als nous camins per conceptualitzar la unitat de la Biosfera, com ho mostra l'ample ús del terme mateix.
- Als nous esforços col·lectius per adquirir dades i analitzar la seva complexitat.
- A la revaluació d'algunes de les avingudes que uneixen comportament social amb transformacions mediambientals.

Seguidament plantegen la següent pregunta: quina és o hauria de ser la relació dels humans amb la Terra?. Segons ells, aquesta relació ha estat debatuda en diferents països i en diferents corrents intel·lectuals, dominant tres clares perspectives:

- ❖ La societat en harmonia amb la natura: des de l'arcàdic, romàntic i biocèntric/ecocèntric punt de vista dels segles XVIII, XIX i XX, respectivament. Almenys dues versions existien: una prescriptiva, el gènere humà hauria d'actuar en harmonia amb la natura, i una descriptiva, les activitats humanes estan necessàriament en harmonia amb la natura. Ambdós arguments, però, poden sovint ser trobats dins la mateixa escola de pensament.
- ❖ La humanitat està determinada per la natura: aquesta equival al determinisme geogràfic i era usada per a justificar les aspiracions globals de les societats imperialistes. El tema clau és el rol de la natura per modelar les característiques socials.

- ❖ La humanitat com a modificadora de la natura en diverses formes: els orígens són el llibre del Gènesi i la doctrina cristiana, etc. En general, la perspectiva de modificació separa la societat de la natura més que les altres dues; els humans són vistos com els que tenen el poder i en algunes versions el deure o l'obligació de modelar la natura.

Aquestes perspectives, que es poden entrecreuar, han convergit, encara que incompletament, en una ètica: fer el mínim mal a la Biosfera. Els orígens i justificacions és diversa, implicant un sentit diferent de desenvolupament sostenible, tant en quantitat com en qualitat.

Segons Kates, Turner II i Clark, el desenvolupament de noves tecnologies d'acumulació i d'anàlisi de dades ha permès la disponibilitat d'una quantitat i qualitat d'informació anteriorment inimaginable. La disponibilitat de variables múltiples d'interacció del sistema humà amb el medi, junt a la computerització de les bases de dades, l'emergència dels sistemes d'informació geogràfica i de les imatges satèl·lit ha permès fer un seguiment del medi global sobre una base contínua.

Dins dels models de transformació global diferencien:

- Les magnituds: la magnitud total de l'impacte humà ha estat considerable; els efectes terrestres són els més visibles (una superfície equivalent a França submergida per pantans, per exemple), però els canvis en els fluxos biogeoquímics, que sostenen la Biosfera i que poden no ser observats, poden ser dramàtics per a la protecció de l'ozó.
- Trajectòries: els estudis d'aquest volum han permès les comparacions quantitatives de l'impacte de l'activitat humana en relació a deu indicadors de la Biosfera, en quartils i en percentatges, que són: les àrees desforestades, la diversitat de vertebrats terrestres, el consum d'aigua, la població, les emissions de carboni, de sulfur, de fòsfor, de nitrogen de plom i la producció de tetràclorid de carboni. D'aquests, el creixement de la població, les àrees desforestades, el carboni i l'extinció dels vertebrats terrestres havien incrementat el primer quartil de canvi en temps de Marsh.

El creixement de la població actua com la força inductora principal reduint, substancialment, els boscos i vertebrats. Per contra, la meitat d'aquests components han canviat més des del període del Simposi de Princeton que en tota la història anterior. Aquestes dades il·lustren la natura acumulativa de la transformació humana.

Analitzant els components anteriors, quatre trajectòries extremes de canvi són possibles:

- ◆ Esgotament de la biodiversitat de vertebrats.
- ◆ Desenvolupament de la desforestació global.
- ◆ Emissions de gasos.

◆ Desviació dels fluxos d'aigua.

Aquests models de canvi comporten almenys tres models de transformació mediambientals associats a les tres grans economies tecnopolítiques dels darrers 300 anys: l'agrària, la industrial i la industrial avançada.

Com s'ha esmentat anteriorment, s'estudien dotze casos regionals a través dels indicadors de densitat de població, de salut i d'urbanització. La primera trajectòria es veu representada per les regions densament poblades del món desenvolupat, en una fase d'indústria avançada, representades per la badia de Hudson, Suïssa i Suècia. La darrera trajectòria inclou les regions tropicals de Malàsia-Borneo i l'Amazònia, amb problemes de desforestació i destrucció del sòl.

En relació als processos socials de transformació, els components primaris de les forces inductores són la població, la capacitat tecnològica i l'organització sociocultural. Almenys des de Malthus (1798), la població ha estat vista com un agent transformador a causa de la demanda de menjar, combustible, roba i refugi; si incrementa, augmenta la demanda. La capacitat tecnològica implica tant l'elaboració del coneixement tècnic com les condicions socials per la seva mobilització. L'organització sociocultural inclou les estructures polítiques, econòmiques, normes i valors socials, afectant sobretot la demanda (figura 2.1).

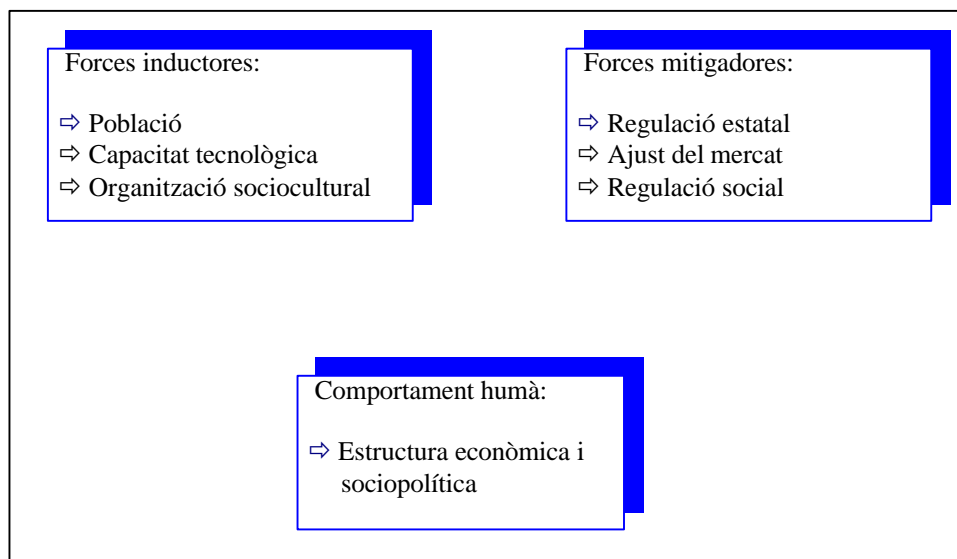


Figura 2.1: Forces implicades en el canvi ambiental.

Finalment, les característiques de les diverses classes de transformacions són les següents:

- La magnitud del canvi mediambiental induït per la societat a escala global ha estat i és molt significativa.
- La majoria d'impactes, a escala global, han estat bastant recents; la major part de components estudiats han adquirit el 50% del seu nivell de canvi després de la segona meitat d'aquest segle.
- Els recents increments en els canvis dels fluxos biogeoquímics poden tenir impactes tant en la composició de l'Atmosfera com en el seu clima.
- Un descens en el percentatge d'alguns components ha estat recentment observat mentre que en d'altres encara incrementen. El descens es deu a iniciatives per a la seva mitigació.
- La transformació terrestre varia segons les regions, magnituds, activitats i densitats.
- Els models de transformació comporten percepcions i respostes variables; aquest fet junt a les condicions socioeconòmiques de cada regió dificulten el consens global.
- La transformació global de l'Atmosfera és deguda, en primer lloc, al creixement de la població, seguida per la capacitat tecnològica i per l'organització sociocultural. Són necessaris més estudis empírics per documentar l'ordre específic d'aquestes forces de canvi dins de les regions específiques i dels períodes històrics.
- Una teoria acceptada generalment de les relacions medi-societat no ha estat desenvolupada, malgrat l'existència de les primeres nocions emergents.

2.4 L'estadi actual de la recerca: *Land use and land cover change* (LUCC)

Es tracta d'un projecte de recerca interdisciplinari conjunt, iniciat el 1993, entre l'International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) i l'International Human Dimensions Programme (IHDP) amb quatre objectius generals, en la línia de l'estudi anterior (Turner II et al., 1995; Lambin et al., 1999):

- Obtenir un millor coneixement de les forces inductores del LUCC global.
- Investigar i documentar les dinàmiques geogràfiques i temporals del LUCC.
- Definir els lligams entre sostenibilitat i diversos usos del sòl.
- Entendre la interrelació entre el LUCC, els cicles biogeoquímics i el clima.

La recerca conté tres grans línies d'anàlisi: la primera (focus 1) és la dinàmica dels usos del sòl a través de l'anàlisi comparativa de diversos casos d'estudi. La segona (focus 2) és la dinàmica de les cobertes del sòl a través d'observacions empíriques (treball de camp i teledetecció) i de models de diagnosi. Finalment, la tercera (focus 3) és la integració entre els models regionals i els globals.

Per al desenvolupament de l'estructura de la recerca s'han establert dues activitats integradores:

1. Dades i classificació: l'objectiu és identificar i desenvolupar les principals bases de dades, integrant els mapes dels usos del sòl, obtinguts amb fotografia aèria i imatges satèl·lit. També dissenyar una estructura de classificació que s'adigui a les diverses necessitats de cadascun dels tres àmbits de recerca. La classificació s'ha de caracteritzar per la comprensió, que complementi altres classificacions (dels sòls, etc.), que sigui a llarg termini i que tingui una unitat geogràfica explícita.

Es diferencien dos tipus de dades (Baulies i Szejwach, 1997): les que descriuen els components del sistema LUCC, les dades bàsiques generals, que es subdividrien en mediambientals (clima, relleu, sòls, etc.), econòmiques (preus del sòl, etc.) i socials (població, etc.). Les segones serien les que ens informarien dels mecanismes d'acció de les principals forces inductores del canvi, que inclourien el creixement de la població, el turisme, les mesures polítiques, etc.

2. Dinàmica escalar: les diferents escales en que es donen els processos del LUCC i les diferents escales en que s'analitzen plantegen grans obstacles per al desenvolupament d'una comprensió exhaustiva. Aquesta activitat pretén, doncs, identificar les regles principals que haurien de guiar els esforços, millorant així la integració dels tres àmbits esmentats, a través del disseny tipològic jeràrquic de les forces inductores dels canvis, d'acord amb les escales a les quals operen.

Els principals components del LUCC són, en primer lloc, les cobertes del sòl (*land cover* en anglès), o sigui, l'estat biofísic de la superfície terrestre i del subsòl immediat: boscos, prats i pastures, conreus, aiguamolls i construccions no biòtiques (figura 2.2). Els canvis en la coberta del sòl inclouen els canvis en la diversitat biòtica, la productivitat primària potencial i actual, etc. La coberta del sòl i els seus canvis són les fonts i els receptors de la major part de fluxos energètics i materials que sostenen la Biosfera i la Geosfera, incloent les emissions de gasos i el cicle hidrològic.

Com que la coberta del sòl està modificada, principalment, per l'ús humà, és essencial per entendre els canvis en les cobertes, entendre els canvis en els usos del sòl. L'ús del sòl (*land*

use en anglès) inclou tant la forma en la qual els atributs biofísics del sòl són manipulats com la finalitat per la qual el sòl és emprat: per exemple, l'exploració forestal, les reserves naturals, etc.

Finalment, la manipulació biofísica, contràriament, fa referència al camí específic a través del qual els usos humans tracten la vegetació, el sòl i l'aigua: per exemple, l'ús de fertilitzants, de pesticides, etc. En definitiva, seria el sistema administratiu i tecnològic.

L'ús del sòl afecta a la coberta de diverses formes, producte dels comportaments dels grups o individus dins els assentaments mediambientals i socioeconòmics específics. Aquests assentaments i comportaments són extremadament complexos, però poden ser agrupats en models típics o comuns.

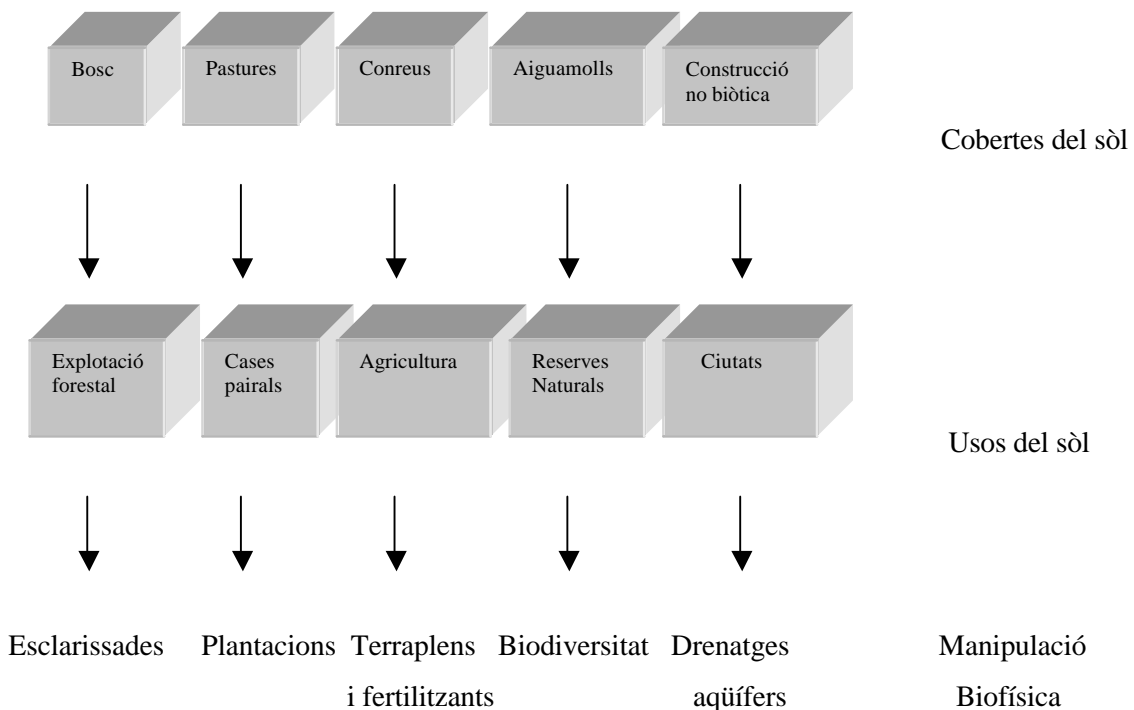


Figura 2.2: Els tres components principals del LUCC. (Turner II, 1995)

El LUCC i el canvi ambiental global formen un sistema interactiu i complex lligant l'acció humana al canvi de cobertes i usos, als *feedbacks* mediambientals i als seus impactes i a les respostes humanes. Aquests lligams passen a diferents escales temporals i espacials. Per exemple la pèrdua de nutrients del sòl i els canvis en la vegetació comporten a mig termini impactes en la fragmentació del paisatge i en la productivitat del sòl i possibles impactes a llarg termini en el canvi climàtic.

El procés de canvi és el següent: les forces inductores humanes (població o desenvolupament), mitjançant les condicions socioeconòmiques imperants (economia de

mercat, etc.) i influenciades per les condicions mediambientals existents, modifiquen un ús del sòl (per exemple de ramaderia a explotació forestal) d'una coberta del sòl existent (bosc) a través de la manipulació de les condicions biofísiques del sòl (tales).

Des del segle XVIII fins la meitat dels vuitanta els canvis més importants, a escala mundial, han estat l'increment dels conreus en detriment dels boscos, de les pastures i dels aiguamolls, la intensificació de l'agricultura, allà on ja n'hi havia, i l'increment dels conreus irrigats. Així, doncs, els canvis en les cobertes i en els usos són ambientalment significatius; un exemple seria la pèrdua de biodiversitat, tant en el nombre d'espècies com de varietats.

El focus 1 és una aproximació a l'anàlisi comparativa de les dinàmiques dels usos del sòl de diversos casos d'estudi amb l'objectiu de millorar el coneixement de la variació de les dinàmiques natura-societat en la gestió del sòl i de facilitar una planificació a escala regional i global.

L'objectiu és identificar i analitzar una sèrie de situacions regionals que constitueixen els factors claus de la dinàmica del LUCC, a escala mundial, per tal d'aconseguir una millor precisió espacial i temporal dels esforços globals de modelització, així com a escala local, juntament amb el focus 2, a escala regional, que és vital per a la recerca sobre l'impacte climàtic i la sostenibilitat.

Les preguntes formulades en aquest apartat són:

- ❖ Quines són les principals forces inductores que influeixen als planificadors del sòl per mantenir o canviar un ús a través del temps?
- ❖ Quins són els mecanismes i els processos pels quals els planificadors del sòl desenvolupen un sistema d'ús definit en termes de seqüència operativa?, quins són els seus objectius?
- ❖ Quins són els efectes sobre la coberta del sòl de l'aplicació de l'ús al llarg del temps?, com aquestes conseqüències interrelacionen amb els usos i les seves forces inductores?

Les activitats específiques d'aquest apartat realitzades per ecòlegs humans, demògrafs o historiadors serien:

- Identificació, descripció i modelització del rol de les forces inductores del manteniment del canvi en els usos del sòl. Inclou indicadors del tipus: densitat de terra agrícola per km², etc.
- Relacionar les decisions locals als processos regionals i globals (del procés al model).
- Establir escenaris en relació a la sostenibilitat i a la vulnerabilitat.

Segons els promotors de la recerca el coneixement de les dinàmiques de les cobertes del sòl, focus 2 (desforestació, urbanització, etc.), és, actualment, inadequat per dos motius:

- Ens manquen mesures acurades de la seva proporció, extensió geogràfica i model espacial.
- Tenim una pobre capacitat per modelar el canvi des d'observacions empíriques.

Dins aquest apartat es desenvolupa una aproximació interdisciplinària (entre especialistes en teledetecció i SIG) per analitzar el canvi de les cobertes connectant observacions empíriques i models de diagnosi. Les observacions directes es poden obtenir a través de la teledetecció ja que és una eina per, objectivament, mesurar a escales temporals i espacials diferents, mentre que la informació addicional pot ser obtinguda dels censos.

Les qüestions formulades en aquest segon focus són:

- Quins són els models espacials de canvi de les cobertes del sòl i com progressaran?
- On és el canvi actual i on succeirà en el futur?
- Quins atributs ambientals i culturals contribueixen principalment a una explicació del canvi de les cobertes del sòl?

El procés de la recerca s'inicia amb mesures directes dels models espacials i característiques temporals del canvi de la coberta, per grans regions. A un segon nivell, l'anàlisi d'observacions dels llocs específics es poden realitzar emprant dades de satèl·lits d'alta resolució i multitemporals, per obtenir les dinàmiques a escala local dels canvis. Les anàlisis regionals donen informació sobre trets generals del canvi mentre que els estudis de llocs donen senyals de les dinàmiques temporals i espacials de les seqüències de transició de la coberta.

Els objectius d'aquest tercer focus són:

- Els canvis de les cobertes a través de les observacions directes i de les dades dels models continentals i regionals.
- Establir una base per analitzar les dinàmiques espacials, variants en el temps, de les transicions de les cobertes.
- Desenvolupar una xarxa rica en dades per a models de diagnosi de situacions actuals i prediccions a curt termini, a través de models basats en observacions directes.

En relació a les activitats, les observacions amb imatges de satèl·lit amb una resolució temporal alta i amb dades de resolució espacial baixa (ex. AVHRR 1 km) ens poden donar informació sobre els tipus de cobertes i informació limitada sobre el canvi (ex. biomassa cremada). Les observacions regionals emprant imatges satèl·lit amb una resolució espacial alta i temporal baixa proveeixen dades sobre el canvi de coberta, la seva geometria espacial i la seqüència temporal del canvi.

Així, doncs, cal determinar els canvis en les cobertes, sobretot en les regions tropicals ja que són les regions més crítiques, o sigui, les més sensibles al canvi (per exemple a la desforestació), a través de la realització de mapes. Aleshores, gràcies als sistemes d'informació geogràfica es podran analitzar les relacions espacials a través de factors econòmics, demogràfics, socials i físics d'aquelles regions que s'han d'estudiar amb més detall.

Finalment, cal desenvolupar models empírics de diagnosi. És important la unió entre les observacions directes, els estudis de casos i els models per identificar les característiques dominants del canvi. Concretament es plantegen els models de cadena de Markov (mitjançant la funció de probabilitat de transició d'una coberta a una altra a través de la teledetecció) i dels logístics funcionals, que es plantejarien quan?; els models de regressió, que es plantejarien per què?; i els models estadístics espacials, que analitzaren la conversió de la coberta en relació a dades referides geogràficament sobre variables del paisatge cultural i natural, per saber on?

Per a la integració dels models globals i dels regionals (focus 3), els objectius són desenvolupar una xarxa integrada de la dinàmica dels models globals i regionals geogràficament explícits capaços de simular les principals forces inductores biofísiques i socioeconòmiques del canvi en les cobertes i usos. També modelitzar projeccions robustes del canvi i dels paràmetres biofísics associats, incloent els atributs de la vegetació i de la degradació i acumulació dels recursos per períodes de 50 a 100 anys i de resolució espacial de 10 km x 10 km a 50 km x 50 km. I, finalment, millorar el coneixement de les dinàmiques a escala global, regional i local i les conseqüències de les relacions entre les principals forces inductores del canvi, junt a la sensibilitat del LUCC a les variables exògenes (canvis tecnològics, etc.)

Les activitats d'aquest darrer apartat són estendre models globals i regionals, crear una estructura nova per modelitzar el canvi, introduir l'aigua en les projeccions del canvi, validació del model i de l'anàlisi de sensibilitat i especificació de l'escenari i simulació.

2.5 Conclusions

A través de les diferents aportacions analitzades en aquest capítol hem pogut copsar l'evolució de la recerca geogràfica internacional relacionada amb l'alteració humana de la Terra via canvis usos del sòl; des de l'aportació de l'erudit amb formació universal fins al projecte interdisciplinari LUCC.

De totes elles extraïem la idea de que un canvi d'ús és una transformació que té implicacions espacials i mediambientals; té unes causes i uns efectes. El geògraf, com a part de la comunitat científica, ha de tenir la capacitat d'analitzar les transformacions terrestres, les

forces socioeconòmiques que les indueixen i les conseqüències que en resulten, amb les eines pròpies de la disciplina.

Marsh creia que l'ésser humà era una força dinàmica, sovint irracional, en el tracte amb el medi ambient; aquesta irracionalitat podia crear un perill al destruir la base de la seva subsistència. Creia que era un agent lliure que treballava independentment de la natura i per tant no era la Terra qui feia l'*home* sinó l'*home* qui feia la Terra, desacreditant el dominant determinisme geogràfic de finals de segle XIX, que observava l'*home* com un ser passiu. Es preocupà de la influència de la societat sobre la natura en termes pràctics i no en un sentit teòric o abstracte, basant-se en el treball de camp; en definitiva el seu treball canvià la noció de la inexhauribilitat de la Terra, enquadrant dues de les grans filosofies mediambientals de la seva època: la noció romàntica d'una natura en harmonia i la noció victoriana de la societat per damunt de la natura, ja que creia, fermament, que la humanitat podia transformar i dominar la Terra.

El Simposi de Princeton aportà l'enfocament culturalista de les relacions societat-medi a través del paisatge, com a reflex de les característiques materials i espirituals pròpies d'una cultura. Malgrat la manca d'un concepte unificat d'aquestes relacions, aportà la idea de la història acumulativa dels processos de canvi i que, des de la revolució científica, la natura ha estat despersonalitzada, perdent-se l'homogeneïtat (o la unitat entre la societat i els fenòmens naturals) dels assentaments rurals i urbans; proposava, doncs, que l'ésser humà havia d'actuar com a coordinador a través de la conservació. Tot plegat podia ser analitzat mitjançant la fotografia aèria, emprada com a instrument per a una visió sinòptica de les relacions societat-medi.

El Simposi de Clark plantejà quatre idees fonamentals: la primera era que els canvis d'usos del sòl comporten transformacions en el paisatge (que eren les tractades per Marsh i pel Simposi de Princeton) i en els fluxos biogeoquímics. La segona era que la disponibilitat de noves tecnologies d'acumulació i d'anàlisi de dades (bases de dades, SIGs, teledetecció, etc.) permetien fer un millor seguiment d'aquests canvis. La tercera era que les forces inductores dels canvis d'usos eren la població, la capacitat tecnològica i l'organització sociocultural i, finalment, la modelització a través de l'estudi de diversos casos regionals.

El programa de recerca LUCC representa la consolidació de les aportacions del Simposi de Clark a través dels següents aspectes:

- ◆ Un progrés metodològic en el disseny i implementació dels estudis de casos, dels protocols, dels mitjans per interpol·lar i extrapolar, a través de les escales temporals i espacials, i de l'estructura i funcionament dels models LUCC integrats.

- ◆ En cooperació amb altres projectes i programes (vegeu Geist, 2001), millora del disseny del format i del desenvolupament de les dades LUCC, identificant els requeriments i les seves mancances.

- ◆ Integració de disciplines i científics de les ciències socials i naturals.

- ◆ Obtenció d'inventaris i de projeccions derivats, empírica, geogràfica i analíticament, dels canvis LUCC específics, a través d'escala temporal específica. En aquest sentit, el projecte planteja l'ús de la teledetecció com a instrument per a l'estudi de casos a escala regional, amb sensors de baixa resolució espacial que donen informació de trets generals, i a escala local, amb sensors d'alta resolució espacial, que donen informació de la dinàmica temporal i espacial específica dels canvis.

En definitiva, s'ha pogut copsar l'evolució metodològica i temàtica, des del segle passat fins avui, de les transformacions del medi ambient, tant en relació al paisatge com als fluxos biogeoquímics, fruit dels canvis d'usos del sòl induïts per l'acció humana. S'ha pogut observar, també, l'evolució instrumental, des del treball de camp, passant per l'ús de la fotografia aèria fins als sistemes d'informació geogràfica i la teledetecció, així com l'anàlisi quantitativa i qualitativa de les bases de dades, a través de múltiples variables biofísiques i socioeconòmiques.