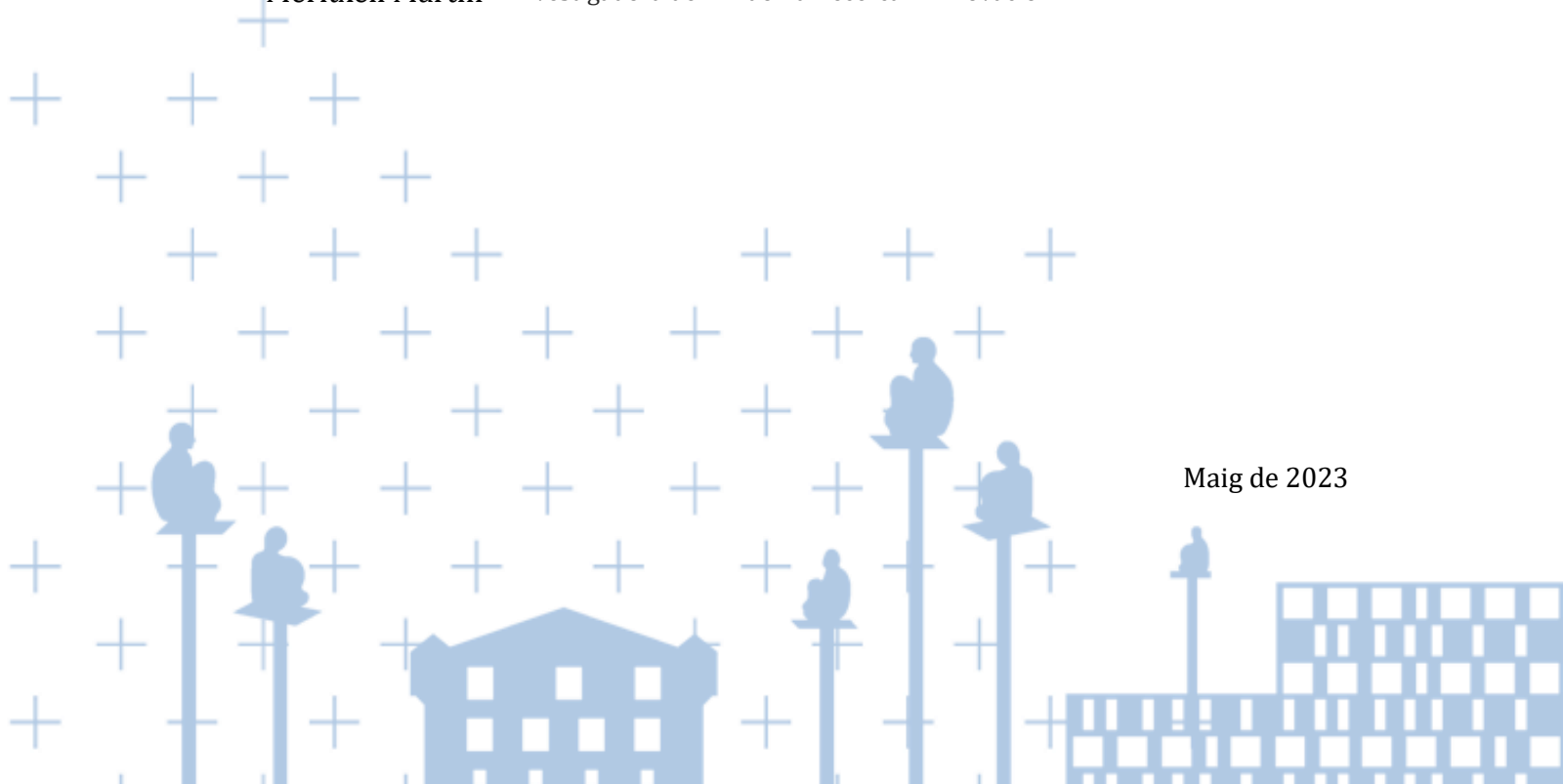


Evolució de les cobertes del sòl d'Andorra durant el període 1948 - 2012

Eix Muntanya

Roger Caritg Investigador de l'Andorra Recerca + Innovació
Meritxell Martin Investigadora de l'Andorra Recerca + Innovació

Maig de 2023





Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resum

Al llarg del segle XX Andorra ha sofert un canvi substancial a diferents nivells. Segons els llibres d'història, es passa d'una societat completament rural, basada en la cura dels horts, l'agricultura, la ramaderia o l'explotació forestal, els quals eren els principals eixos de subsistència, a una societat mercantilista orientada al turisme.

El present estudi mostra l'evolució del paisatge a partir dels mapes de cobertes del sòl digitalitzats manualment a partir de les fotografies aèries dels anys 1948, 1972, 1995 i 2012.

L'objectiu principal ha estat generar una metodologia bàsica per quantificar i posteriorment analitzar els canvis que ha tingut Andorra al llarg dels 64 anys que han transcorregut entre els dos mapes més distants. L'augment de les zones boscoses, l'expansió de les zones urbanes o la disminució de les zones de conreus es poden explicar pel canvi poblacional, social i econòmic que ha sofert el país.

El resultat obtingut de l'estudi permet obtenir uns valors sobre la dinàmica de canvi del país però també un material bàsic, com són els mapes de cobertes del sòl, que passen a formar part del patrimoni cartogràfic del país i que de ben segur serviran per generar multitud d'estudis vinculats al territori.

Sumari

1.	Introducció.....	9
2.	Antecedents cartogràfics.....	- 5 -
3.	Context històric.....	- 6 -
4.	Objectius.....	- 8 -
5.	Material utilitzat.....	- 8 -
6.	Metodologia.....	- 9 -
7.	Resultats.....	- 12 -
8.	Anàlisi de l'evolució dels canvis de paisatge.....	22
9.	Anàlisi de la dinàmica de canvi del paisatge.....	28
10.	Conclusions.....	44
11.	Discussió.....	46
12.	Agraïments.....	47
13.	Bibliografia.....	48
14.	Annex.....	50

1. Introducció

L'estudi sobre l'evolució de les cobertes del sòl d'Andorra és una iniciativa de l'antic Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra de l'Institut d'Estudis Andorrans (CENMA-IEA), actualment Andorra Recerca + Innovació (AR+I).

La base principal de l'estudi són els mapes de cobertes del sòl dels anys 1948, 1972, 1995 i 2012; realitzats a partir de la fotointerpretació de les ortofotografies dels respectius anys mitjançant un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG). És una cartografia de detall que s'ha fet a partir de digitalització en pantalla a una escala de treball de 1:1.600 i 1:1.800.

Per poder realitzar els mapes més antics, els dels anys 1948 i 1972, ha estat necessari fer prèviament un procés de rectificació geomètrica de les fotografies aèries d'aquests anys, amb la finalitat de dotar-les de coordenades geogràfiques i convertir-les en ortofotografies.

El primer mapa que es va fer, el de l'any 1995, es va realitzar des del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) per encàrrec del CENMA-IEA. Posteriorment, els altres tres mapes s'han fet íntegrament des del CENMA-IEA però seguint exactament la mateixa metodologia definida en el primer mapa, garantint així una plena compatibilitat entre tots els mapes per tal que siguin perfectament comparables.

Sens dubte, la disponibilitat d'aquesta cartografia i l'interès per generar-ne de nova en els propers anys, permet fer una anàlisi detallada de l'evolució de les principals cobertes del sòl del país. Així doncs, el fet de poder saber com ha evolucionat el bosc, com ha canviat l'àrea dedicada als conreus o quant s'han incrementat les zones urbanes... permetrà disposar de major coneixement per planificar el territori.

2. Antecedents cartogràfics

A nivell cartogràfic Andorra no comptava amb mapes de cobertes del sòl o usos del sòl mínimament detallats per tot el territori abans de l'any 2000, moment que es va publicar en format SIG (CD-ROM) el primer Mapa de Cobertes del Sòl d'Andorra de l'any 1995, realitzat pel CREAf sota l'encàrrec del CENMA-IEA. Posteriorment ha estat el mateix CENMA-IEA qui de forma autònoma ha realitzat els mapes de cobertes del sòl dels anys 1948, 1972 i 2012 seguint exactament la mateixa metodologia establerta en el primer mapa, amb la finalitat que aquests siguin perfectament comparables.

Paral·lelament, l'empresa AlpGeorisques, per encàrrec del Departament de Medi Ambient del Govern d'Andorra, van elaborar uns altres mapes de cobertes del sòl de l'any 1995 i posteriorment de l'any 1948 a partir de les fotografies aèries dels respectius anys. En aquest cas però, els criteris que defineixen les categories són una mica diferents i per tant no s'han tingut en compte en l'estudi.

Anterior a tots aquests mapes en format digital, no es disposava de cap altra cartografia d'àmbit nacional que definís les cobertes o usos del sòl.

3. Context històric

És important que en un estudi com aquest d'evolució del paisatge, realitzat a partir de mapes de cobertes del sòl, saber quin era el context històric al llarg del segle passat. Saber quin era el tarannà de la seva gent, quin estil de vida duïen, i en definitiva poder situar-nos en un context social, polític i econòmic que ens ajudarà a entendre la dinàmica de canvi reflectida en els mapes.

Es considera el paisatge com un reflex de la història i la cultura d'un territori, ja que els canvis en els usos del sòl es deuen a les necessitats de l'home en cada moment temporal (Massoni. E. *et al*, 2014).

El primer que cal esmentar és que hi ha dos factors geogràfics que han condicionat el tarannà de la població andorrana i l'esdevenir històric del país. Per una banda la ubicació d'Andorra entremig de dos països europeus molt poderosos; i per l'altra la pròpia orografia del país, fet que ha provocat durant molts segles una limitació en la mobilitat de la població, ja sigui dins el propi país com també en la seva relació internacional.

Tal i com es descriu en el llibre "El Medi i la vida a Andorra" del Salvador Llobet (1946), l'estil de vida de la població andorrana es basava en l'agricultura i la ramaderia. Comptava amb la cohesió i cooperació familiar, el que vol dir que en la majoria de casos tots els membres de la família col·laboraven en diferents tasques dins d'aquest àmbit.

L'agricultura s'assentava sobre els sediments fèrtils d'origen glacial, però hi ha el problema que el clima general és fred i les gelades primerenques a la tardor i tardanes a la primavera creaven incertesa en la viabilitat de les collites. Principalment es plantava tabac i cereals per sota els 1.600 metres d'altitud i esporàdicament blat, sègol i patates. En indrets de més altitud, es plantaven faves i pèsols. En canvi, els arbres fruiters en general hi són escassos arreu del país. L'extensió ocupada pel tabac i la poca diversitat de plantació d'altres productes crea la necessitat d'importar altres béns dels països veïns.

Pel que fa a la ramaderia, hi ha disponibilitat de pastures i a més hi ha convenis amb els territoris dels països veïns per dur-hi el bestiar, sobretot l'oví, i així aprofitar planes i valls de menor altitud. No obstant això, la dificultat és aconseguir prou menjar per l'alimentació de l'hivern.

De tot aquest recurs econòmic se'n treu llana, llet, formatges, carn i fins i tot la producció de fem necessària per fertilitzar els camps.

També són importants les fires de bestiar, les quals, a part de ser una font de negoci, esdevenen un fenomen social del país. No obstant això, amb el pas dels anys, aquestes van perdent importància.

L'explotació forestal també és un element a tenir en compte en la vida de la població andorrana. La fusta serveix per fer mobles, estris, eines... però també és la font per escalfar les cases i cuinar. Aquest fet és molt important, ja que com després quedarà reflectit en l'anàlisi

de les dades obtingudes a partir dels mapes de cobertes del sòl, l'explotació forestal i també la gran dedicació a l'agricultura i a la ramaderia condicionen l'estructura del paisatge.

Un altre dels elements dinamitzadors del canvi, és sens dubte, la construcció i ampliació de les vies de comunicació. L'any 1929, s'autoritza a FHASA (Forces Hidroelèctriques d'Andorra S.A.) ha explotar les aigües per fer producció elèctrica, a canvi de construir i millorar bona part de les carreteres del país. L'any 1916 es va acabar la carretera que connectava Andorra la vella amb la Seu d'Urgell, però no va ser fins l'any 1934 que es va poder connectar tot un tram continu fins a França. Així doncs, amb el pas dels anys, la comunicació interna va anar millorant però també amb la dels països veïns, fet que propicià l'entrada dels primers visitants.

Aquest procés es va veure estancat per l'esclat de les successives guerres que es produïren a Europa: primer la Guerra Civil Espanyola i posteriorment la II Guerra Mundial. Malgrat els conflictes bèl·lics, l'entrada massiva de refugiats, mantingué activa la dinàmica econòmica i social del país.

A partir de l'any 1945, un cop acabades les guerres, els turistes van anar tornant i s'inicià a Andorra l'època del desenvolupament comercial i turístic. Moltes famílies van veure com es guanyaven millor la vida muntant un hotel o un comerç que continuar llaurant els camps o pasturant els ramats. Amb el pas de les dècades el turisme es converteix en una de les principals fonts de riquesa. La situació geogràfica d'Andorra i el seu entorn privilegiat el converteixen en un al·licient a qualsevol època de l'any i la proliferació de visitants va en augment.

Les darreres dècades del s.XX, la consolidació del sector turístic i comercial, la millora de les infraestructures, el desenvolupament tecnològic, l'establiment del sector financer i l'especulació immobiliària han estat els punts forts de l'economia andorrana. El país ha augmentat la seva població de forma exponencial, degut en gran part a un flux migratori positiu, i ha sofert una transformació del paisatge força notable, condensat bàsicament al fons de vall.

Sens dubte, un dels reptes de futur d'Andorra serà planificar adequadament el creixement urbanístic i viari del país.

4. Objectius

Els principals objectius de l'estudi són:

- a- Recuperar les fotografies aèries dels anys 1948 i 1972. Realitzar la rectificació geomètrica de cada fotografia aèria per obtenir-ne ortofotografies i poder elaborar així cartografia com per exemple els mapes de cobertes del sòl.
- b- Obtenir els mapes de cobertes del sòl d'Andorra seguint una única metodologia. És a dir, realitzats amb la mateixa escala de treball, les mateixes categories i el mateix àmbit geogràfic.
- c- Realitzar un estudi comparatiu de les cobertes del sòl entre tots els mapes disponibles i conèixer la dinàmica de canvi durant aquest període.
- d- Oferir des de la pàgina web del projecte SIGMA de l'Andorra Recerca + Innovació la possibilitat de descarregar en diferents formats SIG tots els mapes de cobertes del sòl.

5. Material utilitzat

La principal font usada per dur a terme l'estudi ha estat els mapes de cobertes del sòl dels anys 1948, 1972, 1995 i 2012; elaborats a partir de les ortofotografies dels respectius anys.

En el cas de les fotografies aèries dels anys 1948 i 1972 disposen d'una resolució espacial de 1 metre. No obstant això, la qualitat de les de l'any 1948 és bastant deficient en algunes zones, ja sigui perquè presenta zones sobreexposades o per la presència de ratllades provinents del fotograma original. El vol de l'any 1948 el va realitzar l'*Institut Géographique National (IGN) – France* des d'una altitud de 6.000 m. Les fotografies aèries de l'any 1972 del vol 7216T es van realitzar des d'una altitud de 4410 a 4460 m. i han estat cedides pel Govern d'Andorra.

Les ortofotografies de l'any 1995 tenen una resolució de 0,5m i han estat fetes per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) per encàrrec del Govern d'Andorra.

Finalment, les ortofotografies de l'any 2012 també han estat fetes per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) per encàrrec del Govern d'Andorra, però en aquest cas tenen una resolució espacial de 0,25 m. i disposen d'una banda espectral extra de l'infraroig proper.

El programari escollit per dur a terme la rectificació geomètrica de les fotografies aèries i posteriorment la digitalització manual dels mapes de cobertes del sòl ha estat el SIG MiraMon versió 7.0l (2012, Xavier Pons). Pel càlcul i anàlisi de les dades també s'ha utilitzat el SIG ArcGis versió 10.2 (2010, ESRI) i el llenguatge de programació R (RStudio - Version 1.4.1106) per fer alguns càlculs i gràfics.

Pels càlculs d'algunes mètriques dels mapes també s'ha fet servir el programari lliure Fragstats v.4.2 (McGarigal y Marks, 1995). Per altres tipus de càlculs i gràfics, i també per l'elaboració d'aquest informe s'ha usat les eines Word i Excel del paquet Office 2013.

6. Metodologia

Dins l'apartat metodològic cal incloure el procés d'escaneig i rectificació geomètrica de les fotos aèries dels anys 1948 i 1972. Aquest procés està àmpliament explicat, en el cas de les fotos aèries de l'any 1972, en la memòria del MCSA72 i la comparativa amb el MCSA95 (Caritg, R. 2012). L'objectiu d'aquest procés és dotar a les fotografies aèries de coordenades geogràfiques per tal que estiguin situades a l'espai que els hi pertoca i posteriorment poder generar la cartografia comparable amb els altres anys d'estudi. Així doncs, es pot definir el procés de rectificació geomètrica com aquell que permet passar les fotografies aèries a ortofotografies. Aquestes, a part d'estar dotades de coordenades geogràfiques, hauran estat modelades per un Model Digital d'Elevacions, en aquest cas d'un de 5m de resolució espacial. En alguns casos aquest procés també pot incloure alguna correcció de tipus radiomètric.

A continuació es descriuen de forma general els principals passos que s'han efectuat per fer la rectificació geomètrica de les fotos aèries dels anys 1948 i 1972:

- 1- Escaneig de tots els fotogrames a alta resolució: feina elaborada pel CENMA-IEA a les dependències i amb l'assessorament del CREAM l'any 2005.
- 2- Recerca de punts de control (coordenades Lambert X i Y) de les fotografies aèries dels anys 1948 i 1972 a partir de les ortofotografies dels anys 1995 i 2003. En el cas de les fotos aèries de l'any 1948 també s'ha usat de referència les de l'any 1972, ja que aquestes van ser rectificades amb anterioritat. S'han buscat entre 20 i 35 punts coneguts per cada fotografia aèria per poder dur a terme la rectificació geomètrica de cada una d'elles. Paral·lelament, s'han utilitzat quatre punts de control agafats aleatòriament per fer un test de validació entre els valors observats i els valors estimats.
- 3- Procés de rectificació geomètrica de cada fotografia aèria a partir de l'eina CORRGEOM del programa SIG MiraMon.
- 4- Retall de la part central de cada ortofotografia, que normalment correspon amb la part més ben rectificada de la fotografia.
- 5- Mosaic de les diferents ortofotografies per tal de generar les mateixes imatges dels talls 1:5.000 que disposem de les dels anys 1995 i 2012.
- 6- Elaboració de les metadades de les ortofotografies dels anys 1948 i 1972 en format HTML (ISO19115, GeMM profile).

Per dur a terme aquest procés de rectificació geomètrica de les fotografies aèries dels anys 1948 i 1972 ha estat necessari situar manualment més de 12.000 punts de control extrets de cartografia ja georeferenciada. En el cas de l'any 1948 es disposava de 150 fotografies originals de les quals se n'han corregit 137; i en el cas de l'any 1972, es disposava de 517 fotografies, de les quals se n'han corregit 250. És a dir que amb la suma dels dos anys s'han

obtingut 387 ortofotografies que han permès cobrir el territori andorrà per poder elaborar els respectius mapes de cobertes del sòl. En ambdós casos, hi ha petites superfícies de terreny que han quedat orfes d'imatges; fet que es pot atribuir a errors en les passades de l'avió a l'hora de fer les fotografies. En l'apartat dels resultats queda reflectida aquestes superfícies dins la categoria "Sense dades".

En el procés d'elaboració dels mapes, l'escala de treball ha estat homogènia en els quatre mapes: 1:1.600 o 1:1.800. D'aquesta manera s'ha aconseguit un mapa digital en format vectorial estructurat topològicament, adequat per a una visualització òptima d'escala 1:5.000.

La projecció utilitzada és: Cònica Conforme de Lambert per a la zona III pel sud de França i Andorra amb Datum NTF.

L'àmbit geogràfic del mapa correspon a la totalitat del territori nacional del Principat d'Andorra. No obstant això, el límit nacional utilitzat ha variat des de l'any 2012, fet que provoca que es produeixi una lleugera modificació territorial entre els mapes dels anys 1972 i 1995 i els mapes generats en posterioritat a l'any 2012, és a dir els que corresponen als mapes dels anys 1948 i 2012. Les zones sotmeses a aquesta conjuntura es considera irrellevant i quedaran classificats com a valors NODATA per dur a terme l'anàlisi entre tota la cartografia.

L'àmbit geogràfic considerat en la projecció Cònica Conforme de Lambert és:

	Y màxima: 39868.386900	
X mínima: 523693.099997		X màxima: 554836.513919
	Y mínima: 14660.076000	

L'àmbit geogràfic considerat amb el sistema de referència lat/long NTF és:

	Latitud màxima: 42° 39' 26"	
Longitud mínima: 1° 24' 25"		Longitud màxima: 1° 47' 19"
	Latitud mínima: 42° 25' 40"	

Les categories dels quatre mapes van ser definides per fer el mapa de l'any 1995, el qual va ser el primer de la sèrie. Posteriorment s'ha conservat el criteri en l'elaboració dels altres mapes amb la finalitat que aquests siguin perfectament comparables. La definició i interpretació de cada categoria queda recollida a l'annex 1 "Identificació de les categories".

Categories:

1	Arbrat dens (cobertura superior al 20%)
2	Arbrat clar (cobertura entre el 5 i el 20%)
3	Matollars
4	Prats i herbassars
5	Roquissars
6	Tarteres
7	Zones nues
8	Aigües continentals
9	Glaceres i neus permanents
10	Conreus
11	Zones urbanitzades
12	Vies de comunicació
13	Zones esportives i lúdiques
14	Zones d'extracció minera
15	Sense dades

Taula 1. Categories considerades en els MCSA.

Les categories Glaceres i neus permanents (9); Zones esportives i lúdiques (13) i Zones d'extracció minera (14) no estan representades en els mapes més antics, els dels anys 1948 i 1972, ja sigui pel fet de no tenir-hi presència o per la dificultat de distingir aquestes categories en fotografies en blanc i negre. En canvi, ha estat necessari afegir la categoria "Sense dades" pels mapes dels anys 1948 i 1972 per l'absència de fotografies aèries en alguns indrets del territori.

El procés de digitalització s'ha fet manualment en pantalla en un format vectorial estructurat topològicament i associat a una base de dades que comprèn el camp bàsic (codi) que defineix el tipus de coberta del sòl. La definició de la categoria de coberta de sòl de cada polígon s'ha fet també manualment a partir d'un vector de punts el qual, posteriorment, s'ha integrat com un camp nou a la base de dades del fitxer de polígons que conforma el mapa.

7. Resultats

Els primers resultats obtinguts són els quatre mapes de cobertes del sòl. Aquests estan disponibles en diferents formats vectorials aptes per diferents SIG (shp, pol) i es poden descarregar lliurement des de la pàgina web del SIGMA (<https://www.iea.ad/cartografia/cartografia-sig>).

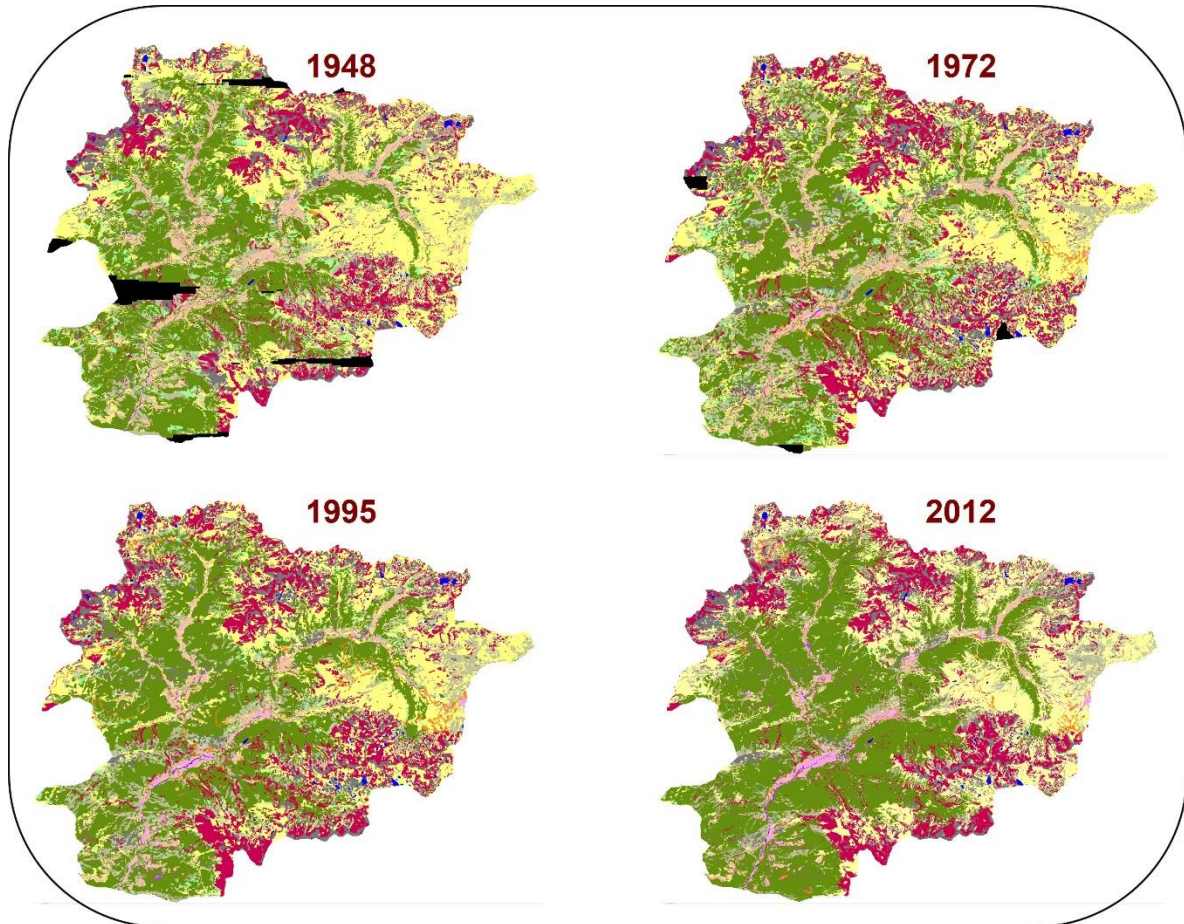


Figura 1. Visualització dels quatre MCSA dels anys 1948, 1972, 1995 i 2012.

Tal i com es mostra a l'informe de l'anterior comparativa estudiada entre els mapes de cobertes del sòl dels anys 1972 i 1995 (Caritg, R.; 2012) el primer càlcul que s'extreu són les estadístiques bàsiques de la superfície per cada categoria. En aquest cas s'amplia la sèrie de mapes amb els anys 1948 i 2012.

Categoria \ Anys	1948 (ha); (%)	1972 (ha); (%)	1995 (ha); (%)	2012 (ha); (%)	Diferència 2012 - 1948 (%)	Increment 1948 -2012 (%)
Arbrat clar	1531,7; (3,28)	759,3; (1,62)	378,4; (0,81)	197; (0,42)	-2,86	-87,14
Arbrat dens	13758,3; (29,43)	15438,7; (33,01)	17879,4; (38,23)	18864,1; (40,35)	10,92	37,11
Matollars	5335,6; (11,41)	5616,2; (12,01)	4742,3; (10,14)	4338,6; (9,28)	-2,13	-18,69
Prats i herbassars	13650,3; (29,20)	13648,7; (29,18)	12259; (26,21)	11703,3; (25,04)	-4,17	-14,26
Roquissars	3192,8; (6,83)	2663; (5,69)	2656,4; (5,68)	3196,5; (6,84)	0,01	0,11
Tarteres	5259,4; (11,25)	6032,8; (12,90)	6591,9; (14,09)	6055,9; (12,95)	1,70	15,14
Zones nues	39,8; (0,09)	170,3; (0,36)	475,9; (1,02)	395,4; (0,85)	0,76	893,45
Aigües continentals	173,1; (0,37)	192,9; (0,41)	190,6; (0,41)	201,7; (0,43)	0,06	16,52
Conreus	2403,8; (5,14)	1669,8; (3,57)	801,2; (1,71)	801,2; (1,71)	-3,43	-66,67
Zones urbanitzades	75,4; (0,16)	238,4; (0,51)	618,2; (1,32)	707,9; (1,51)	1,35	838,85
Vies de comunicació	82,5; (0,18)	102,1; (0,22)	163,1; (0,35)	271,9; (0,58)	0,41	229,57
Zones esportives	0; (0)	0; (0)	8,7; (0,02)	12,4; (0,03)	0,03	0,00
zones d'extracció minera	0; (0)	0; (0)	4,6; (0,01)	0; (0)	0,00	0,00
Sense dades	1242,6; (2,66)	237,8; (0,51)	0; (0)	0; (0)	-2,66	-100,00

Taula 2. Estadístiques de les superfícies per categories dels MCSA dels anys 1948, 1972, 1995 i 2012. Valors expressats en hectàrees i entre parèntesis en percentatges.

Les quatre primeres columnes de la taula 2 mostren la superfície en valors absoluts (ha) i en percentatge (%) de cada categoria de la sèrie de mapes de cobertes del sòl que conformen l'estudi. La següent columna de dades es refereix a la diferència entre les mateixes categories dels mapes dels anys 1948 i 2012. Finalment, la darrera columna mostra l'increment percentual (IP) per categories que s'ha produït entre els dos anys més distants, el 1948 i el 2012.

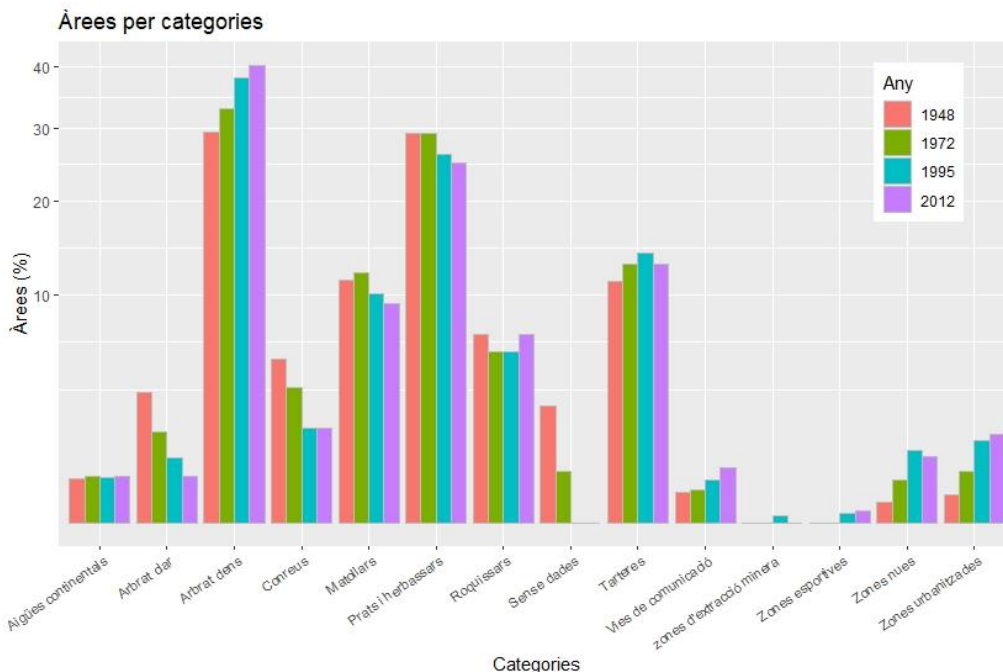
La fórmula emprada en el càlcul de l'increment percentual que es mostra a la darrera columna de la taula 2 és la següent:

Increment percentual: $IP = [(Vf - Vi) / Vi] * 100$

On: **Vf**= Valor final (en aquest cas any 2012)

Vi= Valor inicial (en aquest cas any 1948)

El següent gràfic mostra l'àrea ocupada (%) per cada categoria de tots els mapes de l'estudi.



Gràfic 1. Evolució de les categories en percentatges dels quatre mapes que conformen l'estudi.

Tal i com es mostra a la taula 2 i al gràfic 1, les diferències entre les categories segueixen una tendència similar a la mostrada a l'estudi previ que es va fer entre els anys 1972 i 1995 (Caritg, R.; 2012).

En una primera valoració es destaca que les zones boscoses augmenten progressivament amb el pas dels anys, i es passa d'un 29% l'any 1948 a més d'un 40% l'any 2012. Amb diferència, és el canvi més gran d'una mateixa categoria si es parla amb valors absoluts. Les altres cobertes d'origen vegetal marquen una tendència a disminuir.

Les categories naturals de tipologia abiòtica, com serien els roquissars, les tarteres o les aigües continentals mantenen uns valors força similars entre tots els mapes i en tot cas no es detecta una tendència clara.

Pel que fa a les categories d'origen antròpic: conreus, zones urbanitzades, vies de comunicació i zones nues, com era d'esperar són les categories que se situen principalment al fons de vall i, en termes relatius, les que mostren uns majors canvis amb el pas dels anys.

Per tal de poder dur a terme un anàlisi més exhaustiu del canvi de cobertes del sòl a nivell temporal, cal calcular el que s'anomena una matriu de confusió o matriu de canvis. Aquesta, és una taula bidimensional que compara dos mapes temàtics de diferents èpoques però que han estat elaborats sota uns criteris i una metodologia exactament igual. D'aquesta manera s'aconsegueix que totes les categories siguin perfectament comparables i es puguin determinar quins canvis s'han produït amb el pas dels anys i com han estat aquests canvis. En la diagonal de la matriu s'obté els encerts entre les mateixes categories, i els elements no diagonals són encreuaments no coincidents entre els dos mapes.

Per l'elaboració de la matriu de canvis s'han considerat els dos mapes que a nivell temporal són més distants; és a dir el de l'any 1948 i el del 2012.

1948 \ 2012	Aigües continen	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herbassars	Roquissars	Tarteres	Vies de comuni	Zones nues	Zones urbanes	Total (ha)	Error	Exactitud
Aigües continentals	151,51 (87,56)	0 (0)	1,95 (1,13)	0,21 (0,12)	1,52 (0,88)	10,96 (6,34)	1,04 (0,6)	2,27 (1,31)	0,16 (0,09)	2,7 (1,56)	0,73 (0,42)	173,05 (0,37)	12.4	87.6
Arbrat clar	0,5 (0,03)	18,57 (1,21)	1122,26 (73,27)	4,08 (0,27)	194,29 (12,68)	95,26 (6,22)	43,93 (2,87)	34,16 (2,23)	4,91 (0,32)	6,83 (0,45)	6,87 (0,45)	1531,65 (3,28)	98.8	1.2
Arbrat dens	11,29 (0,08)	48,17 (0,35)	12293,67 (89,4)	35,8 (0,26)	540,08 (3,93)	364,09 (2,65)	145,91 (1,06)	83,89 (0,61)	73,35 (0,53)	52,19 (0,38)	110,42 (0,80)	13758,86 (29,4)	10.6	89.4
Conreus	3,04 (0,13)	3,63 (0,15)	542,82 (22,58)	670,37 (27,89)	122,77 (5,11)	500,93 (20,84)	13,91 (0,58)	2,33 (0,1)	65,65 (2,73)	63,33 (2,63)	414,7 (17,25)	2403,46 (5,14)	72.1	27.9
Matollars	3,71 (0,07)	26,44 (0,5)	2310,33 (43,3)	20,34 (0,38)	1788,2 (33,51)	479,55 (8,99)	273,49 (5,13)	322,87 (6,05)	27,49 (0,52)	45,04 (0,84)	38,27 (0,72)	5335,72 (11,41)	66.5	33.5
Prats i herbassars	18,79 (0,14)	81,91 (0,6)	1581,73 (11,59)	57,99 (0,42)	1108,23 (8,12)	8934,39 (65,46)	514,53 (3,77)	1041,03 (7,63)	51,19 (0,38)	188,99 (1,38)	70,04 (0,51)	13648,79 (29,2)	34.5	65.5
Roquissars	2,05 (0,06)	7,21 (0,23)	153,36 (4,81)	0,95 (0,03)	177,8 (5,57)	447,76 (14,03)	1803,28 (56,5)	587,94 (18,42)	1,4 (0,04)	7,72 (0,24)	2,06 (0,06)	3191,53 (6,83)	43.5	56.5
Tarteres	9,34 (0,18)	7,62 (0,14)	382,38 (7,27)	0,57 (0,01)	196,8 (3,74)	651,49 (12,39)	257,14 (4,89)	3727,35 (70,89)	2,27 (0,04)	20,79 (0,4)	2,33 (0,04)	5258,06 (11,25)	29.1	70.9
Vies de comunicació	0,2 (0,24)	0,02 (0,02)	6,45 (7,83)	3,18 (3,86)	2,11 (2,56)	9,32 (11,31)	0,12 (0,14)	0 (0)	41,98 (50,98)	2,22 (2,69)	16,77 (20,37)	82,34 (0,18)	49.0	51.0
Zones nues	0,1 (0,26)	0,08 (0,2)	16,97 (42,6)	0,83 (2,09)	3,81 (9,56)	6,53 (16,38)	3,52 (8,83)	1,89 (4,74)	0,97 (2,42)	3,76 (9,42)	1,4 (3,5)	39,84 (0,09)	90.6	9.4
Zones urbanes	0,23 (0,3)	0,02 (0,03)	2,95 (3,92)	5,45 (7,23)	2,5 (3,32)	5,39 (7,16)	0,66 (0,88)	0,07 (0,09)	1,01 (1,33)	0,54 (0,72)	56,49 (75,02)	75,3 (0,16)	25.0	75.0
Sense dades	0,89 (0,07)	3,2 (0,26)	449,74 (36,24)	1,58 (0,13)	200,04 (16,12)	194,38 (15,66)	136,45 (11)	251,94 (20,30)	1,22 (0,1)	1,12 (0,09)	0,29 (0,02)	1240,85 (2,65)	100.0	0.0
NODATA	0 (0)	0 (0)	0,42 (6,69)	0,02 (0,28)	0,44 (6,93)	2,11 (33,32)	2,16 (34,19)	1,1 (17,45)	0 (0)	0,02 (0,36)	0,05 (0,79)	6,32 (0,01)		
Total (ha)	201,65 (0,43)	196,86 (0,42)	18865,02 (40,4)	801,35 (1,71)	4338,57 (9,28)	11702,14 (25)	3196,13 (6,84)	6056,83 (12,96)	271,57 (0,58)	395,25 (0,85)	720,41 (1,54)	46745,75		
Error	24.9	90.6	34.8	16.3	58.8	23.7	43.6	38.5	84.5	99.0	92.2			
Exactitud	75.1	9.4	65.2	83.7	41.2	76.3	56.4	61.5	15.5	1.0	7.8			

Taula 3. Matriu de canvis. A la columna vertical hi ha les categories del MCSA1948 i a l'horitzontal les categories del MCSA2012. Valors expressats en hectàrees i entre parèntesis en percentatges. Les columnes "Error" i "Exactitud" mostren el percentatge que coincideix per cada categoria d'un mapa respecte l'altre. Concretament, en les darreres dues columnes es mostren els errors i les coincidències del mapa de l'any 1948 respecte el de l'any 2012, i en les darreres dues files els errors i les coincidències del mapa de l'any 2012 respecte el de l'any 1948.

Amb el càlcul de la matriu de canvis (Taula 3) s'obté que el percentatge de territori que ha canviat durant els 64 anys que separen els dos mapes és del 36,9%, o dit d'una altra manera, el 63,1% s'ha mantingut inalterat. Aquests valors ens constaten que la dinàmica de canvi anual a nivell global al llarg d'aquest període ha estat d'un 0,57% anual.

A continuació s'analitzen cada una de les categories ajuntades en tres grans blocs: cobertes vegetals, cobertes naturals i cobertes antròpiques. Cal afegir les zones en manca de dades dels mapes dels anys 1948 i 1972.

Cobertes vegetals

Aquest bloc comprèn les categories d'*arbrat dens*, *arbrat clar*, *matollars* i *prats i herbassars*.

El procés natural de les cobertes vegetals, si no tenen cap intervenció antròpica, és que els prats i herbassars es transformin en matollars i aquests es vagin convertint en zones de bosc. Amb el pas dels anys aquests boscos es van densificant i van ampliant la seva superfície fins a una certa altitud, on el clima limita l'avançament del bosc i deixa pas als prats alpins.



Figura 2. Comparativa del creixement de les zones boscoses entre l'any 1948 i 2012 a prop del nucli d'Ordino.

Des de l'any 1948 fins el 2012 la zona de bosc s'ha anat incrementant fins arribar a un 40,35% del territori andorrà, fet que la converteix amb la coberta del sòl amb més presència del país. Un 89,4% del bosc dens de l'any 1948 s'ha mantingut inalterat durant el període d'estudi. En canvi en el transcurs dels anys ha anat guanyant terreny en altres cobertes del sòl, bàsicament en cobertes vegetals: matollars (2.310 ha), prats i herbassars (1.582 ha) i arbrat clar (1.122 ha).

A la *figura 2*, es pot observar com algunes de les zones dedicades als conreus i als horts familiars pateixen un abandonament progressiu com a conseqüència al canvi d'estil de vida marcat pel model socioeconòmic actual. Concretament, un 22,58% (543 ha) dels conreus de l'any 1948 passen a ser de bosc l'any 2012.

Pel que fa a la categoria de matollars, s'observa que en general és una categoria bastant inestable, o dit d'una altra manera, en molts indrets és una categoria de transició cap a un estadi d'arbrat. Les dades constaten que només una tercera part (33,5 %) del matollar de l'any 1948 es manté en el temps i és cartografiat també l'any 2012. També cal dir que seguint l'evolució natural de la vegetació, s'observa com es guanya zona de matollar a partir de la coberta de prats i herbassars, concretament 1.108 ha.

En el cas de la categoria de prats i herbassars, igual com passa amb la de matollars, pateix un lleuger retrocés amb el pas dels anys i passa d'un 29,2 % l'any 1948 a un 25 % l'any 2012. Aquesta principal pèrdua es dona en zones que han passat a estadis de matollar (8,1 %) o arbrat dens (11,6 %). En aquesta categoria de prats i herbassars cal esmentar que pot haver-hi un cert biaix o error en zones de prats situats bàsicament en zones alpines, els quals s'han pogut confondre en zones de tarteres, doncs el fet de poder disposar l'any 2012 d'ortofotografies en color i infraroig ha permès delimitar en molta més exactitud la dimensió d'aquesta categoria.

Cobertes naturals

Aquest bloc comprèn les categories de *roquissars*, *tarteres* i *aigües continentals*.

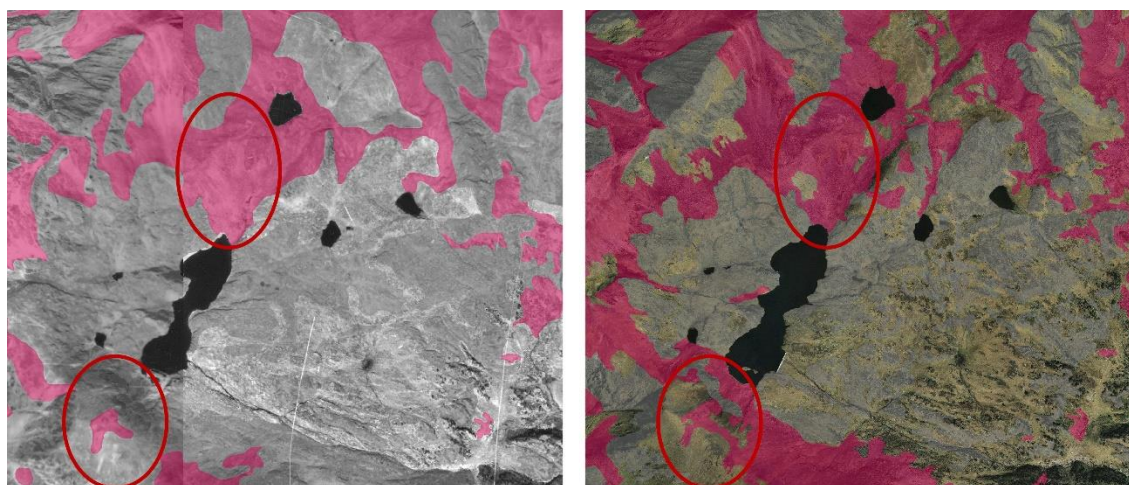


Figura 3. Ubicació de les zones de tarteres i roquissars dels anys 1948 (esquerra) i 2012 (dreta) a la zona de l'estany Gran de la Vall del Riu.

Tal i com és de preveure, les categories que es poden anomenar naturals d'origen abiòtic com els roquissars, les tarteres i les aigües continentals segueixen una dinàmica de canvi molt més lenta que les altres categories. Són canvis detectables en temps geològics. No obstant això, els resultats finals entre els dos mapes de la comparativa mostren alguns canvis significatius.

Les categories de roquissars i tarteres tenen un grau d'exactitud entre els dos mapes del 56,5% i 70,9% respectivament. Per tant es mostra un grau d'error força considerable (43,5 i 29.1%) els quals es pot atribuir més a un error d'interpretació a l'hora de digitalització que a un canvi real. Tal i com s'ha comentat anteriorment, la disposició del canal infraroig de les ortofotografies de l'any 2012 ha permès delimitar amb més exactitud aquestes categories.

A la *figura 3* s'aprecia la disposició força similar de les tarteres situades a prop de l'estany Gran de la Vall del Riu.

Pel que fa a la categoria d'*aigües continentals* també és una categoria bastant inalterable amb el pas dels anys. Mostra una exactitud elevada del 87,6% i en aquest cas sí que es poden associar els canvis registrats a canvis reals. Principalment, aquests canvis es poden detectar en petites variacions dels cursos fluvials per acció antròpica o en diferències en l'amplitud dels marges dels estanys de l'alta muntanya. També cal esmentar que la construcció de basses artificials per tal d'abastir els canons de neu de les pistes d'esquí ha ajudat a incrementar aquesta categoria en un 16,5%.

Cobertes antròpiques

Aquest bloc comprèn les categories de *conreus*, *zones urbanitzades*, *vies de comunicació* i *zones nues*. Aquestes són les cobertes del sòl que han sofert un procés evolutiu més gran, doncs les *zones urbanitzades* i les *zones nues* s'han multiplicat per 9 i 10 vegades respectivament, mentre que en el cas de les *vies de comunicació* l'increment ha estat del 230%, és a dir que s'ha multiplicat per més de 3 vegades.

L'increment de les zones urbanes, com és lògic, s'ha produït gairebé en la seva totalitat en el fons de vall, seguint els cursos fluvials i les incipients vies de comunicació que han anat augmentant al mateix ritme. Tot i que la percepció que es pot tenir de la dinàmica de canvi del paisatge es deu principalment a l'augment de les zones urbanes, cal dir que en el conjunt del país només ocupa un 1,51% del territori.

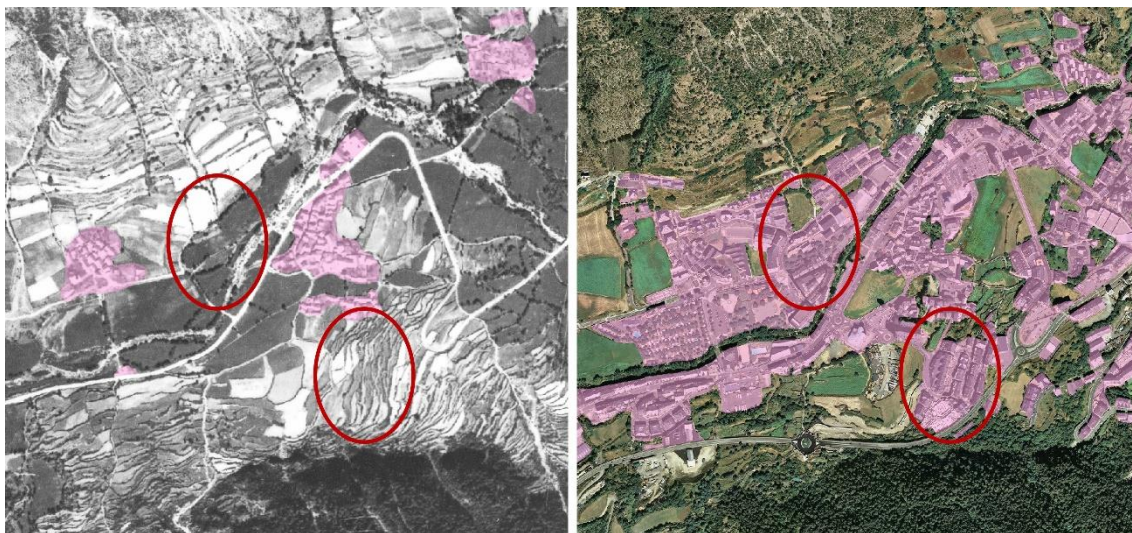
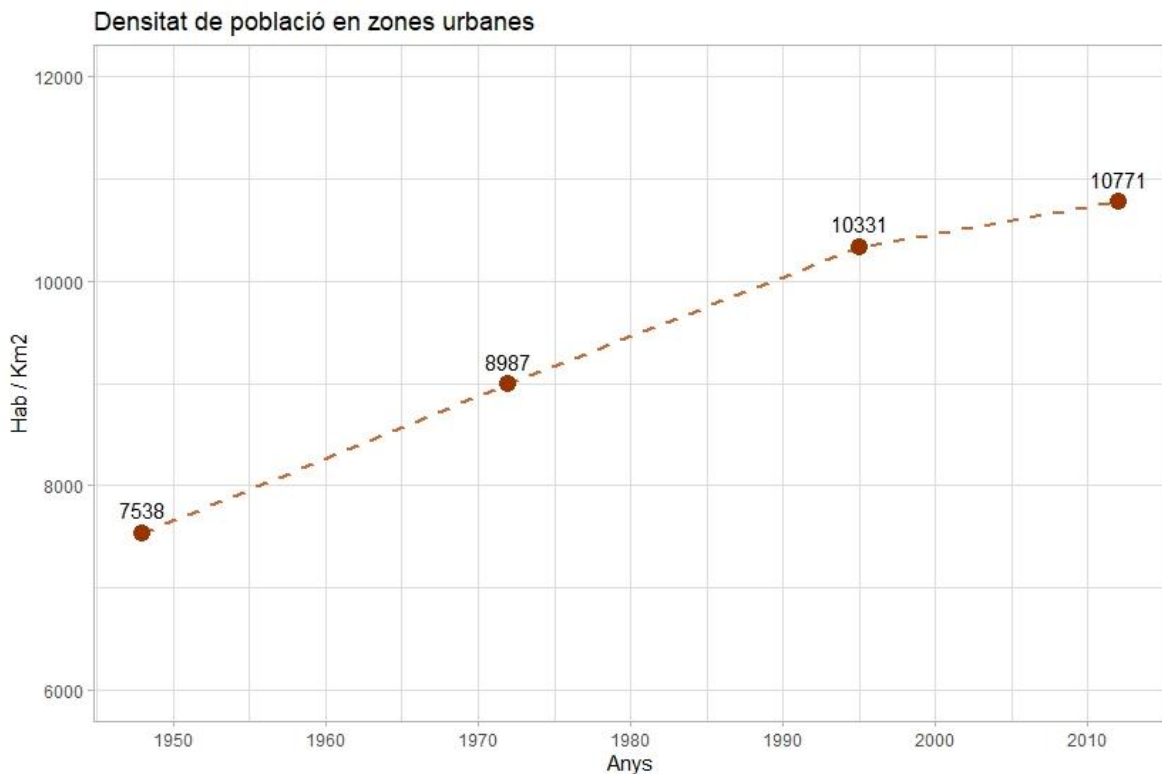


Figura 4. Exemple del creixement urbanístic a la població d'Encamp.

Tal i com es pot apreciar a la *figura 4*, la població d'Encamp va augmentant progressivament el nombre d'edificis al voltant dels seus nuclis antics. Evidentment, aquest procés és extensible arreu del país i el guany d'aquesta categoria es produeix bàsicament en detriment de zones d'antics conreus (415 ha), i en menor mesura amb zones de bosc (110 ha), prats i herbassars (70 ha) i zones de matollars (38 ha).

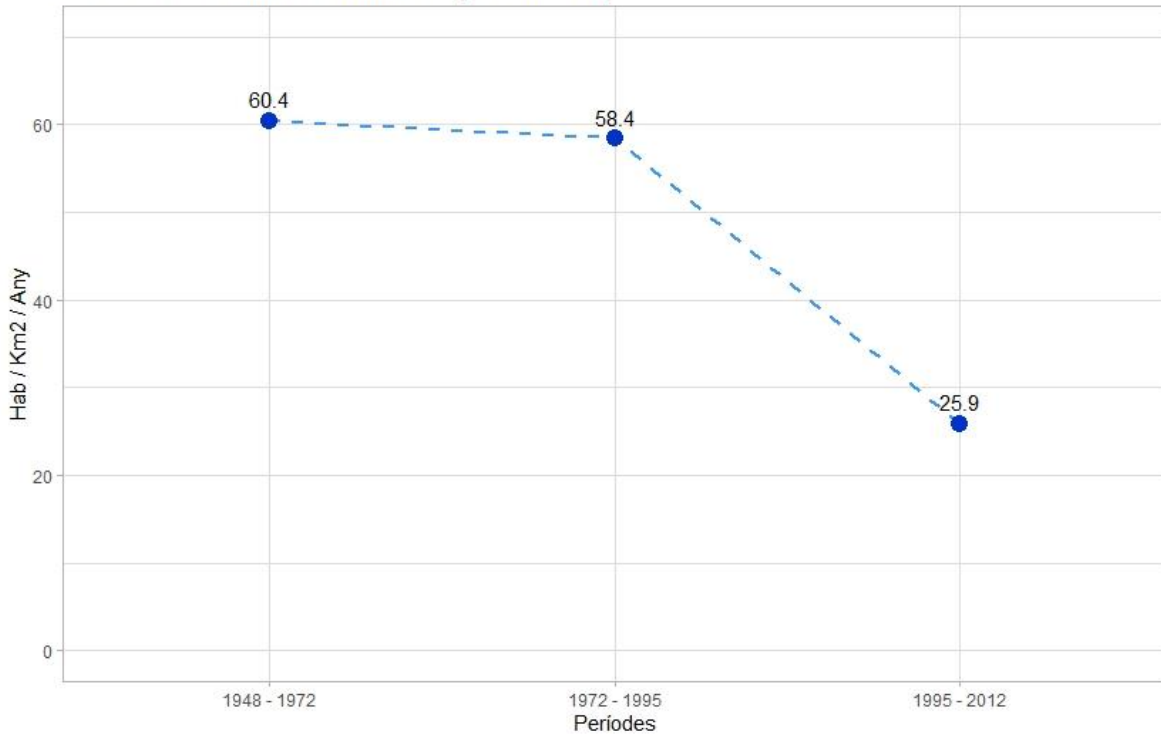
Cal dir que el creixement urbanístic i el de les vies de comunicació al llarg de la segona meitat del segle XX, es deu a un procés de canvi del sistema social i econòmic del país. L'augment de la població resident al Principat és degut pel creixement natural però sobretot a un corrent migratori positiu que es va establint progressivament al país. Segons dades del Departament d'Estadística del Govern d'Andorra la població registrada l'any 1948 era de 5.683 persones, mentre que l'any 2012, segons dades de la mateixa font, la població era de 76.246 persones. Aquest augment de la població representa un increment del 1.242%, fet que va en clara consonància amb el creixement urbanístic, les vies de comunicació i altres equipaments i infraestructures. En definitiva, es pot atribuir al factor poblacional gran part de la dinàmica de canvi del país, sobretot al fons de vall.

Si es fa l'exercici de calcular la densitat de població de les zones exclusivament urbanes, s'obté que l'any 1948 hi havia una densitat de 7.538 hab/km², mentre que a l'any 2012 s'incrementava fins a 10.771 hab/km². Si es recuperen les densitats obtingudes dels altres dos mapes; 8.987 hab/km² l'any 1972 i 10.331 hab/km² l'any 1995 (Caritg, R. 2012) es pot calcular en quin període ha augmentat més la densitat de població en zones exclusivament categoritzades com a urbanes. Tal i com es mostra en els gràfics 2 i 3, la densitat de població ha anat augmentant amb el pas dels anys, però cal dir que el seu creixement s'ha anat alentint entre els períodes més actuals, sobretot el que va de l'any 1995 al 2012, el qual s'ha obtingut un creixement de 25,9 hab/km²/any, que es tradueix amb menys de la meitat del període anterior (1972 - 1995) que era de 58,4 hab/km²/any.



Gràfic 2. Densitat de població per Km² per a les zones urbanitzades.

Creixement del nombre d'habitants per km² i per any



Gràfic 3: Creixement del nombre d'habitants per Km² i per any durant els períodes entre mapes.

La categoria de zones nues, proporcionalment és la categoria que més s'ha incrementat (893%). Es defineixen per ser zones desproveïdes de vegetació que majoritàriament han estat modificades per una causa antròpica o pel fet d'haver patit alguna pertorbació natural com per exemple una allau. Amb el pas dels anys ha anat guanyant terreny en les diferents cobertes vegetals més properes al fons de vall, com la de prats i herbassars (189 ha), conreus (63 ha), arbrat dens (52 ha), fins a obtenir una ocupació del 0,85% de territori total del país. En tot cas, és una categoria destinada a canviar, fet que ho demostra que menys del 10% de les zones cartografiades l'any 1948 s'hagin mantingut en el mapa de l'any 2012.

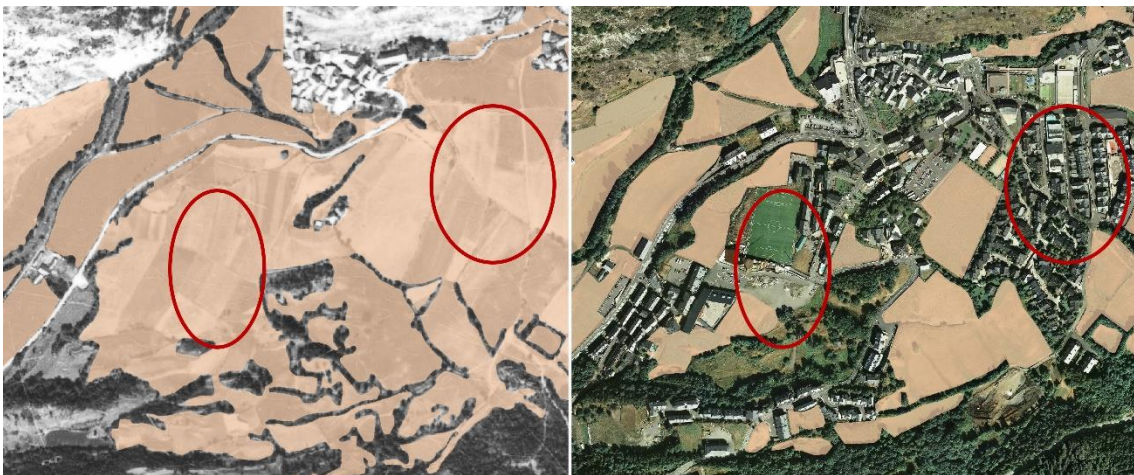


Figura 5. Disminució de l'espai dedicat als conreus a prop del nucli d'Ordino

A la *figura 5*, centrada al nucli d'Ordino, es pot apreciar com algunes de les extensions properes al nucli antic que es dedicaven als conreus o als horts familiars, han estat substituïdes per altres categories, sobretot per zones urbanitzades. En termes generals, si s'analitza la categoria de conreus, s'aprecia que més d'un 17% dels conreus de l'any 1948 han passat a ser zones urbanes. En altres indrets, l'abandonament dels conreus, s'ha transformat en *arbrat dens* (22,6%), en *prats i herbassars* (20,8%) o amb *matollars* (5,1%). Cal puntualitzar però, que tot i que la tendència general és clarament de decreixement, en els darrers dos mapes de cobertes del sòl realitzats, any 1995 i any 2012, s'observa que l'espai dedicat als conreus es manté inalterat amb un 1,7% del territori.

Zones en manca de dades

Al mapa de l'any 1948 té algunes zones que s'han descrit amb la categoria de *Sense dades*, degut a la manca de fotografies aèries d'aquella zona que han impedit cartografiar qualsevol categoria. Aquesta zona engloba 1.243 ha que equival a un 2,66% del territori. Se situa en forma de franges més o menys horitzontals en diferents indrets del país. La zona més afectada es troba a la part occidental, entre el Solà d'Enclar i els Cortals de Sispony. També n'hi ha una altra a la part oriental de la vall del Madriu i una tercera banda a la zona nord del país a prop de la vall de Rialb.

Una situació similar es dona en el mapa de l'any de 1972, en aquest però, la superfície que no es va poder categoritzar només va ser de 237,8 ha que equival a un 0,51% del territori.

De les 1.243 hectàrees definides com a *Sense dades* en el mapa de l'any 1948 queden repartides en el mapa de l'any 2012 en les categories d'*arbrat dens* (36,2%), *tarteres* (20,3%), *matollars* (16,1%), *prats i herbassars* (15,7%), *roquissars* (11%) i altres categories en menor mesura.

8. Anàlisi de l'evolució dels canvis de paisatge

Un cop realitzades les estadístiques bàsiques dels quatre mapes de cobertes del sòl que conformen l'estudi, s'ha analitzat les diferències que s'han produït entre les categories i, a partir de la matriu de canvis, també s'ha estudiat com s'han produït aquests canvis. A continuació es calculen, a partir de diferents funcions del llenguatge de programació R, un conjunt de mètriques i índexs que ajudaran a comprendre el canvi produït i l'evolució del nivell de fragmentació que presenta el paisatge andorrà.

Es calculen els següents paràmetres:

ATCa (ha) = Àrea total de la categoria expressat en hectàrees.

% Ca = Percentatge de la categoria sobre el total de la superfície del país.

NP = Número de polígons per categoria.

AMP (ha) = Àrea mitjana dels polígons expressat en hectàrees.

DEst = Desviació estàndard.

PMG (ha) = Polígon més gran per categoria expressat en hectàrees.

PMP (ha) = Polígon més petit per categoria expressat en hectàrees.

PPMGC (%) = Percentatge del polígon més gran per categoria.

PPMGT (%) = Percentatge del polígon més gran sobre el total de la superfície del país.

Categories 1948	ATCa (ha)	% Ca	NP	AMP (ha)	DEst	PMG (ha)	PMP (ha)	PPMGC (%)	PPMGT (%)
Aigües continentals	173,08	0,37	221	0,78	1,87	16,37	0,008	9,46	0,04
Arbrat clar	1531,74	3,28	1203	1,27	2,42	28,02	0,024	1,83	0,06
Arbrat dens	13758,17	29,43	1459	9,43	85,78	1779,56	0,012	12,93	3,81
Conreus	2403,76	5,14	502	4,79	14,19	170,37	0,020	7,09	0,36
Matollars	5335,42	11,41	3070	1,74	5,60	166,17	0,015	3,11	0,36
Prats i herbassars	13650,38	29,20	2181	6,26	79,34	2319,92	0,015	17,00	4,96
Roquissars	3192,86	6,83	1421	2,25	7,53	141,62	0,021	4,44	0,30
Sense dades	1242,60	2,66	12	103,55	166,07	558,37	0,164	44,94	1,19
Tarteres	5259,47	11,25	2377	2,21	13,47	373,28	0,022	7,10	0,80
Vies de comunicació	82,50	0,18	15	5,50	11,51	45,58	0,123	55,25	0,10
Zones nues	39,85	0,09	78	0,51	1,22	10,26	0,024	25,75	0,02
Zones urbanitzades	75,39	0,16	273	0,28	0,59	4,47	0,008	5,93	0,01

Taula 4. Mètriques bàsiques del MCSA de l'any 1948.

A partir de la taula 4 es determina que el nombre de polígons que conformen el mapa de l'any 1948 és de 12.812 i l'àrea mitjana per polígon és de 3,65 ha.

Categories 1972	ATCa (ha)	% Ca	NP	AMP (ha)	DEst (ha)	PMG (ha)	PMP (ha)	PPMGC (%)	PPMGT (%)
Aigües continentals	192,91	0,41	249	0,77	2,08	21,39	0,013	11,09	0,05
Arbrat clar	759,29	1,62	1420	0,53	1,04	14,64	0,015	1,93	0,03
Arbrat dens	15438,59	33,01	2876	5,37	84,92	2770,34	0,010	17,94	5,92
Conreus	1669,77	3,57	894	1,87	5,46	104,61	0,034	6,27	0,22
Matollars	5616,21	12,01	4600	1,22	6,56	198,91	0,010	3,54	0,43
Prats i herbassars	13648,76	29,18	3056	4,47	77,09	2860,47	0,011	20,96	6,12
Roquissars	2662,92	5,69	2100	1,27	5,35	186,15	0,009	6,99	0,40
Sense dades	237,75	0,51	3	79,25	26,35	108,47	57,279	45,62	0,23
Tarteres	6032,78	12,90	2971	2,03	18,89	655,18	0,007	10,86	1,40
Vies de comunicació	102,09	0,22	44	2,32	3,03	12,83	0,018	12,57	0,03
Zones nues	170,24	0,36	378	0,45	0,90	9,76	0,023	5,73	0,02
Zones urbanitzades	238,37	0,51	239	1,00	7,49	112,45	0,019	47,17	0,24

Taula 5. Mètriques bàsiques del MCSA de l'any 1972.

En el mapa de l'any 1972, tal i com reflecteixen les dades de la taula 5, és el mapa que ha sortit amb més polígons 18.830, tot i que la tendència general és que quan més actual és el mapa major és el nombre de polígons que el conformen. Per tant, aquest mapa és l'excepció que sobresurt de la tendència general. La mitjana de superfície per polígon del mapa de l'any 1972 és de 2,48 ha.

Categories 1995	ATCa (ha)	% Ca	NP	AMP (ha)	DEst	PMG (ha)	PMP (ha)	PPMGC (%)	PPMGT (%)
Aigües continentals	190,57	0,41	226	0,84	1,93	17,99	0,040	9,44	0,04
Arbrat clar	378,37	0,81	1062	0,36	0,48	4,36	0,024	1,15	0,01
Arbrat dens	17879,53	38,23	2413	7,41	95,78	3199,27	0,015	17,89	6,84
Conreus	801,21	1,71	1735	0,46	2,32	92,77	0,021	11,58	0,20
Matollars	4742,35	10,14	3968	1,20	5,96	196,49	0,014	4,14	0,42
Prats i herbassars	12258,91	26,21	2658	4,61	72,60	2587,45	0,032	21,11	5,53
Roquissars	2656,52	5,68	1947	1,36	7,69	300,89	0,026	11,33	0,64
Tarteres	6591,76	14,09	2306	2,86	33,21	1080,22	0,029	16,39	2,31
Vies de comunicació	163,09	0,35	46	3,55	4,98	18,47	0,041	11,32	0,04
Zones d'extracció minera	4,65	0,01	3	1,55	1,91	3,75	0,277	80,64	0,01
Zones esportives	8,74	0,02	5	1,75	2,41	5,86	0,065	67,11	0,01
Zones nues	475,86	1,02	369	1,29	4,37	58,58	0,040	12,31	0,13
Zones urbanitzades	618,12	1,32	381	1,62	12,24	229,12	0,037	37,07	0,49

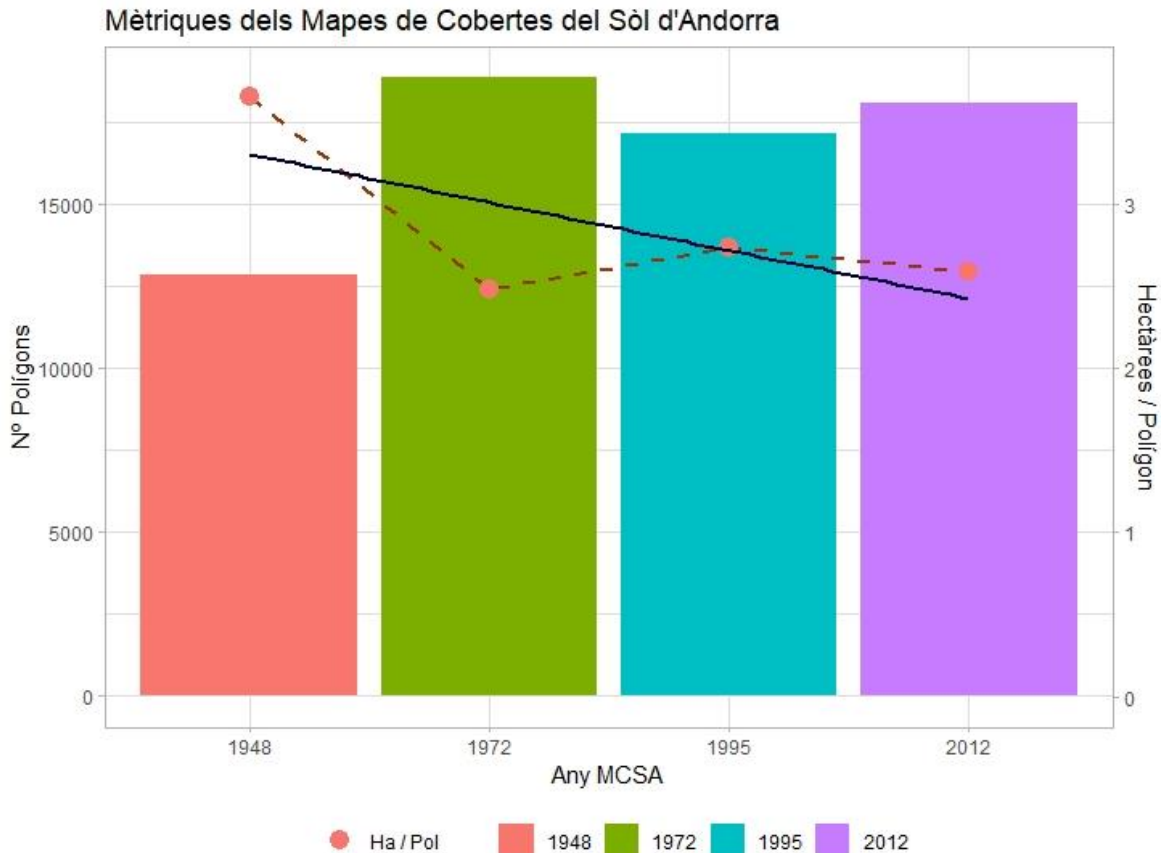
Taula 6. Mètriques bàsiques del MCSA de l'any 1995.

La taula 6 mostra les mètriques del mapa de l'any 1995, on el sumatori de polígons és de 17.119 i presenta una mitjana 2,73 ha per polígon.

Categories 2012	ATCa (ha)	% Ca	NP	AMP (ha)	DEst	PMG (ha)	PMP (ha)	PPMGC (%)	PPMGT (%)
Aigües continentals	201,70	0,43	239	0,84	1,96	19,92	0,005	9,88	0,04
Arbrat clar	196,96	0,42	447	0,44	0,58	6,31	0,017	3,20	0,01
Arbrat dens	18864,01	40,35	2717	6,94	109,75	3545,61	0,012	18,80	7,58
Conreus	801,23	1,71	1039	0,77	1,96	34,64	0,019	4,32	0,07
Matollars	4338,64	9,28	3551	1,22	6,60	283,06	0,011	6,52	0,61
Prats i herbassars	11703,27	25,04	3091	3,79	57,33	2333,71	0,007	19,94	4,99
Roquissars	3196,61	6,84	2592	1,23	4,49	112,57	0,008	3,52	0,24
Tarteres	6055,98	12,96	3140	1,93	17,01	523,98	0,008	8,65	1,12
Vies de comunicació	271,83	0,58	56	4,85	7,54	30,57	0,083	11,25	0,07
Zones esportives	12,35	0,03	13	0,95	1,34	4,89	0,063	39,61	0,01
Zones nues	395,42	0,85	424	0,93	4,48	53,44	0,019	13,51	0,11
Zones urbanitzades	707,87	1,51	746	0,95	8,10	209,41	0,012	29,58	0,45

Taula 7. Mètriques bàsiques del MCSA de l'any 2012.

La taula 7 correspon a les mètriques de l'any 2012. En total suma 18.055 polígons i la mitjana de superfície per polígon és de 2,59 ha.



Gràfic 4: L'eix vertical esquerra mostra el nombre de polígons total de cada un dels mapes (gràfic de barres). L'eix vertical dret mostra amb la línia vermella l'Àrea Mitjana per Polígons amb hectàrees (Ha / Pol). La línia negra marca la tendència de l'Àrea Mitjana per Polígons.

Tal i com es mostra en el gràfic 4 es pot apreciar una certa tendència a augmentar el nombre total de polígons (NP) a mesura que els mapes són més actuals. Com a conseqüència el valor de l'àrea mitjana per polígon (AMP) disminueix progressivament amb els mapes més actuals tal i com es mostra amb la línia de tendència (color negre).

La fragmentació

La fragmentació és un procés mitjançant el qual un element es divideix en parts més petites. És un procés bàsic en l'ecologia del paisatge, entès com la reducció de la mida dels hàbitats i l'augment de l'aïllament, amb el que això suposa d'acord amb la teoria de la insularitat que, entre altres coses, prediu el descens del número d'espècies a mesura que disminueix la mida dels hàbitats i la distància entre ells (MacArthur i Wilson, 1967).

El procés de fragmentació es pot donar per canvis naturals, però sens dubte, s'accelera substancialment per accions antròpiques, quan per exemple es construeixen noves vies de comunicació, s'incrementen les zones urbanes o es redueixen les parcel·les agrícoles...

Un dels programes, d'accés lliure, més utilitzats per calcular diferents mètriques és el programa Fragstats (McGarigal y Marks, 1995). Aquest ofereix un ampli ventall de càlculs que

serveixen per quantificar l'estructura del paisatge i que, al mateix temps, poden ajudar a complementar les mètriques calculades anteriorment.

Cal especificar que en aquest conjunt de càlculs s'han usat únicament els dos mapes més distants temporalment parlant, és a dir el de l'any 1948 i 2012. També, ha fet falta disminuir el nivell de detall d'ambdós mapes, a una resolució de 5 metres per píxel, per tal de facilitar aquests càlculs a nivell computacional. Aquest canvi de resolució espacial ens pot fer variar lleugerament els valors d'algunes de les variables calculades segons si s'ha fet mitjançant R o mitjançant el programa Fragstats. Trobem un exemple en el càlcul del NP (Número de polígons o de fragments).

Fragstats és un programari lliure creat l'any 1995 que ha estat àmpliament utilitzat en estudis d'ecologia i d'avaluació del paisatge. El càlcul d'aquestes mètriques aporten rellevància si aquestes poden ser comparables en mapes del mateix indret però de diferents anys.

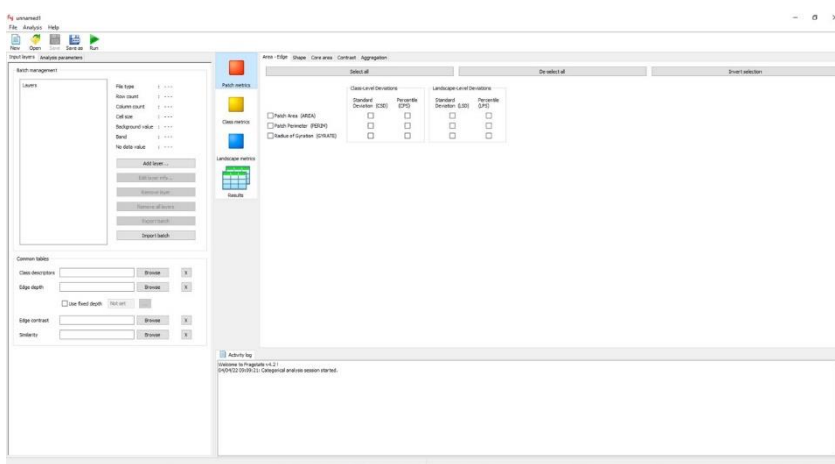


Figura 6. Imatge del programa lliure Fragstats (v.4.2).

A continuació s'adjunten dues taules resum de les mètriques calculades a partir del programa Fragstats:

CATEGORIA	NP 48	NP 12	AI 48	AI 12	COHESION 48	COHESION 12
Arbrat clar	1200	451	96,997	93,8511	91,8384	87,3287
Arbrat dens	1414	2508	99,8034	99,9151	96,0304	96,8189
Matollars	3034	3567	98,203	98,3153	91,9642	90,606
Prats i herbassars	2190	3329	99,7988	99,74	95,5616	94,2771
Roquissars	1400	2523	98,3794	97,7076	94,1836	91,8639
Tarteres	2374	3208	98,9387	99,1896	92,8896	93,6051
Zones nues	78	636	95,2377	97,9251	88,5733	87,1072
Aigües continentals	221	240	96,4358	96,104	93,3502	92,3977
Conreus	457	924	99,0989	97,0182	94,7807	91,5064
Zones urbanitzades	267	751	93,9798	98,511	88,8516	93,0036
Vies de comunicació	64	137	98,2197	98,5412	68,6009	68,7625
Zones esportives		13		95,8093		95,543
Sense dades	12		99,6659		99,4291	

Taula 8. Mètriques bàsiques per categories calculades a partir del programa FRAGSTATS.

MAPA	NP	AI	CONTAG	COHESION	SHDI	SIDI
MCSA 1948	12711	94,7624	57,945	99,6213	1,8057	0,7933
MCSA 2012	18287	94,3972	61,0769	99,7282	1,6339	0,7437

Taula 9. Mètriques bàsiques del mapa sencer calculades a partir del programa FRAGSTATS.

NP = Nombre de polígons

AI = Índex d'Agregació

COHESION = Índex de cohesió

CONTAG = Índex de contagi

SHDI = Índex de Shannon

SIDI = Índex de Simpson's

La taula 8 mostra tres mètriques calculades a nivell de categoria pel mapa de l'any 1948 i pel mapa de l'any 2012.

El NP es refereix al número de polígons, o dit també nombre de “pedaços” o fragments (atès que estem parlant d'un mapa en format ràster). És una mètrica que també s'ha calculat anteriorment mitjançant programació en R, però en aquest cas s'observa que els resultats són lleugerament inferiors degut a que prèviament ha fet falta ampliar la mida de píxel a 5 metres per tal de poder fer córrer el programa. Es pot definir aquesta mètrica com una de les més senzilles d'obtenir però que pot ajudar a calcular índexs més complexes, doncs per si sola tampoc no ens aporta gaire informació. S'ha calculat el NP tant a nivell de categories com a nivell global de tot el mapa.

L'índex d'agregació (AI) ens indica el nombre d'adjacències per a cada una de les categories amb si mateixa. També s'ha calculat a nivell global de tot al mapa. És un índex que s'interpreta a partir d'un percentatge. Quan aquest s'acosta a 0 vol dir que aquella determinada categoria està desagregada, i per tant a mesura que s'acosta a 100 vol dir que està més agregada fins al punt que si el valor fos 100 significaria que només hi ha un únic polígon o pedaç d'aquella categoria. Observant les dades obtingudes es pot veure com el nivell d'agregació en general és molt alt en totes les categories i en el conjunt dels mapes. S'observen però algunes divergències segons l'evolució que ha patit alguna determinada categoria. Per posar un exemple, es pot veure com en la categoria de zones urbanes, la qual ha crescut moltíssim amb el pas del temps, l'any 1948 presenta un nivell d'agregació significativament inferior (93,98%) al de l'any 2012, on les zones urbanes presenten un dibuix molt més continu (98,51%).

L'índex de cohesió (COHESION) té una lectura molt similar a l'índex d'agregació. També es valora en percentatge i aquest augmenta quan el tipus de coberta es torna més agregada o unida. Dit d'una altra manera, mesura la connectivitat de cada classe a través de la distribució dels objectes (“pedaços”). En els mapes seleccionats es reflecteix una major cohesió en la majoria de categories del mapa de l'any 1948 exceptuant en la categoria de bosc dens la qual presenta un lleuger increment de la cohesió en el mapa de l'any 2012. Al mateix temps, les categories de zones urbanes i vies de comunicació també obtenen un índex de cohesió més

elevat en el mapa més actual (any 2012), doncs és bastant lògic pensar que el creixement urbà ha generat un procés d'unir zones urbanes que antigament estaven disperses.

A la taula 9 es mostren les mètriques a nivell global de tot el mapa. Es pot observar com el mapa més antic té prop d'un 30% menys de fragments que el mapa més actual. No obstant això, l'índex d'agregació global és molt similar entre els dos mapes.

Pel que fa a l'índex de contagi, aquest adopta valors de 57,9 l'any 1948 per 61,1 l'any 2012. En aquest sentit es considera que quant major és el seu valor major és el nivell de connectivitat.

Pel que fa a l'índex de Shannon i el de Simpson, quan s'utilitzen en aquest format ens pot donar una informació molt relativa, ja que només ens evoca a una major o menor heterogeneïtat del mapa.

L'índex de Shannon (Shannon, 1948), ens aporta informació sobre la diversitat del paisatge. El rang de l'índex de Shannon varia des de 0 (quan el paisatge és totalment homogeni), i es va incrementant fins l'infinit a mesura que augmenta la heterogeneïtat. En concret, l'índex de Shannon fa referència a la diversitat de la composició i estructura del paisatge, on el valor absolut resulta ser significatiu per comparar diferents paisatges o, un mateix paisatge, en diferents moments temporals (Massoni. E. *et al*, 2014).

En el cas dels mapes escollits, es detecta un cert grau de retrocés de l'índex de Shannon del mapa de l'any 2012 amb un valor de 1,6339 respecte al de l'any 1948, el qual obté un valor de 1,8057. Aquesta dada indicaria una tendència a una major homogeneïtat del paisatge l'any 2012.

Pel que fa a l'índex de Simpson, els valors se situen entre 0 i 1, adoptant els valors més propers a 1 quan un mapa presenta major diversitat, o dit d'una altra manera, quan la distribució de les diferents categories és més equitativa en l'espai. S'observa que en aquest cas els valors obtinguts dels mapes dels anys estudiats van en clara consonància amb els valors aconseguits amb l'índex de Shannon. El valor de l'any 2012 és de 0,74 vers un valor lleugerament superior, 0,79 de l'any 1948.

9. Anàlisi de la dinàmica de canvi del paisatge

Els mapes de cobertes del sòl permeten conèixer la superfície i la localització de cadascuna de les cobertes i al mateix temps, permet encreuar la seva informació amb altres mapes (Burriel, J.A. et al, 2001)

En aquest apartat es desenvolupen diferents anàlisis de la dinàmica de canvi o velocitat de canvi del territori tenint en compte diferents factors com l'acció antròpica, l'orografia del territori, l'orientació...

9.1 Dinàmica de canvi del fons de vall

En l'anterior informe comparatiu dels mapes de cobertes del sòl dels anys 1972 i 1995, es va calcular la dinàmica de canvi de la zona de fons de vall amb la resta del país. Aleshores es va poder determinar que durant aquest període, la zona qualificada com a fons de vall va canviar en un 38,3 %, mentre que la zona classificada com a vessant o alta muntanya va canviar en un 22,8 %; demostrant així la influència de l'activitat antròpica com a element distorsionador o de canvi del paisatge.

En el cas de la comparativa entre els mapes dels anys 1948 i 2012 també s'ha fet el mateix exercici. S'ha considerat la mateixa zona de fons de vall utilitzada en l'anterior informe.

A continuació es recorden els paràmetres usats per definir la zona del fons de vall:

- 1- S'ha utilitzat la capa de rius principals per definir per on transcorre el fons de vall.
- 2- S'ha determinat una zona d'influència (buffer) de 800 metres a banda i banda del riu Valira fins arribar en el punt on s'ajunten el Valira d'Orient amb el Valira del Nord. A partir de la població d'Escaldes-Engordany cap amunt, i tots els rius subsidiaris, s'ha establert la zona d'influència de 500 metres a banda i banda dels rius.
- 3- Amb el model digital de pendents s'ha establert el rang per definir les zones més planes i més aptes per l'assentament antròpic. S'ha considerat el rang que va de 0 als 30º.
- 4- Amb el model digital d'elevacions s'ha seleccionat tot el territori que està per sota els 2.200m. Considerant la població del Pas de la Casa com l'assentament de més altitud d'Andorra.
- 5- Finalment, s'han combinat les tres capes; selecció del model digital d'elevacions, selecció del model digital de pendents i la selecció de la zona d'influència (buffer) al voltant dels rius, obtenint la zona considerada del fons de vall.

6- A partir d'aquí s'han retallat els mapes de cobertes del sòl per a la zona de fons de vall del 1948 i el 2012 i s'ha calculat una nova matriu de canvis per percebre el canvi produït en aquesta zona.

7- S'ha fet el mateix exercici amb la resta de superfície, és a dir amb tot el territori que no es considera fons de vall, és a dir les zones de vessants i l'alta muntanya.

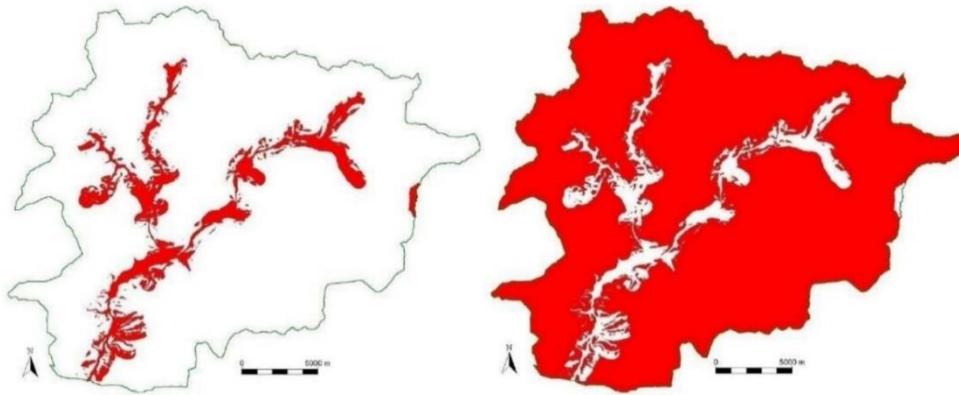


Figura 7. Imatge de la zona considerada com a fons de vall (mapa esquerra) amb 4.618 ha. i imatge de la zona de vessant (mapa dret) amb 42.128 ha.

A continuació es mostren les dues matrius de canvis, la que correspon al fons de vall (taula 10), i la que correspon a la resta del país, l'anomenada zona de vessant (taula 11).

1948 \ 2012 Fons de Vall	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herba	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urban	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	6,39	0,00	1,61	0,22	0,19	0,01	0,00	0,00	0,16	0,20	0,72	9,51	32.8	67.2
Arbrat clar	0,21	1,15	92,41	2,68	8,04	5,13	2,29	0,53	1,00	1,42	4,32	119,18	99.0	1.0
Arbrat dens	11,08	4,42	1215,51	26,67	32,08	42,89	4,91	1,79	24,72	19,49	98,34	1481,91	18.0	82.0
Conreus	3,03	1,82	344,79	526,25	76,20	292,23	8,75	0,75	53,56	52,60	392,67	1752,66	70.0	30.0
Matollars	2,92	0,70	280,35	12,68	85,75	30,15	14,72	2,64	12,15	8,77	31,08	481,91	82.2	17.8
Prats i herbassars	4,27	1,51	185,96	18,58	45,54	163,07	8,43	5,01	12,67	16,55	56,04	517,62	68.5	31.5
Roquissars	0,15	0,08	20,92	0,90	6,08	5,51	17,40	0,04	0,59	0,25	1,61	53,53	67.5	32.5
Tarteres	0,00	0,00	27,12	0,36	4,65	1,77	0,89	15,46	0,59	0,22	2,22	53,30	71.0	29.0
Vies de comunicació	0,18	0,01	5,21	3,14	1,58	4,52	0,01	0,00	33,88	0,84	16,63	66,01	48.7	51.3
Zones nues	0,04	0,00	2,91	0,64	0,70	1,74	0,06	0,29	0,62	0,99	1,29	9,27	89.3	10.7
Zones urbanes	0,22	0,02	2,47	5,05	1,48	3,42	0,42	0,00	0,96	0,47	52,88	67,39	21.5	78.5
Sense dades	0,00	0,00	3,62	0,00	1,38	0,00	0,00	0,01	0,39	0,00	0,30	5,69	100.0	0.0
NODATA->NODATA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02		
Total	28,51	9,72	2182,89	597,17	263,66	550,46	57,89	26,51	141,30	101,81	658,10	4618,00		
Error	77.6	88.2	44.3	11.9	67.5	70.4	69.9	41.7	76.0	99.0	92.0			
Exactitud	22.4	11.8	55.7	88.1	32.5	29.6	30.1	58.3	24.0	1.0	8.0			

Taula 10. Matriu de canvis de la zona de fons de vall dels mapes dels anys 1948 i 2012. Expressat en hectàrees.

1948 \ 2012 Vessants	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herba	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urban	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	145,22	0,00	0,32	0,00	1,33	10,93	1,04	2,27	0,00	2,43	0,00	163,56	11.2	88.8
Arbrat clar	0,28	17,46	1029,93	1,40	186,20	89,95	41,57	33,79	3,94	5,40	2,54	1412,46	98.8	1.2
Arbrat dens	0,24	43,86	11077,08	9,09	508,10	321,35	140,98	82,01	48,72	32,75	11,99	12276,18	9.8	90.2
Conreus	0,00	1,79	197,79	143,96	46,77	208,90	5,14	1,58	12,05	10,79	21,97	650,74	77.9	22.1
Matollars	0,81	25,72	2029,65	7,66	1701,82	449,87	259,06	320,27	15,21	36,23	7,08	4853,39	64.9	35.1
Prats i herbassars	14,44	80,28	1395,28	39,43	1062,64	8770,62	506,58	1036,21	38,67	172,55	14,07	13130,78	33.2	66.8
Roquissars	1,87	7,14	132,63	0,05	171,63	442,54	1785,53	587,72	0,80	7,52	0,42	3137,85	43.1	56.9
Tarteres	9,35	7,68	355,75	0,22	192,34	650,57	256,40	3710,94	1,67	20,53	0,14	5205,59	28.7	71.3
Vies de comunicació	0,01	0,01	1,23	0,00	0,54	4,82	0,11	0,00	8,28	1,37	0,12	16,48	49.7	50.3
Zones nues	0,06	0,09	14,06	0,18	3,07	4,77	3,47	1,63	0,35	2,76	0,12	30,56	91.0	9.0
Zones urbanes	0,00	0,00	0,49	0,48	0,96	2,00	0,25	0,06	0,04	0,08	3,63	8,00	54.6	45.4
Sense dades	0,90	3,21	446,71	1,57	199,13	194,37	136,42	251,89	0,83	1,17	0,00	1236,20	100.0	0.0
NODATA->NODATA	0,00	0,00	0,28	0,02	0,43	2,11	2,09	1,05	0,00	0,02	0,04	6,04		
Total	173,19	187,25	16681,22	204,05	4074,96	11152,80	3138,65	6029,43	130,56	293,60	62,12	42127,83		
Error	16.1	90.7	33.6	29.4	58.2	21.4	43.1	38.5	93.7	99.1	94.2			
Exactitud	83.9	9.3	66.4	70.6	41.8	78.6	56.9	61.5	6.3	0.9	5.8			

Taula 11: Matriu de canvis de la zona de vessants dels mapes dels anys 1948 i 2012. Expressat en hectàrees.

La dinàmica de canvi del fons de vall és del 54,1% mentre que la de la zona de vessant és del 35%. Aquesta clara diferència entre aquestes dues zones d'estudi es pot explicar per l'acció antròpica concentrada al fons de vall.

Es pot apreciar com les cobertes vegetals (arbrat dens, matollars i prats i herbassars) de la zona de fons de valls obtenen un percentatge significativament més alts que en les zones de vessant.

Al mateix temps, queda ben palès l'augment de les zones urbanes al fons de vall. L'any 1948 ocupaven un 1,46% de la superfície del fons de vall mentre que l'any 2012 augmenta fins al 14,25% del total del fons de vall. Aquest increment tan notori de les zones urbanes al fons de vall és el que fa que a nivell de percepció notem tan de canvi al nostre entorn més quotidià.

Un altre dels principals canvis que ha sofert el fons de vall ha estat la pèrdua de les zones dedicades als conreus. Tradicionalment, les zones més aptes per l'establiment dels conreus són les situades al fons de vall, ja sigui per la seva situació més plana com també per la qualitat del seu sòl, normalment més rics en nutrients i amb una estructura del sòl més profunda. L'any 1948 hi havia 1.752,66 hectàrees de conreus que corresponia al 37,95% del territori considerat com a fons de vall. El procés d'abandonament d'aquesta pràctica queda reflectit amb les 597,17 hectàrees que s'han cartografiat l'any 2012, les quals equivalen a un 12,93% del fons de vall, és a dir una tercera part del que hi havia. Tal i com es pot llegir a la matriu de canvis del fons de vall (Taula 10), la categoria que ha ocupat més zones dels antics conreus ha estat les zones urbanes amb 392,67 hectàrees.

9.2 Dinàmica de canvi per rangs altitudinals

Un altre dels estudis que s'ha considerat és el de valorar com va variant la dinàmica de canvi a mesura que es puja en altitud. És interessant poder observar quin estatge està sotmès a una pressió de canvi més forta.

Així doncs, s'han diferenciat tres rangs altitudinals. Aquests s'han definit amb un criteri molt general, basat en els estatges de vegetació:

- 1- Un primer rang va dels 850m (punt més baix d'Andorra) fins als 1.600m. És una franja on s'estableix bona part de l'estatge montà. És la zona on la pràctica de l'agricultura s'adaptarà millor. També és la zona on s'hi troba més fons de vall i per tant més assentaments i activitat humana.
- 2- El rang entre els 1.600m i els 2.300m. És el rang on es troben els vessants dominats pel bosc. Encara s'hi pot trobar algunes poblacions i zones de conreu al fons de vall.
- 3- El rang per sobre els 2.300m. Correspon a la zona alpina, dominada pels prats d'alta muntanya i les zones de roquissars i tarteres.

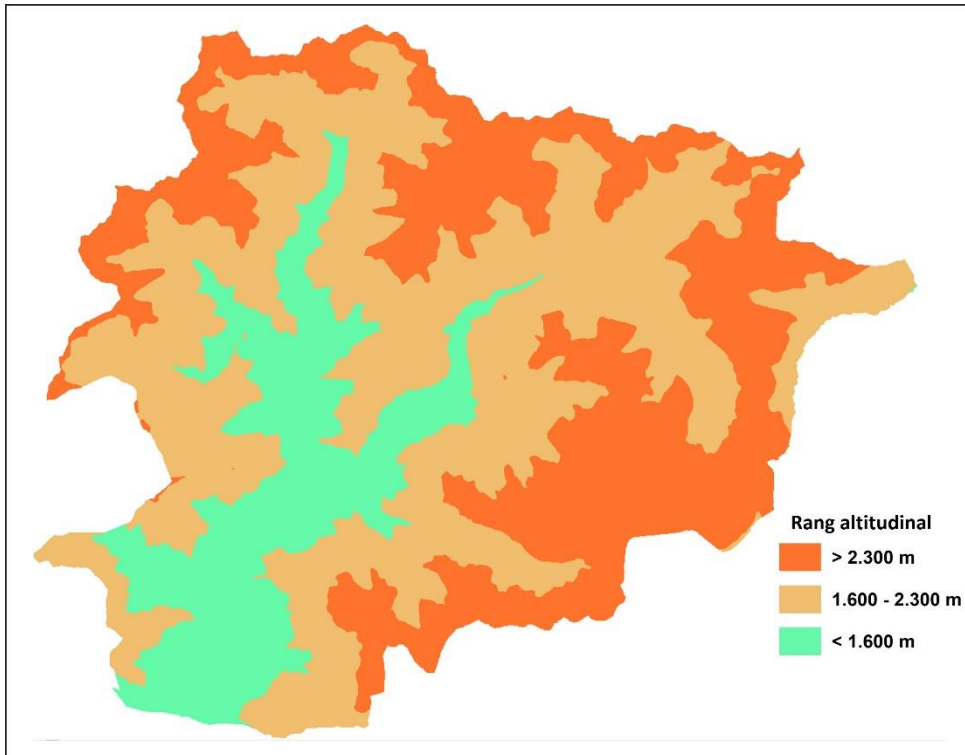


Figura 8. Mapa dels rangs altitudinals escollits per estudiar les diferències en la dinàmica de canvi. El rang inferior (<1.600 m) té una superfície de 8.345 ha, el rang intermèdi (1.600 - 2.300 m) és el més ampli i té una superfície de 22.359 ha i el rang superior (> 2.300 m) té una superfície de 16.013 ha.

Per dur a terme aquesta pràctica s'ha preparat de forma independent el mapa dels anys 1948 i 2012 per cada un dels tres rangs altitudinals i posteriorment s'ha executat cada una de les matrius de canvis per cada rang.

1948 \ 2012	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herba	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urbanes	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	6,39	0,00	1,61	0,22	0,19	0,01	0,00	0,00	0,16	0,20	0,72	9,51	32.8	67.2
Arbrat clar	0,20	1,00	219,82	2,99	57,70	4,61	16,38	1,66	1,36	0,89	6,11	312,73	99.7	0.3
Arbrat dens	10,92	0,32	3411,27	33,45	155,54	28,23	35,63	9,69	36,79	20,22	106,66	3848,72	11.4	88.6
Conreus	3,03	1,72	412,74	473,39	83,76	216,94	11,16	0,84	50,37	47,69	376,42	1678,05	71.8	28.2
Matollars	2,81	0,84	731,89	15,69	380,00	36,05	62,24	8,12	14,13	7,16	35,39	1294,32	70.6	29.4
Prats i herbassars	3,74	1,32	316,99	39,25	109,80	117,30	20,91	21,65	14,79	10,04	38,67	694,47	83.1	16.9
Roquissars	0,17	0,36	56,97	0,83	19,58	4,44	47,77	0,47	0,88	0,54	1,93	133,94	64.3	35.7
Tarteres	0,00	0,17	92,88	0,45	25,06	3,21	3,55	71,86	1,03	0,15	1,99	200,35	64.1	35.9
Vies de comunicació	0,19	0,02	4,31	1,82	1,25	2,13	0,04	0,00	26,11	0,75	14,31	50,92	48.7	51.3
Zones nues	0,04	0,00	4,98	0,24	0,48	0,39	0,05	0,13	0,38	0,82	1,32	8,83	90.7	9.3
Zones urbanes	0,22	0,00	2,67	2,82	1,54	2,41	0,21	0,00	0,77	0,38	50,46	61,50	18.0	82.0
Sense dades	0,00	0,00	30,70	0,00	9,85	0,00	3,15	7,39	0,39	0,00	0,30	51,78	100.0	0.0
NODATA->NODATA	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05		
Total	27,71	5,75	5286,83	571,15	844,74	415,76	201,10	121,81	147,16	88,84	634,28	8345,15		
Error	76.9	82.6	35.5	17.1	55.0	71.8	76.2	41.0	82.3	99.1	92.0			
Exactitud	23.1	17.4	64.5	82.9	45.0	28.2	23.8	59.0	17.7	0.9	8.0			

Taula 12. Matriu de canvis del rang altitudinal < 1.600 m dels mapes dels anys 1948 i 2012. Expressat en hectàrees.

1948 \ 2012	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herba	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urbanes	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	41,08	0,00	0,27	0,00	0,07	1,27	0,00	0,19	0,00	1,51	0,00	44,39	7.5	92.5
Arbrat clar	0,27	15,09	818,91	1,09	107,80	67,72	22,36	20,13	3,58	5,93	0,75	1063,61	98.6	1.4
Arbrat dens	0,34	45,77	8735,57	2,30	358,00	316,06	93,61	59,70	36,65	32,02	3,66	9683,70	9.8	90.2
Conreus	0,00	1,89	129,84	196,81	39,14	284,14	2,74	1,49	15,24	15,71	38,22	725,22	72.9	27.1
Matollars	0,48	19,17	1436,50	4,64	897,16	257,98	115,89	95,96	12,54	29,38	2,77	2872,47	68.8	31.2
Prats i herbassars	4,64	70,51	1179,44	18,72	625,05	3341,50	124,93	160,96	33,16	58,97	30,19	5648,07	40.8	59.2
Roquissars	0,10	4,86	81,87	0,11	71,83	81,62	174,75	56,03	0,50	0,76	0,10	472,55	63.0	37.0
Tarteres	2,10	4,50	258,21	0,13	78,48	137,25	29,50	523,68	1,07	2,76	0,30	1037,99	49.5	50.5
Vies de comunicació	0,00	0,00	2,13	1,33	0,87	6,39	0,07	0,00	14,08	0,14	2,36	27,36	48.5	51.5
Zones nues	0,02	0,09	11,99	0,59	3,28	3,59	3,11	1,23	0,59	2,36	0,09	26,96	91.2	8.8
Zones urbanes	0,00	0,02	0,28	2,70	0,91	2,95	0,39	0,05	0,23	0,17	6,06	13,76	56.0	44.0
Sense dades	0,53	2,57	391,75	1,52	147,37	79,92	75,94	41,14	0,83	1,17	0,00	742,73	100.0	0.0
NODATA->NODATA	0,00	0,00	0,01	0,00	0,20	0,21	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,45		
Total	49,57	164,45	13046,78	229,95	2330,16	4580,61	643,29	960,57	118,48	150,87	84,52	22359,26		
Error	17.1	90.8	33.0	14.4	61.5	27.1	72.8	45.5	88.1	98.4	92.8			
Exactitud	82.9	9.2	67.0	85.6	38.5	72.9	27.2	54.5	11.9	1.6	7.2			

Taula 13. Matriu de canvis del rang altitudinal 1.600 -2.300 m dels mapes dels anys 1948 i 2012. Expressat en hectàrees.

1948 \ 2012	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Matollars	Prats i herba	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urban	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	103,99	0,00	0,05	1,26	9,65	1,04	2,09	0,00	0,93	0,00	119,01	12.6	87.4
Arbrat clar	0,03	2,52	83,45	28,71	22,72	5,13	12,52	0,00	0,00	0,00	155,07	98.4	1.6
Arbrat dens	0,06	2,19	144,79	26,48	19,94	16,65	14,41	0,00	0,00	0,00	224,53	35.5	64.5
Matollars	0,44	6,41	141,08	510,08	185,72	95,62	218,79	0,69	8,46	0,00	1167,30	56.3	43.7
Prats i herbassars	10,30	9,96	84,59	372,96	5466,85	368,22	858,03	3,19	120,02	1,15	7295,26	25.1	74.9
Roquissars	1,75	2,00	14,69	86,27	361,25	1575,84	530,07	0,00	6,47	0,00	2578,35	38.9	61.1
Tarteres	7,24	3,01	31,77	93,44	511,60	223,95	3129,10	0,16	17,85	0,07	4018,19	22.1	77.9
Vies de comunicació	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	0,01	0,00	1,97	1,33	0,07	4,21	53.2	46.8
Zones nues	0,04	0,00	0,00	0,00	2,53	0,36	0,55	0,00	0,56	0,00	4,04	86.1	13.9
Zones urbanes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,14	100.0	0.0
Sense dades	0,37	0,65	27,51	43,17	113,72	57,01	202,87	0,00	0,00	0,00	445,30	100.0	0.0
NODATA->NODATA	0,00	0,00	0,00	0,03	0,32	0,53	0,28	0,00	0,01	0,00	1,18		
Total	124,22	26,74	527,94	1162,40	6695,17	2344,44	4968,72	6,02	155,62	1,29	16012,56		
Error	16.3	90.6	72.6	56.1	18.3	32.8	37.0	67.3	99.6	100.0			
Exactitud	83.7	9.4	27.4	43.9	81.7	67.2	63.0	32.7	0.4	0.0			

Taula 14. Matriu de canvis del rang altitudinal > 2.300 m dels mapes dels anys 1948 i 2012. Expressat en hectàrees.

Un cop fetes les matrius de canvis dels respectius rangs altitudinals, es pot comprovar, i com era d'esperar, que la dinàmica de canvi va disminuint a mesura que augmentem en altitud. Així doncs, en el primer càlcul (Taula 12), el que correspon al rang inferior als 1.600m., s'obté una dinàmica de canvi del 45%. El rang intermedi (Taula 13), el que va dels 1.600 m. fins als 2.300 m. s'obté un valor de canvi del 37,6% i pel rang de més altitud (Taula 14), per sobre els 2.300 m, s'obté un valor de canvi del 31,7%.

Els resultats obtinguts són els esperats, ja que el rang inferior és el que correspon a la major part de la zona del fons de vall i per tant on s'estableix un major percentatge d'assentaments humans i conreus. El rang intermedi encara hi trobem zones de fons de vall amb l'establiment d'algunes poblacions més reduïdes i també, en menor mesura, zones de conreus. En canvi, per sobre els 2.300 m., el rang superior, l'espai dedicat a l'assentament humà és gairebé insignificant i les zones de conreus són inexistents en els dos mapes d'estudi. Probablement, en les zones de més altitud cal comptar que hi pot haver un grau d'error important a l'hora de comparar zones de tarteres, ja que en l'elaboració del mapa de l'any 1948, amb ortofotografies en blanc i negre i de qualitat no gaire bona, es pot donar el cas de confusió entre els prats alpins i les tarteres. Aquest fet, s'ha pogut constatar posteriorment a l'hora d'elaborar el mapa de l'any 2012, amb el qual es comptava amb un canal infraroig que permet detectar amb molta més exactitud on hi ha herbassars i on hi ha pedra.

Dins l'apartat de rangs altitudinals també és interessant estudiar com ha variat la categoria de boscos, tenint en compte que a nivell de valors absoluts és la categoria que ha crescut més entre l'any 1948 al 2012, augmentant la seva superfície en 5.105,8 hectàrees que representa un increment del 37,11 %.

A la taula 15 s'extreuen els valors de les matrius de canvis de la categoria de boscos i es calcula el percentatge d'aquesta categoria dins de cada rang altitudinal considerat.

	Rang < 1600 m (ha)	Rang < 1600 m (%)	Rang 1600 - 2300 m (ha)	Rang 1600 - 2300 m (%)	Rang > 2300 m (ha)	Rang > 2300 m (%)
1948	3848,72	46,1	9683,7	43,3	224,53	1,4
2012	5286,83	63,4	13046,78	58,4	527,94	3,3

Taula 15. Dades de bosc per rangs altitudinals dels mapes dels anys 1948 i 2012.

Es pot apreciar com tant en valors absoluts com a nivell proporcional, la presència de bosc augmenta en els tres estatges altitudinals. En els dos primers, per sota els 1.600m. i entre 1.600m i 2.300m., es dona un increment molt similar del 37,4 % i del 34,7% respectivament; mentre que a l'estatge de la zona més alpina (> 2.300 m), tot i que la presència de bosc és molt escassa, es passa del 1,4% a 3,3% el que significa un increment del 135,7%.

Sens dubte, aquests números reafirmen el creixement del bosc per tot el país i sobretot com en cotes de més altitud va guanyant més presència en detriment de la categoria de prats i herbassars la qual, segons es desprèn de la matriu de canvis corresponent a l'estatge superior als 2.300m., perd unes 600 hectàrees que equival a un 9% dins d'aquell rang altitudinal. En aquest cas, l'augment del bosc en altitud, es pot explicar com una de les conseqüències del canvi climàtic, el qual afavoreix l'establiment del bosc en altitud modificant el perímetre de la l'anomenada "timberline" o línia que marca el límit del bosc a l'alta muntanya.

Una altra de les categories que és interessant analitzar en funció dels rangs altitudinals és la dels conreus.

Durant el període estudiat, aquests han passat d'ocupar un superfície de 5,14% del territori l'any 1948 a 1,71% l'any 2012.

Conreus	Rang < 1600 m (ha)	Rang < 1600 m (%)	Rang 1600 - 2300 m (ha)	Rang 1600 - 2300 m (%)	Rang > 2300 m (ha)	Rang > 2300 m (%)
1948	1678,1	20,1	725,2	3,2	0	0
2012	571,2	6,8	230,0	1,0	0	0

Taula 16. Dades de conreus per rangs altitudinals dels mapes dels anys 1948 i 2012.

La taula 16 mostra com els conreus, l'any 1948, ocupaven un 20,1 % de la superfície que està per sota els 1.600 metres, fet que representa el 86,3% de tot els conreus del país. En el següent rang altitudinal, el de 1.600 a 2.300 metres, només un 3,2% del territori està dedicat als conreus, el qual representa un 13,7% de la totalitat de la categoria.

L'any 2012, la categoria de conreus ha disminuït dues terceres parts respecte el mapa inicial (1948). Concretament, el 87,2% dels conreus se situen al rang altitudinal inferior, ocupant un 6,8% del territori, mentre que el 12,8% restant està situat al rang altitudinal dels 1.600 als 2.300m, sent aquest només un 1% del territori.

Tal i com es pot observar, la disminució de la categoria de conreus és generalitzada en tot el país, tot i que es pot apreciar un major abandonament d'aquesta pràctica en les zones de més altitud.

9.3 Diferència en la dinàmica de canvi entre obaga i solana

Un altre dels aspectes interessants a estudiar és el de saber si la dinàmica de canvi de les cobertes del sòl pot variar en funció de la quantitat de radiació solar, o dit d'una altra manera en funció de si s'està en zona de solana o en zona d'obaga.

Andorra és un país muntanyós on l'orografia juga un paper important a l'hora d'establir l'assentament humà i les zones de conreus. En aquest sentit és interessant saber si amb el pas dels anys el factor de l'orientació ha estat una variable que ha influenciat en la dinàmica de canvi, tant en les cobertes del sòl antròpiques com en les cobertes del sòl naturals (bosc, matollars i prats).

Per dur a terme aquest càlcul s'utilitza el model digital d'orientacions, derivat del model digital d'elevacions d'una resolució de 5 metres.

S'estableixen tres zones (Figura 9), l'obaga, la solana i una zona completament plana molt petita la qual es considera que no té cap orientació i que en aquest cas es descarta per l'estudi.

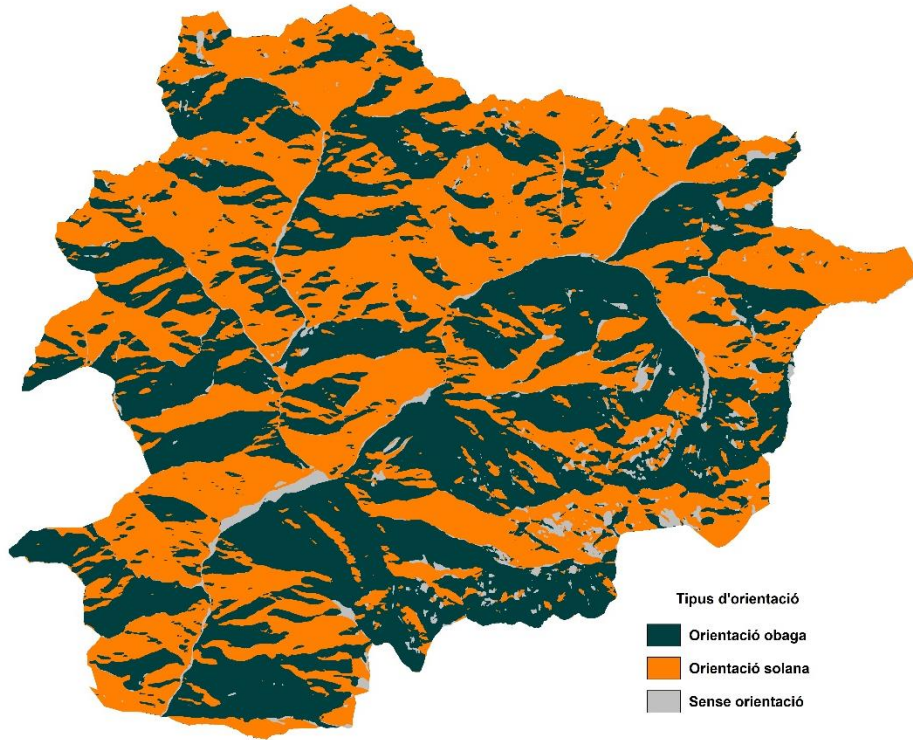


Figura 9. Mapa d'orientacions entre obaga i solana. La zona solana té una superfície de 23.793 ha, mentre que la zona obaga té una superfície de 22.203 ha.

1948 \ 2012 Obaga	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herba	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urban	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	12,21	0,44	0,61	0,24	0,40	0,66	0,15	0,19	0,04	0,42	0,03	15,39	20.7	79.3
Arbrat clar	0,68	4,89	461,85	13,09	59,68	29,97	10,21	15,17	1,56	1,40	1,60	600,09	99.2	0.8
Arbrat dens	2,34	19,57	7776,10	104,13	241,64	157,99	53,18	46,67	34,99	28,65	38,16	8503,42	8.6	91.4
Conreus	1,17	1,66	474,06	287,97	72,10	137,53	15,74	19,73	24,13	30,93	130,26	1195,27	75.9	24.1
Matollars	0,97	13,96	1047,54	65,97	876,59	212,93	103,50	196,01	14,17	31,64	13,87	2577,15	66.0	34.0
Prats i herbassars	3,26	21,42	619,07	79,35	452,55	2599,72	188,90	508,93	23,16	81,76	22,83	4600,95	43.5	56.5
Roquissars	0,55	3,35	71,36	6,44	109,24	139,88	883,78	372,71	2,92	7,23	1,42	1598,88	44.7	55.3
Tarteres	1,17	0,91	126,03	11,91	86,40	174,62	163,71	1870,89	3,52	11,71	1,41	2452,29	23.7	76.3
Vies de comunicació	0,01	0,00	1,59	0,60	0,57	0,82	0,58	0,75	6,86	0,76	2,42	14,97	54.2	45.8
Zones nues	0,00	0,00	2,75	0,34	0,13	0,40	0,16	0,31	0,29	0,80	1,17	6,35	87.3	12.7
Zones urbanes	0,02	0,01	0,42	0,56	0,15	0,53	0,09	0,11	0,15	0,26	8,46	10,76	21.4	78.6
NODATA->NODATA	0,05	2,31	265,92	11,64	97,84	67,69	33,82	148,10	0,64	0,43	0,00	628,43		
Total	22,42	68,52	10847,29	582,24	1997,29	3522,73	1453,82	3179,57	112,42	195,99	221,64	22203,95		
Error	45.5	92.9	28.3	50.5	56.1	26.2	39.2	41.2	93.9	99.6	96.2			
Exactitud	54.5	7.1	71.7	49.5	43.9	73.8	60.8	58.8	6.1	0.4	3.8			

Taula 17. Matriu de canvis de les zones obagues dels mapes dels anys 1948 i 2012. Expressat en hectàrees.

1948 \ 2012 Solana	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herba	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urban	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	22,40	0,75	1,08	0,41	0,53	1,60	0,49	0,33	0,09	0,41	0,17	28,26	20.7	79.3
Arbrat clar	0,75	11,63	569,79	25,73	129,43	49,86	30,48	10,51	1,60	4,30	2,95	837,02	98.6	1.4
Arbrat dens	2,17	24,84	4151,80	99,89	332,94	161,01	98,24	25,74	11,29	11,31	39,51	4958,73	16.3	83.7
Conreus	0,56	4,31	405,94	341,05	158,27	355,19	38,91	21,61	22,96	27,31	138,81	1514,90	77.5	22.5
Matollars	1,29	10,27	1244,86	92,45	889,05	323,52	189,35	75,92	11,20	8,44	21,41	2867,76	69.0	31.0
Prats i herbassars	3,12	48,51	737,70	115,30	736,87	5732,64	458,78	486,30	24,65	68,42	22,80	8435,09	32.0	68.0
Roquissars	0,63	3,58	106,94	12,88	95,59	411,55	1000,75	313,07	4,40	2,94	3,65	1955,98	48.8	51.2
Tarteres	1,46	4,96	135,92	15,93	77,49	415,93	208,91	1617,06	5,23	5,66	3,86	2492,41	35.1	64.9
Vies de comunicació	0,07	0,02	2,16	0,78	1,42	5,14	2,51	2,78	14,17	1,61	4,29	34,96	59.5	40.5
Zones nues	0,04	0,08	10,02	1,64	3,52	6,21	3,50	1,71	0,73	2,39	1,90	31,73	92.5	7.5
Zones urbanes	0,13	0,01	1,27	2,51	2,16	3,03	1,10	0,69	0,98	1,09	27,15	40,11	32.3	67.7
NODATA->NODATA	0,08	0,43	161,61	12,83	98,14	124,91	113,17	84,21	0,43	0,27	0,24	596,31		
Total	32,69	109,38	7529,08	721,39	2525,40	7590,59	2146,18	2639,94	97,73	134,15	266,74	23793,26		
Error	31.5	89.4	44.9	52.7	64.8	24.5	53.4	38.7	85.5	98.2	89.8			
Exactitud	68.5	10.6	55.1	47.3	35.2	75.5	46.6	61.3	14.5	1.8	10.2			

Taula 18. Matriu de canvis de les zones solanes dels mapes dels anys 1948 i 2012. Expressat en hectàrees.

Els resultats de les matrius de canvis entre l'obaga i la solana són molt similars però si que s'aprecia una major dinàmica de canvi a la solana amb un valor percentual de canvi del 40,5% del territori vers el 33,6% del territori considerat com a zona obaga.

S'observa com tant les categories antròpiques (conreus, zones urbanes, vies de comunicació) com les de vegetació (bosc i matollars) exceptuant la de prats i herbassars, obtenen uns valors més alts de canvi en les zones solanes que en les zones obagues. Per exemple, la categoria de zones urbanes de l'any 1948 situades a les solanes obtenen un canvi del 32,3% a l'any 2012, mentre que a les obagues aquest valor és del 21,4 %. En el cas de la categoria dels conreus la diferència entre les dues orientacions és molt menor, doncs un 77,5% dels conreus existents de les zones solanes de l'any 1948 han canviat de categoria. A les zones obagues el percentatge de canvi dels conreus és del 75.9%. Pel que fa a la categoria de bosc també s'observen canvis significatius entre solana i obaga. A la zona solana s'observa que un 16,3% del bosc del 1948 ha canviat mentre que a la zona obaga tan sols arriba a un 8,6%. En el cas dels matollars han sofert un canvi del 69% a la zona solana i un 66% a la zona obaga.

9.4 Dinàmiques de canvi entre períodes

En aquest apartat es fa una valoració de com ha estat la dinàmica de canvi anual entre els períodes estudiats, és a dir entre els mapes considerats en l'estudi: 1948, 1972, 1995 i 2012.

S'obté una dinàmica de canvi a nivell global per cada període, però també és interessant observar les variabilitats de canvi que es donen entre les diferents categories, fixant-nos sobretot en les categories antròpiques, les quals agafen tendències diferents segons el moment econòmic i social del país.

1948 \ 1972	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herbassars	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urbanes	Sense dades	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	151,92	0,11	4,38	0,25	0,37	9,99	1,31	2,87	0,25	0,92	0,23	0,38	172,98	12.2	87.8
Arbrat clar	0,53	144,90	801,93	9,52	301,78	180,13	31,31	34,34	2,14	2,34	1,91	20,88	1531,72	90.5	9.5
Arbrat dens	6,59	339,64	11484,53	75,03	1078,01	466,07	115,84	101,99	22,45	24,48	29,65	14,00	13758,28	16.5	83.5
Conreus	2,57	7,08	275,32	1420,55	98,96	410,01	8,23	2,51	26,77	35,08	116,34	0,00	2403,41	40.9	59.1
Matollars	2,18	131,28	1516,55	44,87	2602,90	581,22	159,60	265,04	8,66	11,63	9,18	2,20	5335,29	51.2	48.8
Prats i herbassars	14,29	99,83	695,88	93,25	855,92	10719,67	266,12	765,09	10,85	53,67	15,41	54,48	13644,48	21.4	78.6
Roquissars	2,45	6,24	87,74	2,80	187,36	462,65	1798,01	579,54	0,58	3,25	0,33	58,08	3189,04	43.6	56.4
Tarteres	10,99	13,11	227,82	1,80	216,73	548,00	163,41	4023,63	0,94	8,82	0,43	42,98	5258,66	23.5	76.5
Vies de comunicació	0,05	0,12	9,86	10,41	3,41	7,74	0,35	0,08	28,60	10,19	11,69	0,00	82,49	65.3	34.7
Zones nues	0,21	0,48	7,26	0,68	3,05	7,64	0,10	0,54	0,30	19,08	0,50	0,00	39,83	52.1	47.9
Zones urbanes	0,01	0,00	2,58	10,55	3,10	5,06	0,38	0,13	0,38	0,71	52,49	0,00	75,39	30.4	69.6
Sense dades	1,12	16,50	324,77	0,06	261,29	234,96	112,13	246,36	0,18	0,00	0,19	44,76	1242,32	96.4	3.6
NODATA	0,00	0,00	0,06	0,00	3,29	15,53	6,17	10,65	0,00	0,09	0,01	0,00	35,79		
Total	192,90	759,29	15438,67	1669,77	5616,18	13648,67	2662,96	6032,77	102,09	170,26	238,36	237,75	46769,67		
Error	21.2	80.9	25.6	14.9	53.7	21.5	32.5	33.3	72.0	88.8	78.0	81.2			
Exactitud	78.8	19.1	74.4	85.1	46.3	78.5	67.5	66.7	28.0	11.2	22.0	18.8			

Taula 19. Matriu de canvis entre els mapes dels anys 1948 i 1972. Expressat en hectàrees.

1972 / 1995	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herbassars	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urbanes	Sense dades	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	165,09	0,12	6,19	1,26	0,58	10,97	0,65	3,15	0,28	0,72	1,41	0,15	190,57	13.4	86.6
Arbrat clar	0,77	56,10	68,80	3,14	108,61	112,66	6,27	20,49	0,07	0,81	0,02	0,62	378,36	85.2	14.8
Arbrat dens	3,64	541,85	14080,85	186,30	1791,02	927,25	107,15	156,75	16,85	23,38	4,35	40,01	17879,41	21.2	78.8
Conreus	0,22	0,25	39,85	689,24	6,98	54,94	0,05	0,21	1,04	5,04	3,00	0,39	801,21	14.0	86.0
Matollars	1,43	84,20	623,65	177,78	2738,12	821,73	117,10	129,18	6,76	13,34	3,27	25,76	4742,31	42.3	57.7
Prats i herbassars	8,64	45,45	232,78	342,58	436,04	10361,78	248,15	480,69	6,49	38,49	3,78	54,17	12259,04	15.5	84.5
Roquissars	5,80	10,67	88,65	3,98	133,27	274,75	1920,49	174,45	0,68	0,31	0,08	47,91	2661,03	27.8	72.2
Tarteres	3,69	11,92	103,54	0,84	312,16	785,50	254,44	5050,05	0,10	0,89	0,01	68,74	6591,89	23.4	76.6
Vies de comunicació	0,12	1,97	41,35	13,55	14,92	29,32	1,19	0,99	46,42	11,97	1,30	0,00	163,09	71.5	28.5
Zones nues	2,21	5,92	64,10	44,56	57,65	228,08	5,48	15,98	5,50	44,93	1,46	0,00	475,86	90.6	9.4
Zones urbanes	1,29	0,82	88,90	206,55	16,83	41,69	2,00	0,83	17,91	30,39	219,67	0,00	626,89	65.0	35.0
Total	192,90	759,29	15438,67	1669,77	5616,18	13648,67	2662,96	6032,77	102,09	170,26	238,36	237,75	46769,67		
Error	14.4	92.6	8.8	58.7	51.2	24.1	27.9	16.3	54.5	73.6	7.8	100.0			
Exactitud	85.6	7.4	91.2	41.3	48.8	75.9	72.1	83.7	45.5	26.4	92.2	0.0			

Taula 20. Matriu de canvis entre els mapes dels anys 1972 i 1995. Expressat en hectàrees.

1995 \ 2012	Aigües conti	Arbrat clar	Arbrat dens	Conreus	Matollars	Prats i herbass	Roquissars	Tarteres	Vies de com	Zones nues	Zones urbanes	Total	Error	Exactitud
Aigües continentals	170,09	0,56	7,53	0,12	1,96	9,37	3,36	3,01	0,10	3,20	2,24	201,55	15.6	84.4
Arbrat clar	0,00	55,59	37,35	0,28	33,93	54,57	2,92	11,74	0,02	0,52	0,03	196,96	71.8	28.2
Arbrat dens	2,38	222,91	16977,32	34,25	913,31	409,66	82,08	151,26	3,40	34,64	32,62	18863,82	10.0	90.0
Conreus	0,90	0,18	37,49	583,65	51,64	101,09	0,35	0,15	0,67	11,23	13,86	801,21	27.2	72.8
Matollars	1,04	59,70	351,15	10,25	2968,01	567,58	98,99	260,58	0,62	14,42	6,06	4338,41	31.6	68.4
Prats i herbassars	9,57	24,71	239,52	89,48	346,96	10121,29	114,72	554,63	3,67	181,25	11,56	11697,36	13.5	86.5
Roquissars	0,49	6,23	61,52	0,39	233,83	385,22	2186,26	304,91	0,19	12,54	0,68	3192,26	31.5	68.5
Tarteres	2,67	6,67	54,29	0,13	118,32	419,08	154,36	5289,90	0,12	8,35	0,09	6053,98	12.6	87.4
Vies de comunicació	0,67	0,20	27,70	6,85	11,80	24,08	1,32	0,97	144,36	21,75	31,96	271,67	46.9	53.1
Zones nues	1,34	0,09	38,95	25,20	22,12	115,66	8,73	5,11	3,88	157,92	16,40	395,40	60.1	39.9
Zones urbanes	1,40	1,52	46,17	50,61	33,07	38,89	1,76	0,31	6,07	29,01	511,36	720,19	29.0	71.0
NODATA	0,01	0,00	0,42	0,01	7,36	12,55	6,18	9,31	0,00	1,03	0,02	36,87		
Total	190,57	378,36	17879,41	801,21	4742,31	12259,04	2661,03	6591,89	163,09	475,86	626,89	46769,67		
Error	10.7	85.3	5.0	27.2	37.4	17.4	17.8	19.8	11.5	66.8	18.4			
Exactitud	89.3	14.7	95.0	72.8	62.6	82.6	82.2	80.2	88.5	33.2	81.6			

Taula 21. Matriu de canvis entre els mapes dels anys 1995 i 2012. Expressat en hectàrees.

En les matrius de canvis realitzades s'observen diferents velocitats de canvi segons el període considerat. Així doncs, durant el període més antic (1948 - 1972) el canvi global anualitzat és de 1,48%. El període comprès entre el 1972 i el 1995 el canvi anual baixa a 1,06% i finalment el període més recent que va de l'any 1995 al 2012 el canvi anual és de 0,96%.

	Període 1948 -1972	Període 1972 - 1995	Període 1995 -2012
Canvi anual de les cobertes del sòl	1,48%	1,06%	0,96%

Taula 22. Quadre resum de la dinàmica de canvi anualitzada de les cobertes del sòl dels períodes considerats.

Les dades mostren que amb el pas dels anys, a nivell global, el canvi del paisatge s'ha anat moderant progressivament.

No obstant això, cal considerar que pot existir un cert biaix en els mapes més antics (1948 i 1972), doncs aquests s'han realitzat a partir d'imatges en blanc i negre i amb una resolució no tan detallada com als mapes més actuals.

9.5 Ubicació i densitat de les zones de canvi de les cobertes del sòl

Les zones on s'han produït més canvis de les cobertes del sòl queda recollit en un mapa de densificació de canvis. Aquest es fa a partir de la suma dels mapes de canvi entre els períodes 1948 - 1972; 1972 - 1995 i 1995 - 2012.

Els valors van de 0 a 3. El 0 correspon a aquelles zones que no s'ha produït cap canvi des de l'any 1948. El valor 1 representa un canvi en algun dels tres períodes; el valor 2 en dos dels períodes i el valor 3 correspon a les zones on es produeix més dinàmica de canvi ja que en els tres períodes s'ha produït algun canvi de la coberta del sòl.

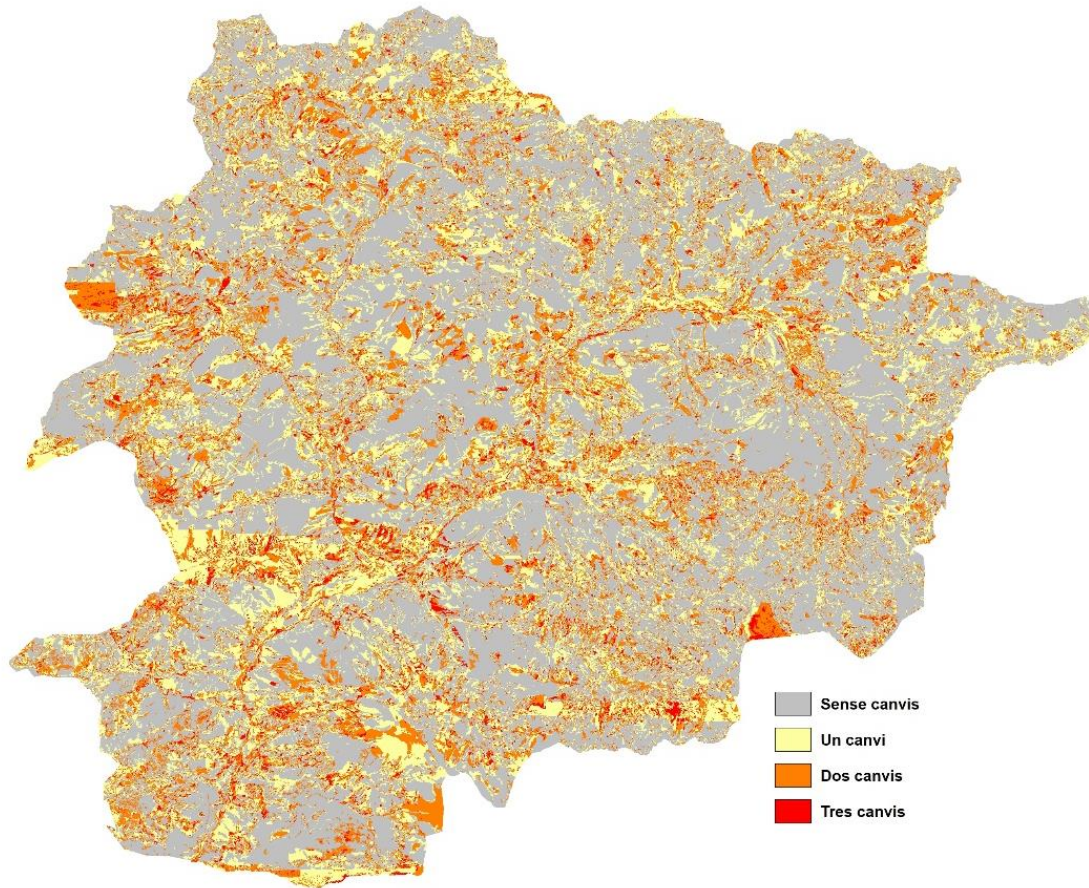


Figura 10. Mapa de densitats de canvis durant tot el període estudiat.

A la figura 10 s'observa que els canvis es produeixen arreu del país, però es detecta major densitat en els extrems dels fons de vall i també en aquells indrets on s'hi ha construït pistes d'esquí o altres equipaments. Les zones més inalterades corresponen en aquells indrets d'alta muntanya amb presència de roquissars i prats alpins i també a les zones on tradicionalment estava ocupat pel bosc.

Paral·lelament, s'aprecia una certa distorsió en aquells indrets on hi ha hagut manca de dades, és a dir en les zones dels mapes dels anys 1948 i 1972 en els quals no es disposava d'imatges, i per tant estaven representades amb la categoria de "Sense dades".

10. Conclusions

L'elaboració dels mapes de cobertes del sòl s'han fet a partir d'ortofotografies de diferents anys, utilitzant el mateix àmbit geogràfic i les mateixes categories. Aquests permeten estudiar l'evolució del paisatge i quantificar la dinàmica de canvi del territori.

Després de calcular-ne els seus principals resultats i tractar-ne alguns aspectes més concrets, com la situació, l'altitud, l'orientació...se'n poden extreure les següents conclusions.

- Per elaborar els diferents mapes de cobertes del sòl i poder-los comparar entre ells ha estat necessari disposar d'ortofotografies per poder digitalitzar els mapes amb una mateixa escala de treball. En aquest sentit, prèviament ha calgut rectificar geomètricament les fotografies aèries dels anys 1948 i 1972.

- Les estadístiques bàsiques de la comparativa entre els diferents mapes conclouen que el bosc és la coberta que creix més en valors absoluts, ocupant l'any 2012 un 40,35% del territori andorrà. Per contra, les altres cobertes vegetals, els matollars i els prats i herbassars perden superfície i passen d'un 11,4% i un 29,2% a un 9,3% i un 25% respectivament. Les zones urbanes creixen amb consonància amb l'augment de la població, i obtenen un increment superior al 800%, passant d'un 0,16% l'any 1948 a un 1,51% del territori l'any 2012, ubicat majoritàriament al fons de vall. Finalment, cal destacar la pèrdua continuada de terreny destinat als conreus. En aquest cas es passa d'un 5,1% de l'any 1948 a un 1,7% l'any 2012, tot i que cal matisar que durant el període que va de l'any 1995 al 2012, el terreny dedicat a les zones de conreus s'ha mantingut inalterat.

- La densitat de la població en les zones urbanes ha anat augmentant amb el pas dels anys fins arribar a l'any 2012 a 10.771 persones / Km². Tot i que cal puntualitzar que el creixement del darrer període estudiat (1995- 2012) creix a un ritme de menys de la meitat del que s'ha enregistrat en els altres períodes d'estudi, concretament a 25,9 persones /any / Km².

- El càlcul d'algunes mètriques i índexs ajuden a entendre com s'han produït els canvis i com a evolucionat el paisatge. Dades com l'àrea mitjana del polígon ens evoquen que amb el pas dels anys els mapes van obtenir un major grau de fragmentació, tot i que cal fer una lectura segons cada categoria.

- El càlcul d'índexs com el de Shannon o el de Simpson's ens aporta informació útil si comparem un mateix paisatge per a diferents moments temporals. En ambdós casos, els valors obtinguts ens evoquen a un lleuger increment de la homogeneïtat del paisatge. És a dir, que el mapa de l'any 1948 presentava una estructura i composició del paisatge una mica més diversa que el mapa més actual (2012).

- L'estudi de la dinàmica de canvi considerant diferents aspectes de l'orografia del terreny, pot donar una visió molt interessant de la velocitat en què es produeixen els canvis en determinats indrets.

- La dinàmica de canvi global obtinguda a partir de la matriu de canvis dels dos mapes més distants temporalment ha estat del 36,9%. És a dir que un 63,1% del territori s'ha mantingut inalterat en la comparativa dels mapes dels anys 1948 i 2012.
- La velocitat de canvi s'ha anat moderant amb el pas dels anys. S'ha passat d'un 1,48% de canvi anual durant el període 1948 - 1972 a un 0,96% de canvi anual durant el període 1995 - 2012.
- La dinàmica de canvi entre el que es considera fons de vall i la resta del país és força substancial. Mentre que en el fons de vall, durant el període estudiat (1948 -2012), s'ha donat una dinàmica de canvi del 54,1%, a la resta del territori ha estat del 35%. Cal destacar com les zones urbanes al fons de vall han passat d'ocupar un 1,46% a un 14,25%. En canvi les zones de conreus han disminuït dues terceres parts del que ocupaven, passant del 37,95% al 12,93% en la zona del fons de vall.
- En l'estudi del canvi del paisatge segons rangs altitudinals, els resultats són els lògics que calia esperar; és a dir que la dinàmica de canvi és més elevada a mesura que es baixa en els rangs de menor altitud. Així doncs, en el rang que va de 850 a 1.600m s'obté un canvi del 45%, en el rang que va de 1.600 a 2.300m el canvi és del 37,6% i finalment en el rang de la zona alpina, per sobre els 2.300m, el canvi és del 31,7%. Dins d'aquest apartat cal destacar també com la categoria d'arbrat dens, la qual augmenta en tots els rangs altitudinals, en la zona de més altitud passa del 1,4 al 3,3% del territori, fet que fa pensar com la situació de canvi climàtic generalitzat afavoreix l'expansió del bosc en altitud.
- Tenint en compte que Andorra és un país merament muntanyós, amb un clima que es podria catalogar com a temperat a l'estiu i fred a l'hivern, és una obvietat pensar, com la importància en la situació dels assentament humans i l'establiment de certes pràctiques agrícoles i ramaderes ha estat cabdal a l'hora de buscar les orientacions més favorables per obtenir una major radiació solar. És per aquest motiu que s'ha estudiat quines diferències s'han produït segons si la orientació ha estat obaga o solana. Els resultats deixen ben palès com, efectivament, en les zones considerades com a solanes es produeix una dinàmica de canvi major, amb un valor del 40,5% vers el 33,6% de la zona obaga.
- El mapa de la figura 10 mostra la ubicació i la densitat dels canvis en les cobertes del sòl i reflecteix a nivell geogràfic els aspectes tractats de l'estudi.
- La continuïtat d'aquest estudi amb l'elaboració de nous mapes de cobertes del sòl i la seva comparativa amb els mapes anteriors, definirà les noves tendències en la dinàmica de canvi del paisatge andorrà.

11. Discussió

És important en un estudi de llarg recorregut com aquest, enumerar aquells punts que es consideren que poden haver generat un cert grau d'error en l'elaboració dels mapes i en els càlculs dels resultats finals. El fet de presentar-los no genera més o menys error però sí més consciència de les possibles debilitats que puguin tenir els resultats.

A continuació s'enumeren els principals errors implícits en l'estudi:

- 1- Errors en la rectificació geomètrica de les fotos aèries dels anys 1948 i 1972. És un procés en el qual es necessiten entre 20 i 35 punts de referència per situar correctament cada fotografia aèria. Per tant, és fàcil que en certs indrets, sobretot en zones de grans extensions de boscos i de prats alpins, la fotografia presenti un cert desplaçament d'alguns metres respecte a les ortofotografies d'altres anys.
- 2- Errors d'interpretació dels autors. Fer un mapa a partir d'ortofotografies és treballar amb una font completament objectiva del territori. No obstant això, el procés de digitalització per fotointerpretació està supeditada a la subjectivitat de l'autor. Malgrat que les diferents categories del mapa estiguin ben definides, sempre es presentaran zones de transició entre dues categories on l'autor haurà de decidir on situar el límit, i inevitablement es generaran equivocacions o simplement divergències lleus de criteri, les quals en el moment de fer la comparativa entre els diferents mapes quedaran reflectides com a zones de canvi (Caritg, R. 2012).
- 3- Errors provocats per la qualitat de les fotografies aèries. Es dona principalment en fotografies més antigues on es detecten zones borroses que dificulten la interpretació del territori. Per altra banda, en zones de muntanya és freqüent trobar ombres provocades per les mateixes muntanyes que també dificulten la comprensió d'alguns vessants (Caritg, R. 2012).
- 4- Dificultats en la interpretació de les imatges en blanc i negre. Tant les fotografies de l'any 1948 com les del 1972 són en blanc i negre, fet que dificulta la interpretació d'algunes categories, sobretot si ho comparem amb les imatges en color de l'any 1995 o fins i tot amb les de l'any 2012 les quals, a part de tenir més nitidesa i més bona resolució, disposen d'un canal infraroig que ajuda molt a l'hora d'interpretar les categories vegetals amb les categories abiòtiques.
- 5- Errors provocats per la falta d'imatges. Tant en les fotografies aèries de l'any 1948 com de l'any 1972, hi ha algunes zones que no es disposa de cap imatge i ha fet falta catalogar-la amb la categoria de "Sense dades". En el cas de l'any 1948 l'extensió amb manca d'informació és de 1.243ha (2,66%), mentre que l'any 1972 és de 238ha (0,51%).

- 6- Errors provocats pel canvi en el límit nacional d'Andorra. Cada vegada que s'ha fet un nou mapa de cobertes del sòl, s'ha usat el límit nacional oficial del país que hi havia en aquell moment, cedit per l'Àrea de Cartografia del M.I. Govern d'Andorra. El fet que a partir de l'any 2012 aquest límit s'hagi modificat lleugerament, ha provocat que els mapes fets després d'aquell any tinguin un límit una mica diferent. Per aquest motiu, en algunes de les matrius de canvi s'ha generat una categoria de "NoData" que correspon en aquells indrets de divergències entre els dos límits nacionals utilitzats. En tots els casos, al ser zones molt petites, no s'ha tingut en compte a l'hora de valorar els resultats.

12. Agraïments

A l'Àrea de Cartografia del M.I. Govern d'Andorra per cedir les fotografies aèries dels anys 1948 i 1972, les ortofotografies dels anys 1995 i 2012 i les capes del límit nacional d'Andorra .

A la Mercè Gómez i al Carles Dalmases com assessor del CREAM per dur a terme la feina d'escaneig de les fotos aèries dels anys 1948 i 1972 a format digital.

Als col·laboradors de l'antic CENMA: Clara Pladevall, Sara Pijuan, Lurdes Garet, Roger Curiel, Raül Mas, Xavier Moreta, Roger Figuerola, Sònia Àlvarez, Charles Rescoïn i Maria Roquet; que en diferents anys han ajudat en el procés de rectificació geomètrica de les fotos aèries dels anys 1948 i 1972.

A la Ivette Serral del CREAM i a l'Anna Pou de l'empresa NEQUA per la descripció de la metodologia i l'assessorament en el procés d'elaboració dels primers mapes.

A la Clara Pladevall i a la Meritxell Martin del CENMA i a la Maria Roquet per dur a terme bona part del procés de fotointerpretació i digitalització dels diferents mapes de cobertes del sòl.

Al Benjamin Komac pels seus comentaris i assessorament en l'elaboració i format a l'informe final sobre l'evolució del paisatge d'Andorra a partir dels mapes de les cobertes del sòl.

13. Bibliografia

- **Aguilera, F.** “Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada” *Anales de Geografía*; 2010, vol. 30, núm. 2, 9-29. ISSN-0211-9803.
- **Burriel, J.A.; Escobar, A.; Pou, A.; Roijs, X.; Ibàñez, J.J.** “Aplicació del mapa de cobertes del sòl i del mapa forestal de Catalunya a la gestió del Parc natural del Montnegre i el Corredor”. III trobada d’Estudiosos del Montnegre i el Corredor. *Monografies*, 32. Barcelona, 2001.
- **Caritg, R.** “Memòria del Mapa de Cobertes del Sòl d’Andorra (MCSA) de l’any 1972. Comparativa amb el MCSA de l’any 1995”. CENMA-IEA. 2012
- **Departament d’Estadística del Govern d’Andorra** “Població registrada”. <https://www.estadistica.ad/serveiestudis/web/index.asp#>
- **Fernández, D.; Corbelle, E.** “Cambios en los usos de suelo en la Península Ibérica: un meta-análisis para el período 1985-2015” *Revista bibliográfica de Geografía y ciencias sociales*. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9796.
- **Guilera, J. M.** “Una història d’Andorra”. Editorial AEDOS, Barcelona. 1960.
- **Guillamet, J.** “Andorra. Nova aproximació a la història d’Andorra” Institut d’Estudis Andorrans. Altaïr, 2009.
- **González, O.; Pons, X.; Bassols, R.; Camps, F. J.** “Dinàmica de les superfícies de conreu de Catalunya mitjançant teledetecció en el període 1987-2012”. *Quaderns Agraris* (Institució Catalana d’Estudis Agraris), núm. 46 (juny 2019), p. 59-91. ISSN: 0213-0319 · e-ISSN: 2013-9780
- **Ibàñez, J.J., Burriel, J.A., Pons, X.** “El mapa de cobertes del sòl de Catalunya: una eina per al coneixement, la planificació i la gestió del territori” *Perspectives territorials*. CREA, 1993.
- **Ledesma, B. E.** “Mediterráneo en Andalucía” *Observatorio Medioambiental* , Ediciones Complutense, 2017. ISSN: 1139-1987. <http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.57951>
- **Llobet, S.** “El medi i la vida a Andorra. Any 1947” *Col·lecció Andorra Històrica i Literària*. 1986.

- **MacArthur, R. H., & Wilson, E. O.** "The Theory of Island Biogeography". Princeton, N.J.: Princeton University Press, 203 p. 1967.
- **Massoni, E., Varga, D., Pintó, J.** "Análisis de los cambios en las cubiertas del suelo de la cuenca del río Fluvià (Girona) en el período 1987 - 2002 y sus efectos sobre la evolución de los servicios de los ecosistemas". Spanish Journal of Rural Development, Vol. V (4): 97-118, 2014. DOI: 10.5261/2014.GEN4.10.
- **McGarigal, K.; Marks, B. J.** "FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure". Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122 p. 1995
- **Morell, S.** "Causas y consecuencias del crecimiento urbanístico en el litoral valenciano a través de la evolución de los usos del suelo. El caso de Olivo". Cuadernos de Turismo, nº 44, (2019); pp. 303-326. Universidad de Murcia. DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/turismo.44.404861>.
- **Pastor, R.** "Paisatges de frontera dels territoris de pas dels Pirineus: els casos de l'àrea central de l'espai català transfronterer i l'àrea central de l'eurociutat basca". Tesis doctoral. Universitat de Girona, 2016. <http://hdl.handle.net/10803/402180>
- **Pérez Martínez, A.** "Aplicación de un SIG al análisis y evaluación de los procesos de fragmentación y homogeneización reciente del paisaje en un territorio atlántico del extremo occidental de Galicia" Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela, 2017.
- **Pons, X., Sevillano, E., Moré, G., Serra, P., Cornford, D., Ninyerola, M.** "Distribución espacial de la incertidumbre en mapas de cubiertas obtenidos mediante teledetección" Revista de Teledetección, 2014. <http://dx.doi.org/10.4995/raet.2014.3059>
- **Rovira, N.; Moles, A.** "Estratègia Nacional del Paisatge" Ministeri de Turisme i Medi Ambient, Govern d'Andorra. Andorra la Vella, 2011.
- **Valera, A.** "Dinámica espacio-temporal de usos/cubiertas del suelo y sostenibilidad ambiental en áreas metropolitanas de la Comunidad Valenciana" Universitat de València, 2011.

14. Annex

IDENTIFICACIÓ DE LES CATEGORIES

Metodologia elaborada pel Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) i l'empresa NEQUA – Ambient i territori.

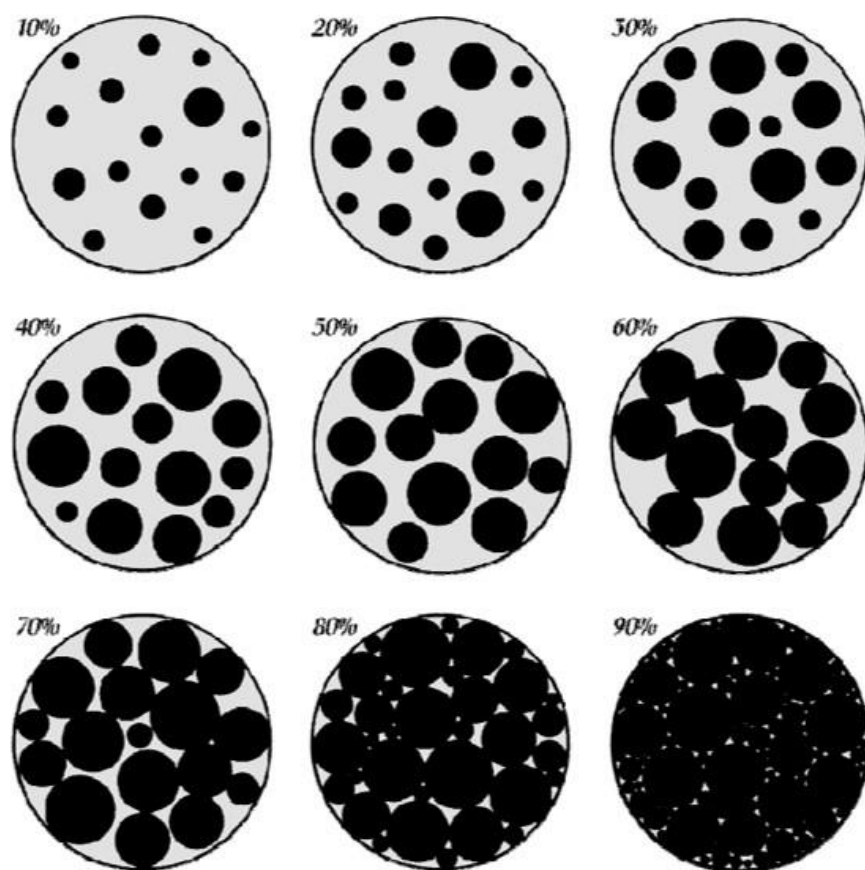
b Boscos densos

Fisiognomia de bosc, amb una cabuda coberta o recobriment arbori superior o igual al 20%. Queden excloses les fileres d'arbres plantades a la vora de les vies de comunicació. Inclou: boscos de ribera, reforestacions i plantacions d'espècies arbòries.

v Boscos clars

Boscos amb una cabuda coberta o recobriment arbori entre el 5% i el 20%, habitualment sobre matollars.

Estimes visuals del percentatge de cobertura de capçada



m Matollars

Formació amb recobriment arbustiu o arbore de port arbustiu superior o igual al 20%, sempre que el recobriment arbore sigui inferior al 5%.



p Prats i herbassars

Àrees amb un recobriment herbaci superior o igual al 20%, sempre que el recobriment arbore sigui inferior al 5% i el recobriment arbustiu inferior al 20%. S'inclouen els aiguamolls i les molleres herbàcies.

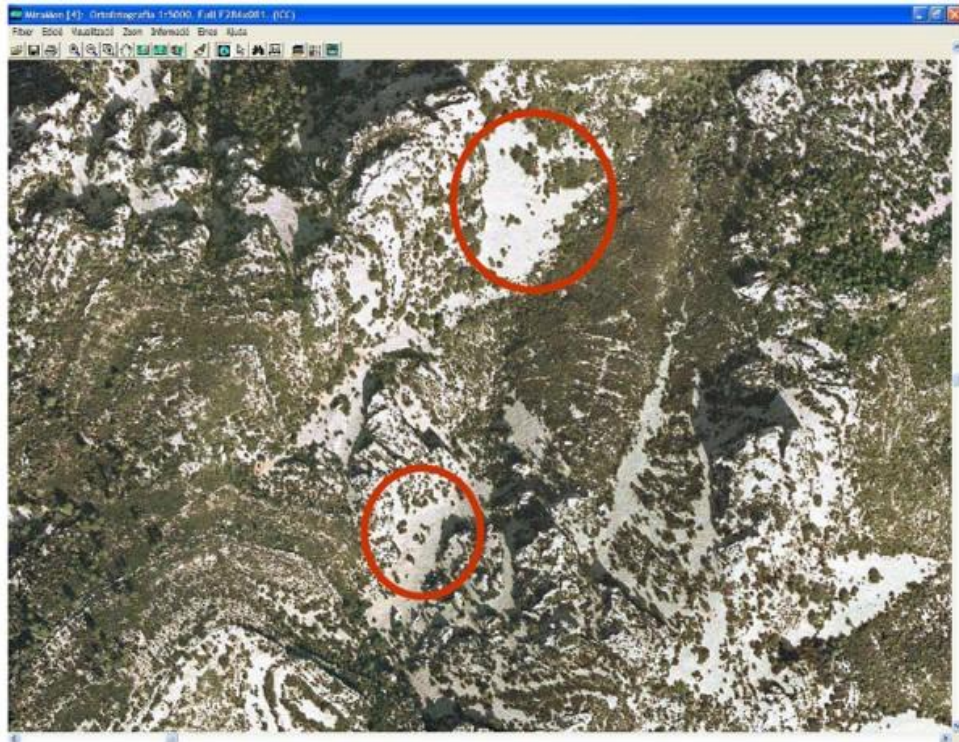
r Roquissars

Àrees constituïdes per roques i, per extensió, qualsevol zona en què apareix una unitat litològica particular.



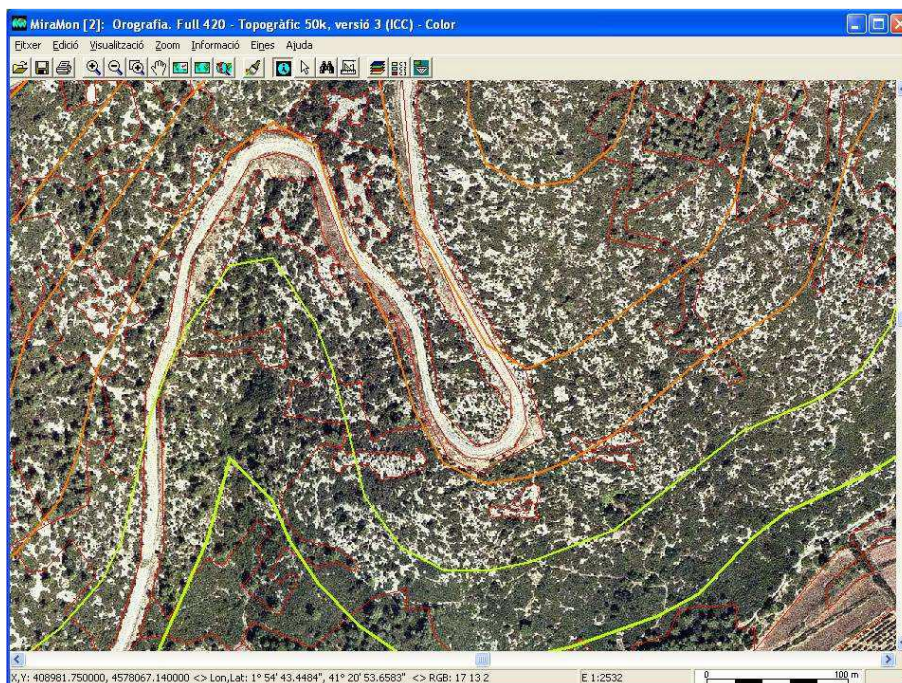
t Tarteres

Extensió de terreny situada al flanc d'una muntanya, coberta de pedres de qualsevol dimensió despreses del cim.



n Sòls nus forestals

Terrenys forestals desproveïts de vegetació com a resultat d'una erosió o pertorbació natural. S'hi inclouen les zones de boscos tallats arreu, les lleres naturals, les vores d'embassaments, les vores de carreteres, pistes forestals i camins, i les àrees denudades per construcció o mineria.



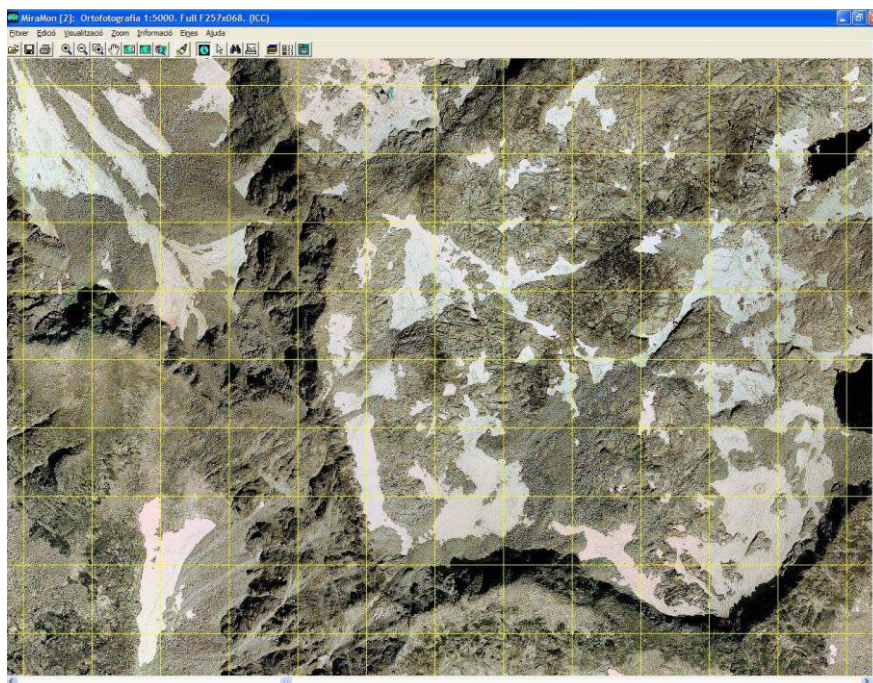
w Aigües continentals

Mar, rius, llacs, embassaments, estanys d'alt muntanya.

y Glaceres i congestes

Àrees cobertes de masses de glaç o de neus que se suposen més o menys permanents. Per a definir la categoria sobre el mapa i descartar sectors poc importants, es pot fer una comparativa amb el MCSA del 1995 i si la taca de congestes hi és present es considerarà com a coberta a considerar també en el MCSA del 1972.

Si es vol prescindir d'aquesta categoria cal deduir per veïnatge la categoria del sòl que li correspon, normalment serà roca, tartera o prats d'alta muntanya.



c Conreus

Qualsevol camp plantat amb espècies herbàcies, hivernacles, arrossars, i també inclou qualsevol camp plantat amb espècies llenyoses i arbòries.

També s'inclouen:

- Els conreus abandonats sempre i quan l'espècie nova que l'ocupi (matollar o arbòria) no tingui una densitat major al 20% en el cas de matollar i del 5% en el cas d'espècies arbòries.
- Els conreus en transformació, que són aquells conreus recentment desproveïts de l'espècie agrícola anteriorment plantada on encara no es reconeix cap altre tipus de conreu.
- Les basses i canals agrícoles



u Urbà

Construccions, edificis, habitatges, urbanitzacions, colònies, indústries, centres logístics i espais annexos (pàrquings, etc.), granges i edificis destinats a la cria d'aviram o de bestiar, i les infraestructures associades.



k Vies de comunicació

Carreteres, pistes forestals, autovies i autopistes, vies de comunicació situades en àrees forestals, habitualment no asfaltades. No es considera una amplada mínima per a les vies de comunicació.

També s'inclouen les zones verdes viàries.

s Zones esportives

Zones esportives o de lleure (parcs d'atraccions, dominis d'esquí, centres esportius, càmpings, camps de golf, etc)

d Zones d'extracció minera

Són espais destinats a l'extracció de materials geològics del seu emplaçament natural per al seu posterior aprofitament econòmic, així com les infraestructures annexes. S'inclouen també salines i abocadors.