



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

## Estudi de les allaus al Pirineu occidental de Catalunya: predicció espacial i aplicacions de la cartografia

Glòria Furdada i Bellavista



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution 4.0. Spain License.**

**ESTUDI DE LES ALLAUS  
AL PIRINEU OCCIDENTAL DE CATALUNYA:  
PREDICCIO ESPACIAL I  
APLICACIONS DE LA CARTOGRAFIA**



*A tot els meus pares i a tots els que m'heu ajudat i donat suport durant aquests anys.*

**Glòria Furdada i Bellavista**

**Tesi Doctoral**

**maig de 1996**

**Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia  
UNIVERSITAT DE BARCELONA**

**BIBLIOTECA DE GEOLOGIA**

**043**

**FURDADA BELLAVISTA**

**DEMANEU EL  
MATERIAL  
D'ACOMPANYAMENT  
AL TAULELL DE  
PRÉSTEC**

*"Prospect der Reparierten Strass über der Lötschenberg im Ampt Frutingen"*

*Dibuix a l'aquarel·la de l'any 1698, anònim, 40 x 40 cm,*

*Arxiu Nacional de Berna.*

Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia

UNIVERSITAT DE BARCELONA

52

**ESTUDI DE LES ALLAUS  
AL PIRINEU OCCIDENTAL DE CATALUNYA:  
PREDICCIÓ ESPACIAL I  
APLICACIONS DE LA CARTOGRAFIA**

Treball fet per GLÒRIA FURDADA I BELLAVISTA

dins del Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia  
de la UNIVERSITAT DE BARCELONA  
sota la direcció del Dr. Joan Manuel Vilaplana  
per optar al grau de Doctora en Geologia

Barcelona, maig de 1996

La Doctoranda  
Glòria Furdada i Bellavista

El Director  
Joan Manuel Vilaplana

*GLÒRIA FURDADA.*

043 FURDADA BELLAVISTA

BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA



0700197602

Aquest treball ha estat finançat i s'emmarca dins dels Projectes:  
Estudi del Risc d'Allaus al Pirineu de Catalunya  
(Dpt. de Política Territorial i Obres Públiques; Generalitat de Catalunya),  
el Projecte d'Investigació AMB- 93-0837  
de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología,  
el Projecte d'Investigació CHRX-CT93-0307  
de la Comunitat Econòmica Europea  
i l'Acció Integrada Hispano-Francesa HF-93/056  
del Ministerio de Educación y Ciencia

Als meus pares,

de qui vaig aprendre que hi ha moltes coses  
més importants que fer una Tesi  
(tot i que fer-la també està molt bé)

Molts anys, quan arribava la primavera, a Espui solien tenir un visitant molt perillós: el llido. Un dia qualsevol, l'allau de neu es despenjava dels Verdins o del Tossal de la Costa, s'esmunyia furiós pel barranc i es presentava al poble.

Un any, el dia 11 de maig va baixar una esllavissada tan enorme, que la neu, amb els arbres i cantals que arrossegava, va colgar el riu Flamicell. De cap a cap de la vall, s'hi va fer una bassa com l'estany Gento, fins que l'aigua no va foradar el tou de neu...

de Muntanyes Maleïdes  
(recull de Pep Coll)

## Argraïments

Des que vaig començar a treballar en temes de neu i allaus fins que he acabat presentant aquesta Tesi, he conegut i tractat moltes persones de móns i professions ben diferents, moltes d'elles relacionades amb la neu. Sabent-ho o no, han influït profundament en la meua formació. Sense elles aquesta Tesi segur que seria diferent, i jo també. A totes elles els vull donar les gràcies.

En primer lloc vull expressar el meu agraïment al Dr. Joan Manuel Vilaplana, director d'aquesta Tesi i impulsor des de l'inici de la línia de treball sobre la neu i les allaus. Poques vegades es pot dir d'algú que és una bona persona, un bon científic, un bon gestor de projectes i un bon amic. Nué, moltes gràcies per les discussions, per la confiança que sempre demostres tenir en les persones, pel bon humor, per l'entusiasme i per tota la resta de coses que es fa tan difícil de resumir aquí. Difícilment hagués pogut trobar un "jefe" millor.

Als membres del tribunal, pel fet d'acceptar ser-ne i, en particular:

Al Dr. Laurent Buisson, per la seva direcció i amical acollida durant un parell d'estades realitzades a la Divisió de Nivologie del CEMAGREF, a Grenoble.

Al Dr. Karstein Lied, del NGI, per la seva dedicació al món de les allaus i pel seu interès en fer conèixer els mètodes estadístics de predicció de màximes zones d'arribada d'allaus de les maneres més formals fins a les més estrafolàries.

Al Dr. Juan Ramón Vidal Romani, amb qui ja vaig poder comentar els resultats sobre geomorfologia glacial de la meua tesina fa uns quants anys.

Al Dr. David Serrat, que va iniciar els primers treballs de geomorfologia alpina i glaciariisme al Pirineu. Vull destacar el seu interès i suport a altres línies de recerca que, com els cas de la neu i les allaus, tenen relació amb el món de l'alta muntanya.

Al Dr. Jaume Calvet, director i company de peripècies i treballs antàrtics i introductor al Departament de noves tecnologies i tractaments informàtics, aplicats a imatges de satèl.lit.

Als membres del Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la Universitat de Barcelona i, especialment, a Secretaria per la seva ajuda de tota mena durant tot el temps que he estat pel Departament.

Al Jaume Bordonau, company de despatx, per tantes i tantes xerrades sobre coses transcendentals i intranscendentals, per tants cafès, per tanta cordialitat i per tanta ajuda callada en la distribució d'hores de classe i demés feines.

A la Maria Angels Marquès, amb qui he compartit moltíssimes hores de pràctiques i de qui admiro el rigor i seriositat amb què es pren les classes.

Als companys de les campanyes antàrtiques, el Cesc Sàbat, el Pere Santanach, el Raimon Pallàs, el Jorge Enrique i el Vicens Palà, amb qui he pogut "carregar piles" per tornar a reemprendre aquesta Tesi a la tornada. No m'oblido del Jordi Corbera, que, a més, m'ha ajudat amb suggerències i comentaris en el desenvolupament d'aquest treball.

A tots els "precaris", per tots els dinars de carmanyola i sobretauls al Sol a la gespa de físiques.

Un record molt especial per a una dels millors amics que mai he tingut: el Xavier Bosch. Amb el cap ple de mil i un projectes i el seu entusiasme encomanadís, va iniciar el Projecte d'Estudi del Risc d'Allaus al Servei Geològic de Catalunya. Amb ell vaig tenir la meva primera feina de veritat i vaig començar a aprendre coses sobre les allaus.

A tota la gent de l'Equip Allaus:

A la Montse Mases, amb qui he xerrat de feina i de vida, amb qui m'he barallat i he passat grans estones, amb qui he intercanviat novel·les i confidències; en definitiva, a una bona amiga.

Al Pere Martínez, que va suportar amb paciència infinita els meus nervis durant les primeres prediccions de perill d'allaus, allà al carrer Diputació...

A la Glòria Martí, al Jordi Gavalrà, al Pere Oller i al Carles García, companys de discussions, de cursets d'allaus, congressos, seminaris, etc. i que es fan càrrec dels temes de neu i allaus a l'I.C.C. També a tota la gent del Servei Geològic de Catalunya amb qui vaig treballar durant quatre anys.

A la Françoise Sabot i l'Emma Surinyach, les noies dels sismògrafs. A la Françoise vull agrair-li especialment la seva ajuda en els números i en la informàtica, i les anades al cine els dilluns al vespre.

Al Dom, última "adquisició" de l'equip, corrector del meu mal anglès i amic.

A la gent de la Divisió de Nivologie del CEMAGREF de Grenoble, on vaig fer dues estades curtes en el marc d'aquesta Tesi; al seu Cap, Gerard Brugnot, per la seva acollida; a la Françoise Gay, per la seva eficàcia discreta i la seva amistat; al Gilles Borrel i a la Corinne Pietri, per la seva ajuda i comentaris sobre cartografia i ArcInfo.

Al Ghali Adjel, que també vaig conèixer al CEMAGREF, per la seva paciència, les seves lliçons sobre estadística i els seus valuosos comentaris sobre els avantatges i limitacions dels mètodes automàtics en la cartografia d'allaus.

A la Raquel Zumel, a l'Hugo Martínez i a l'Agustín, l'Emilia i la Clara. Sense aquests bons amics que em van acollir a casa seva, ben segur que la meva estada a Grenoble no hauria tingut ni la meitat de color...

A en Joan, en Pep, el Teo i la Berta del Servei de Cartografia i Dibuix de la Universitat de Barcelona, per tantes xerrades mentre digitalitzava i tants cafès reconfortants (i pel seu suport tècnic, és clar). També al José Luís Cuevas.

A l'Enric Tomàs, per tota la feina pesada de digitalització que ha fet i per la seva bona disposició i afecte.

A totes aquelles persones que campen pel Pirineu i a qui he conegut tot treballant en aquest món de la neu i les allaus:

Al Quim Merlos, sobretot per les seves preguntes amb segones intencions que fan pensar. A tants altres guardes de refugi, cuiners i passavolants, que m'han donat informació i m'han fet la feina de cartografia molt més agradable: la Montse Barriere; el Valentí i la Núria d'Amitges; el David i l'Anna, que ja no s'ocupen de cap refugi; el Xavi del Blanc; els del Ventosa; els de la Colomina, els de Colomers, etc., etc.

Al personal de les estacions d'esquí i als Bombers dels Grups de Rescat de Muntanya, voluntaris i professionals, de qui he après força coses sobre el món de la muntanya, i que m'han fet reflexionar i comprendre millor tot allò que els volia transmetre als cursets.

Al Pere dels Estanys de la Pera, al Xavi d'Ull de Ter i al Josep del Patuira, per fer-me riure fins tenir mal de panxa i fer-me passar un dels millors cursets d'allaus que he fet mai.



També vull expressar un agraïment especial i afectuós a Hans Gubler i Claude Charlier. Amb un tracte exquisit, m'han transmès coneixements i m'han encoratjat en la meua feina cada vegada que ens hem trobat en algun congrés.

També he pogut aprendre molt d'André Burkard, François Rapin i Steinar Bakkehoi, a través de discussions o simplement pel fet de veure'ls treballar.

A tots ells, moltes gràcies per ajudar-me molt més del que es pensen.

Al llarg dels anys he arribat a apreciar molt al Lorenzo Nettuno, la Françoise Zanolini, l'Stefan Margreth, en Robert Bolognesi, en Françoise Sivardière. Espero anar-los retrobant en congressos i reunions, ja que fan que aquest món de la neu em resulti molt més càlid.

Un record, també, per al Thierry Castelle.

A l'Eulàlia i la Berta, ex-companyes de pis i bones amigues, que m'han aguantat tantes i tantes neures. I a tots els amics de Gràcia (en sentit ampli), Sants, Espolla, Vallirana, etc. A l'Elena, el Jorge i el Toni, el Xavier i la Maribel, l'Enriqueta, l'Enric, el Cañete, i la Dora. Tots ells m'han preguntat una i mil vegades per quina part del món parava i com m'anava la Tesi.

A la Conxi, a qui, en temporades de molta feina he tingut una mica oblidada.

Als meus oncles Carme i Emili, als Muixench, al Vicens Ferrando, a la Rosa Peretó i als Barrera -Alius, per tant afecte i amistat.

A l'Anna, la meua germana, per ser tant diferent de mi i tan estupenda.

Al Josep Maria, per explicar-me els símptomes més comuns de la síndrome pre-doctoral, per aguantar-me tants mals humors, neures i obsessions, per ajudar-me a centrar-me i a acabar d'una vegada, i per tantes i tantes altres coses.

I a tú que, com a mi, també t'agrada la neu

# INDEX

RESUM.....	I
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIO.....	1
MARC EN EL QUE S'ENQUADRA AQUESTA TESI.....	2
OBJECTIUS DEL TREBALL.....	4
ENFOC I METODOLOGIA DE LA TESI.....	5
MARC GEOGRAFIC.....	6
1. LA NEU.....	9
1.1. LA FORMACIO DE LA NEU.....	10
1.2. ELS DIFERENTS ESTATS DE L'AIGUA.....	12
1.3. EL BALANÇ ENERGETIC DEL MANTELL NIVAL.....	13
1.3.1. L'aport de calor del sòl.....	14
1.3.2. El balanç radiatiu.....	14
La radiació solar.....	14
L'albedo de la neu.....	15
El coeficient d'extinció de la neu.....	15
La radiació tèrmica.....	16
1.3.3. Els intercanvis mol.leculars de calor.....	16
1.4. ELS METAMORFISMES DE LA NEU.....	19
1.4.1. L'acció mecànica.....	19
1.4.2. L'acció termodinàmica.....	20
El metamorfisme de la neu seca.....	20
El metamorfisme de la neu humida.....	23
1.5. EL GEBRE.....	25
1.6. ELS EFECTES DEL VENT.....	26
1.7. ALGUNES PROPIETATS MECANIQUES DE LA NEU.....	29
1.7.1. La densitat.....	29
1.7.2. La cohesió.....	31
Per imbricació de cristalls.....	31
Per ponts de glaç o sinterització.....	31
Capilar.....	31
De regel.....	31

---

2. LES ALLAUS .....	33
2.1. DEFINICIONS D'ALLAU .....	34
2.1.1. Resistències de la neu .....	34
Resistència a la compressió, a la tracció i a la cisalla .....	34
2.1.2. Index d'estabilitat .....	35
2.2. LA RESISTENCIA A LA CISALLA I LA RUPTURA PER CISALLA DEL MANTELL NIVAL .....	36
2.2.1. Components de la resistència a la cisalla .....	36
Cohesió .....	36
Fricció .....	37
2.2.2. Condicions per a la ruptura per cisalla .....	38
Plasticitat i viscositat .....	38
Propietats físiques de la neu: relació amb la ruptura per cisalla .....	39
2.3. LA DEFORMACIO I MOVIMENT LENT DEL MANTELL NIVAL .....	41
2.3.1. Reptació .....	41
Assentament .....	41
Fluència .....	42
2.3.2. Lliscament .....	43
2.3.3. Condicions topogràfiques favorables al desencadenament d'allaus .....	44
2.4. EL MOVIMENT O DINAMICA DE LES ALLAUS .....	46
2.4.1. Zona de trajecte .....	46
Allaus de neu seca .....	46
Allaus de neu humida .....	47
2.4.2. Zona d'arribada .....	47
2.5. CLASSIFICACIONS I CARACTERISTIQUES DE LES ALLAUS .....	49
2.5.1. Necessitat de diferents classificacions de les allaus .....	49
2.5.2. Característiques .....	50
Allaus de neu sense cohesió .....	50
Allaus de placa .....	51
2.6. L'IMPACTE DE LES ALLAUS AL MEDI NATURAL .....	53
3. CARTOGRAFIA DE ZONES PROBABLES D'ALLAUS .....	57
3.1. ELS CRITERIS I LA METODOLOGIA DE TREBALL .....	57
3.2. ELS DOCUMENTS .....	59
3.2.1. El Mapa de Localització Probable d'Allaus .....	59
Llegenda del Mapa de Localització Probable d'Allaus: .....	60
3.2.2. El Registre de Fitxes d'Allaus .....	62
3.2.3. La utilitat dels documents obtinguts .....	69

4. CARTOGRAFIA NUMERICA .....	73
4.1. QUE ES UN SISTEMA D'INFORMACIO GEOGRAFICA (S.I.G.) .....	73
4.1.1. Conceptes associats i definició.....	73
4.2. EL S.I.G. ARC/INFO.....	76
4.2.1. El model de base de dades híbrid d'Arc/Info (model de dades espacial i base de dades relacional).....	76
Els elements gràfics.....	77
El concepte de topologia .....	78
Base de dades relacional .....	78
4.2.2. Les cobertores.....	79
4.2.3. L'estructuració de l'espai de treball i l'emmagatzematge de la informació numeritzada.....	81
4.2.4. Els mòduls d'Arc/Info. ....	83
4.2.5. Les toleràncies en Arc/Info.....	83
La tolerància fuzzy (difosa) .....	84
La tolerància weed.....	85
4.3. AUTOMATITZACIO I MANEJAMENT DE LES DADES. ....	87
4.3.1. La topografia: obtenció de dades gràfiques (corbes de nivell) i descriptives (altituds).....	88
4.3.2. Simplificació de les cobertores de topografia. ....	91
4.3.3. Les dades d'allaus: obtenció de dades gràfiques (allaus) i descriptives (codificacio).....	97
Les dades gràfiques.....	97
Les dades descriptives.....	104
4.3.4. Organització de les dades d'allaus. Exemple de la vall de Valarties.....	105
Proposta d'organització i justificació.....	105
Complexitats característiques dels Mapes de Localització Probable d'Allaus. Simplificacions possibles.....	106
Metodologia utilitzada en l'organització de les dades.....	109
4.4. RESTITUCIO DE LES DADES: EL MAPA DE LOCALITZACIO PROBABLE D'ALLAUS. ....	121
4.4.1. Composició de mapes: Comandes bàsiques d'AP i utilització de les llibreries de símbols. ....	121
4.4.2. La composició del Mapa de Localització Probable d'allaus.....	124
4.4.3. Valoració del mòdul ArcPlot en les funcions de generació de mapes. ....	125
5. ANALISI DE SUPERFICIES AMB EL MODUL TIN D'ARC/INFO.....	131
5.1. PRINCIPIS DE LA MODELITZACIO DE SUPERFICIES AMB TIN.....	131
5.1.1. Concepte de superfície i superfície funcional.....	132
5.1.2. La triangulació i el criteri de Delaunay.....	133
5.1.3. Les línies de ruptura. ....	134

---

5.1.4. Els tipus d'interpolació.....	135
5.1.5. Fonts de dades.....	136
5.1.6. Capacitat d'anàlisi de superfícies.....	137
5.2. PROVES DE RESOLUCIO DE TINS I VERIFICACIO DE LA BONDAT DELS MODELS OBTINGUTS.....	137
5.2.1. Selecció de l'àrea de prova.....	138
5.2.2. Mètodes de verificació de la bondat dels models tin.....	139
Identificació de triangles plans.....	139
Identificació de triangles llargs i prims.....	140
Generació de mapes de corbes de nivell a partir de tins.....	140
5.2.3. Proves de resolució de tins: mètode i resultats.....	142
5.2.4. Avaluació i construcció del millor model tin.....	153
5.3. ANALISIS DE SUPERFICIES REALITZATS.....	155
5.3.1. Mapes de pendents i d'orientacions.....	155
5.3.2. Perfils.....	158
6.EXPLOTAICIO DE LA CARTOGRAFIA NUMERICA.....	169
6.1. INFORMACIO OBTINGUDA DELS "MAPES D'ORIENTACIONS I DE PENDENTS" I DELS "MAPES D'ALLAUS".....	169
6.1.1. Obtenció de les dades d'orientacions i pendents.....	170
6.1.2. Les dades d'orientacions i pendents.....	175
Observacions generals.....	200
Observacions respecte a les orientacions.....	200
Observacions respecte als pendents.....	203
Orientacions de les zones de sortida d'allaus (28°-50°).....	208
6.2. RESUM DE LES OBSERVACIONS I CONCLUSIONS.....	209
6.2.1. Conclusions generals.....	209
6.2.2. Conclusions respecte a les orientacions.....	209
6.2.3. Conclusions respecte als pendents.....	210
6.2.3. Conclusions respecte a les zones pilot.....	211
7. LA PREDICCIO ESTADISTICA DE MAXIMES ZONES D'ARRIBADA D'ALLAUS.....	215
7.1. OBJECTIUS I PRINCIPIS DE LA PREDICCIO ESTADISTICA DE MAXIMES ZONES D'ARRIBADA D'ALLAUS.....	215
7.2. ANTECEDENTS DE LA PREDICCIO ESTADISTICA DE MAXIMES ZONES D'ARRIBADA D'ALLAUS.....	217
7.3. LES ZONES D'ALLAUS A L'AREA D'ESTUDI.....	225
7.3.1. Els trets físics.....	225
7.3.2. El desconeixement dels períodes de retorn.....	226

7.4. SELECCIO I ANALISI DE LES DADES.....	227
7.4.1. Selecció dels perfils i càlcul dels paràmetres topogràfics. ....	228
Primeres seleccions dels perfils a tractar.....	228
Primer tractament semi-automatitzat.....	229
Limitacions i primers resultats. ....	231
Reseleccions dels perfils. ....	235
7.4.2. Tractaments estadístics.....	238
Estadística descriptiva. ....	238
La modelització per regressió.....	241
Estimació de m.z.a. no conegudes o aplicació dels models .....	246
7.5. CONSIDERACIONS I CONCLUSIONS.....	249
7.6 PERSPECTIVES.....	253
8. CONCLUSIONS.....	259
8.1. CONCLUSIONS RESPECTE A LA METODOLOGIA D'OBTENCIO I REPRESENTACIO DE DADES D'ALLAUS.....	259
8.2. CONCLUSIONS RESPECTE A LA IMPLEMENTACIO DE LES DADES D'ALLAUS AL S.I.G. ARCINFO .....	260
8.3. CONCLUSIONS RESPECTE A L'EXPLOTACIO DE LA CARTOGRAFIA NUMERICA. ....	261
8.4.1. Les dades.....	263
8.4.2. Els models .....	264
8.4.3. Reflexions sobre els models.....	265
8.5. PROPOSTES DERIVADES DELS RESULTATS DEL TREBALL .....	266
BIBLIOGRAFIA.....	271
ANNEX 1: METODE DE CARTOGRAFIA	
A1. INTRODUCCIO.....	283
A1.1. DEFINICIO D'ALLAU I CLASSIFICACIO UTIL.....	284
A2. PRINCIPIS I METODOLOGIA.....	286
A2.1. LA FOTOINTERPRETACIO.....	287
A2.2. EL RECONEXIMENT DE CAMP.....	288
A2.3. L'ENQUESTA.....	290
A3. CRITERIS DE CARTOGRAFIA.....	291
A3.1. CRITERIS DIRECTES.....	291
3.1.1. Altitud.....	292
A3.1.3. Rugositat.....	293
Geologia.....	294
Geomorfologia .....	295
Vegetació.....	295
A3.1.4. Morfologia.....	295

Morfologia global.....	296
Perfil longitudinal.....	297
A3.1.5. Vegetació.....	297
Paisatge .....	298
Detall.....	299
A3.2. CRITERIS INDIRECTES.....	301
A3.2.1. Orientació respecte al Sol.....	301
A3.2.2. Orientació respecte als vents dominants.....	302
Vegetació.....	303
Morfologia.....	304
A3.3. ALTRES CRITERIS.....	304
obres de defensa existents.....	304
A la zona de sortida.....	304
A3.4. OBSERVACIONS QUE PODEN PORTAR A CONFUSIO.....	308
A4. LA REPRESENTACIO GRAFICA.....	310
4.1. ELS MAPES .....	310
4.2. EL MAPA DE LOCALITZACIO PROBABLE D'ALLAUS.....	311
A4.2.1. La validesa de les informacions segons el mitjà d'obtenció .....	311
A4.2.2. La relació d'ordre de magnitud entre les diferents allaus existents.....	311
A4.2.1. 3. L'elecció de la simbologia apropiada.....	311

## ANNEX 2: CARTOGRAFIA DE LOCALITZACIO PROBABLE D'ALLAUS

MAPES DE LOCALITZACIO PROBABLE D'ALLAUS  
REGISTRE DE FITXES (l'listat de valls)

## ANNEX 3: MAPES DE PENDENTS I D'ORIENTACIONS DE LES ZONES D'ALLAUS

(Vall de Valarties)

## ANNEX 4: PERFILS TOPOGRAFICS DE LES ZONES D'ALLAUS ESTUDIADAES

## ANNEX 5: COMANDES D'ARCINFO UTILITZADES

## ANNEX 6: CLASSIFICACIÓ INTERNACIONAL PER A LA NEU ESTACIONAL AL SOL

## ANNEX 7: CLASSIFICACIONS DE LES ALLAUS

## RESUM

### PRESENTACIO DEL TREBALL: OBJECTIUS, METODOLOGIA I AMBIT GEOGRAFIC

La Tesi Doctoral s'emmarca en un Projecte d'Investigació i Desenvolupament (en sentit ampli) referent a l'estudi i tractament de les allaus al Pirineu de Catalunya. L'estructura, el contingut i el desenvolupament del treball cal entedre'ls en aquest context.

Els primers treballs sistemàtics sobre les allaus a Catalunya s'inicien a finals de 1986, principis de 1987, i aquesta és la primera Tesi sobre aquest tema presentada a Catalunya (la segona a Espanya). La realització de la Tesi ha anat sempre molt lligada a l'evolució del Projecte, concretament en la línia de predicció a l'espai (fig. I.1.).

Considero que molts dels resultats obtinguts tenen aplicació en la Gestió dels Riscos Naturals i en la Planificació del Territori.

Els tres **objectius principals** del treball són: 1) sintetitzar uns coneixements bàsics sobre la neu i les allaus; 2) realitzar cartografies de zonificació del perill d'allaus i implementar-les en un S.I.G. i 3) fer propostes d'aplicacions específiques a partir de l'anàlisi S.I.G., de les que s'obtinguin dades útils per a la Gestió dels Riscos Naturals i per a posteriors anàlisis.

Aquests objectius es poden desglossar en els següents:

- Realitzar i presentar un recull de coneixements bàsics i actualitzats. En aquest sentit presento una síntesi bibliogràfica extensa als capítols 1 i 2 , així com diversos annexos sobre classificacions de neu i d'allaus.
- Desenvolupar i proposar criteris d'identificació i de cartografia de zones probables d'allaus.
- Representar cartogràficament les zones probables d'allaus, tot elaborant una llegenda adequada a la metodologia de treball i adaptada a les característiques del Pirineu de Catalunya.



- Incorporar d'una manera lògica les dades georeferenciades (cartogràfiques i descriptives) al S.I.G. ArcInfo. Quan dic d'una manera lògica vull dir que cal considerar la creació d'una base de dades georeferenciades, i no simplement d'un dibuix.
- Obtenir els Mapes de Localització Probable d'Allaus sobre suport de paper.
- Realitzar anàlisis S.I.G. que permetin:
  - a. L'obtenció de superfícies funcionals (Models Digitals d'Elevació) de les que s'obtinguin dades d'orientacions, pendents i perfils topogràfics automàtics de l'àrea d'estudi.
  - b. La creació de dades útils per a la Planificació Territorial a partir de la superposició topològica de les dades d'allaus, d'orientacions i de pendents.
  - c. L'obtenció d'un model estadístic per a la predicció de màximes zones d'arribada d'allaus, útil com a eina d'ajuda a la cartografia i la Planificació Territorial.

En alguns apartats d'aquest treball he utilitzat una **metodologia** clàssica, similar a la que s'aplica en l'estudi d'altres fenòmens naturals: recerca i síntesi bibliogràfica, desenvolupament de criteris de reconeixement de zones d'allaus, i estructuració de la llegenda de la cartografia de localització de zones d'allaus. Per altra banda, en els diversos estadis de tractament amb el S.I.G., he anat aplicant i desenvolupant una metodologia pròpia del tractament informàtic de dades georeferenciades. Finalment, al capítol 7 aplico la metodologia pròpia de la predicció estadística de màximes zones d'arribada d'allaus.

L'**àrea d'estudi** comprèn les capçaleres de les valls de la Garona (Aran), la Noguera Ribagorçana i la Noguera Pallaresa (fig. 1.2.), totes elles situades al Pirineu occidental de Catalunya.

## **RESULTATS PRINCIPALS**

### **Cartografia de zones probables d'allaus.**

La metodologia de la cartografia de zones probables d'allaus està basada en la fotointerpretació, el reconeixement sobre el terreny i l'enquesta a la població. Els criteris i la metodologia emprats els tracto exhaustivament a l'annex 1.

Cal mantenir un criteri clar de representació de les informacions obtingudes per les tres diferents vies (fotointerpretació, camp i enquesta) per tal d'introduir els mínims criteris subjectius en l'elaboració del mapa.

Els documents obtinguts són el Mapa de Localització Probable d'Allaus (llegenda a la fig. 3.1.) i el Registre de Fitxes d'Allaus (fig. 3.3.). Els mapes corresponen al sector de Catalunya dels fulls topogràfics 1:50 000 (sèrie L del SGE) de Benasc (180), Bossost + Canejan (148 i 118 bis), Isil (149) i Esterri (181) (tot incloent un petit sector del full de Sort, 214). L'escala original de la cartografia de zones d'allaus és 1:25 000. A l'annex 2 presento els Mapes dels quatre fulls, reduïts a escala 1:50 000, més un exemple de la cartografia amb la numeració del Registre de Fitxes, a escala 1:25 000, de la vall de Valarties.

El Mapa de Localització Probable d'Allaus és un mapa de zonificació del perill natural i constitueix el document bàsic i indispensable per elaborar mapes de risc, ja que inclou informació sobre el perill natural i les zones amenaçades, així com una planimetria elemental dels elements vulnerables.

### **Cartografia numèrica.**

El capítol 4 està enfocat des de l'òptica del tractament de dades amb un Sistema d'Informació Geogràfica (S.I.G.). Un S.I.G. és un conjunt organitzat de *hardware* i *software* informàtic, dades geogràfiques i personal format per adquirir, emmagatzemar, actualitzar, manipular, analitzar i representar qualsevol tipus d'informació georeferenciada, de manera eficient (ESRI, 1987).

Les dades topogràfiques han estat cedides pel SGE al Projecte 'Estudi del Risc d'Allaus al Pirineu de Catalunya' en forma de fitxers amb format *.igds*. La seva escala original és 1:50 000. Les dades topogràfiques s'han implementat al S.I.G. (fig. 4.6.) i s'han realitzat diversos processos per a la seva simplificació (taula 4.2.). La millor simplificació s'ha obtingut tot aplicant una tolerància *weed* de 5 metres a les cobertores de topografia.

L'adquisició de dades d'allaus s'ha fet per mitjà de la digitalització de les dades cartogràfiques (figs. 4.13., 4.16. i 4.17.) i la seva codificació (taula 4.4). Es presenta una proposta metodològica per reorganitzar adequadament la base de dades, tot separant la informació representada en color carabassa (fotointerpretació) de la representada en lila (reconeixement de camp més enquesta) (fig. 4.20.).

Com ja he comentat, els mapes han estat restituïts sobre suport de paper. El mòdul ArcPlot resulta adequat perquè permet la restitució a l'escala desitjada, però és de maneig pesat, molt metòdic, i poc "amigable".

S'han realitzat una sèrie de proves de resolució de superfícies funcionals o tins (en sentit ampli, els Models Digitals d'Elevació que utilitza ArcInfo) (taula 5.1.) i s'ha verificat la seva qualitat (fig. 5.5.), tot tenint en compte de no perdre resolució en el procés de generació del tin. Posteriorment, el millor tin resultant ha estat utilitzat per representar dades de petits objectes (zones d'allaus) incloses en grans extensions (fulls topogràfics 1:50 000). El millor tin s'ha obtingut a partir de les cobertores de topografia simplificades (amb una tolerància *weed* de 5 metres).

A partir d'aquest tin s'han obtingut cobertores de pendents i orientacions (fig. 5.14.), de les que n'hi ha una mostra a l'annex 3, i perfils topogràfics. Els perfils topogràfics amb una resolució adequada els he obtingut tot seleccionant un interval de mostreig d'un punt cada 10 metres (en horitzontal), al llarg del perfil (figs. 5.16. i 5.17.).

### **Anàlisi S.I.G.**

Respecte a l'aplicació de tècniques d'anàlisi S.I.G., consistents en la superposició topològica de les dades de zones d'allaus, d'orientacions i de pendents de l'àrea estudiada (fig. 6.3.), els resultats a destacar són els següents:

La superfície real de l'àrea d'estudi és un 20% superior a la seva superfície planimètrica.

La superfície afectada per allaus representa entre un 40% i un 60% de la superfície real de l'àrea d'estudi (segons els fulls topogràfics). L'existència de grans vessants regulars (corresponents a antigues valls glacials) afectats per grans allaus és el que fa augmentar més el percentatge de superfície afectada per allaus (contràriament al què es podria pensar de què són les zones de capçalera i antics circs glacials, amb allaus més petites, les que pesen més en aquest percentatge). Aquestes grans allaus, sovint amb llargs períodes de recurrència, assoleixen fons de vall poblats i, per tant, són de gran interès en la Gestió de Riscos Naturals. Les allaus a les capçaleres de les valls i en parets d'antics circs glacials, més petites, són molt més freqüents, però la seva incidència sobre bens i persones és menor.

Les orientacions dels vessants reflecteixen fonamentalment el modelat glacial heretat de l'última glaciació quaternària. A més, hi ha una certa tendència a què les orientacions de les zones d'allaus reflecteixin si hi ha vents dominants o no en una determinada àrea (en zones a sotavent es sobreacumula neu i s'hi produeixen allaus més freqüents i de majors dimensions).

Aproximadament un 50% del territori té un pendent entre 28° i 50°, i aquests pendents estan majoritàriament per sobre dels 1500 m d'alçada. Aquest interval de pendents és favorable al desencadenament d'allaus, encara que no tots els vessants amb aquests pendents estiguin afectats per allaus (la rugositat i la vegetació densa n'impedeixen el

desencadenament). Les zones amb pendents entre 28° i 50° afectades per allaus representen un terç de la superfície del territori situada per sobre dels 1500 m.

Per altra banda, més de la meitat de la superfície afectada per allaus correspon sempre a l'interval de pendents entre 28° i 50°. Aquestes condicions confirmen el fet ja conegut de què cal mantenir la cobertura arbòria per a què eviti el desencadenament d'allaus a partir de clarianes i/o zones desforestades.

### **Predicció estadística de màximes zones d'arribada d'allaus.**

El mètode utilitzat en aquest treball redueix la zona d'allaus al seu perfil longitudinal i considera els paràmetres topogràfics de la figura 7.1. Consisteix en la regressió d'un cert nombre de variables (amb sentit topogràfic) per tal d'explicar la variable que descriu la màxima zona d'arribada de les allaus. Tots els paràmetres topogràfics, evidentment, es calculen per a allaus ben conegudes. L'equació obtinguda de la regressió pot ser aplicada a altres zones d'allaus de les que es poden mesurar els paràmetres del terreny, però no se'n coneix la màxima zona d'arribada.

Cal tenir en compte que si s'apliquen estrictament els criteris de selecció de perfils d'allaus establerts per Lied i Bakkehoi (1980), la mostra no és representativa de la població d'allaus (no es poden considerar allaus confinades ni amb obstacles a la zona d'arribada, per exemple). Per tant, hi ha zones d'arribada d'allaus que no podran ser estimades amb aquests models.

Els paràmetres  $H$  (desnivell de l'allau) i  $y''$  (segona derivada de l'equació de la paràbola que millor s'ajusta al perfil) (fig. 7.1.) només són vàlids per als perfils que tenen forma parabòlica. Per a la resta de perfils (que representen un 70% dels tractats en aquest treball) no tenen sentit (fig. 7.6.).

El model que he obtingut, vàlid per al conjunt de perfils tractats, és el següent:

$$\alpha = -1.20 + 0.97 \beta \quad R^2 = 0.87 \quad \sigma = 1.74^\circ$$

on  $\alpha$  és el paràmetre que descriu la màxima zona d'arribada i  $\beta$  és la inclinació (en graus) de la recta que uneix el punt més alt de la zona de sortida amb el punt on el vessant presenta un pendent de 10° (vegeu fig. 7.1.).

En tots els casos tractats en el treball, de totes les possibles variables,  $\beta$  és la que millor explica la variable  $\alpha$  a estimar.

Les característiques dels perfils topogràfics impossibiliten la utilització d'un mètode automàtic per al càlcul dels paràmetres topogràfics. Per tant, cal conèixer amb quins criteris ha

estat elaborat el model, i ha de ser sempre un expert qui l'utilitzi, sobretot per garantir una bona determinació del punt  $\beta$ .

## CONSIDERACIONS FINALS I PERSPECTIVES

Al llarg d'aquest resum ja he anat incloent les principals conclusions del treball. Aquí només comento l'últim apartat del capítol 8, en que faig algunes consideracions i apunto perspectives de futur.

En futurs estudis per a la Gestió dels Riscos Naturals en municipis de muntanya, cal tractar per un costat les zones d'alta muntanya i, per l'altre, els grans vessants i els fons de vall principals, tant pel diferent ús del territori que se'n fa, com per la diferent extensió i distribució de les allaus.

Respecte a l'anàlisi S.I.G., la incorporació de dades geomorfològiques i de vegetació pot ser interessant i útil per al tractament de les allaus en àrees d'interès especial, com és ara el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici.

Des del punt de vista dels models estadístics, proposo per al futur el tractament per separat dels perfils segons el tipus de substrat. El tipus de substrat ha condicionat fortament el modelat, heretat de l'última glaciació quaternària. Per tant, la morfologia dels perfils longitudinals de les zones d'allaus varia en funció del tipus de substrat. Aquesta diferenciació i l'elaboració de diferents models crec que pot donar bons resultats.

Finalment, en el futur, per millorar l'objectivitat dels models, caldria millorar la interrelació entre les dades cartogràfiques, els possibles tractaments morfomètrics per determinar els paràmetres topogràfics dels perfils, i les anàlisis estadístiques.

## **ABSTRACT**

### **INTRODUCTION:**

#### **OBJECTIVES, METHODS AND GEOGRAPHICAL SETTING**

The present PhD Thesis is part of a Research and Development Project (in a broad sense), which deals with snow avalanches in the Catalan Pyrenees. The structure, content and development of this study should be understood in this context.

The first systematic work on avalanches in the Catalan Pyrenees began at the end of 1986/beginning of 1987; and this is the first PhD Thesis on avalanches presented in Catalonia (the second in Spain). The development of the PhD Thesis was always closely related to the R & D Project, in particular regarding spatial prediction (or long-term avalanche warning) (Figure I.1.).

Many of the results may be applicable in Natural Risks Management and Land Use Planning.

**The three main objectives of this work** are the following: 1) to synthesize basic knowledge about snow and avalanches; 2) to carry out avalanche hazard cartography and to integrate it into the Geographic Information System (G.I.S.) ArcInfo; 3) to propose some specific G.I.S. analysis methods to obtain useful data both for Natural Risks Management and for later analysis.

These objectives can be broken down as follows:

- To assemble and synthesise basic knowledge about snow and avalanches. Chapters 1 and 2 and Appendices 6 and 7 cover this.
- To develop and propose cartographic criteria for probable avalanche paths.
- To map probable avalanche paths with an appropriate legend. The legend must indicate the cartographic method and be appropriate to the local characteristics of the Pyrenees.

- To introduce the geo-referenced data (cartographic and descriptive data) into the ArcInfo G.I.S.. This has to be done coherently, which means creating a geo-referenced database, not just a drawing.
- To obtain hard copies of the maps of Probable Avalanche Paths.
- To perform G.I.S. analysis along the following lines:
  - a. To obtain functional surfaces (digital elevation models) in order to generate aspect and slope data and topographic profiles from them.
  - b. To create useful data for Natural Risk Management from the topological overlay of avalanche, aspect and slope data.
  - c. To obtain a statistical model for the prediction of avalanche maximum run-out zones, as a tool for mapping and Land Use Planning.

Different **methods** have been used in this PhD Thesis. Some of them can be qualified as 'classical methods': the bibliographic search and synthesis, the development of identification criteria for avalanche paths and map legend definition. These methods are similar to those used when studying other natural phenomena. In addition, computer processing methods were developed at the different stages of the G.I.S. treatment. Finally, in Chapter 7, the method of statistical prediction of avalanche maximum run-out zones is applied.

The **setting** of this PhD Thesis comprises the heads of the Garona, Noguera Pallaresa and Noguera Ribagorçana basins (Figure 1.2.), in the westernmost part of the Catalan Pyrenees.

## **MAIN RESULTS**

### **Cartography of probable avalanche paths.**

The method of mapping probable avalanche paths is based on photo-interpretation of vertical aerial photographs, field recognition and inquiries among people who live or work in the mountains. The criteria and method are widely discussed in Appendix 1.

The documents used are the following: the Map of Probable Avalanche Paths (legend of Figure 3.1.) and the Register of Avalanche Record Cards (Figure 3.2.). The maps correspond to the Catalan part of the following topographic sheets (1: 50.000, series L): Benasc, Bossost + Canejan, Isil and Esterrí (+ small part of Sort). The original scale of the avalanche paths cartography is 1:25 000. The maps of the four sheets are shown in Appendix 2, at a scale of 1:50 000. One example (the Valarties valley) of the cartography at scale 1:25 000, with the number code of the Register of Avalanche Record Cards, is also included.

It is very important to maintain a clear criterion for the representation of the information obtained by photo-interpretation, field recognition and inquiries. This avoids subjective criteria and judgments affecting the map-making process.

The Map of Probable Avalanche Paths is a map of natural hazard zoning. It is an indispensable document for composing risk maps, because it includes information about natural phenomena, the threatened zones and a basic survey of the vulnerable elements.

## **Digital cartography**

Chapter 4 focuses on data treatment with a G.I.S.. A G.I.S. is an organized collection of computer hardware and software, geographic data and personnel designed to efficiently capture, store, update, manipulate, analyze and display all forms of geographically referenced information (ESRI, 1987).

The SGE (Servicio Geográfico del Ejército) ceded the topographic data (as .igds format files) to the 'Study of the Avalanche Risk in the Catalan Pyrenees' project. The original scale is 1:50 000. The topographic data were included in the G.I.S. (Figure 4.6.) and were simplified (Table 4.2.). The best simplification was achieved by applying a weed tolerance of 5m. to the topography coverages.

The avalanche data were captured by digitalizing the maps (Figs. 4.13., 4.16. and 4.17) and by encoding them (Table 4.4.). A method of reorganizing the database properly was put forward. This reorganization would separate the information mapped in orange (photo interpretation) and in violet (field recognition and inquiries) (Fig. 4.20.).

As mentioned above, the maps were restored on hard copies. The module ArcPlot enables maps to be restored at the desired scale but needs very slow, methodical work, which is not at all easy.



Some tests of the resolution of functional surfaces (or tins) were performed (Table 5.1.) and their quality was verified (Figure 5.5.). These tins are, broadly, the digital elevation models ArcInfo works with. It was important to avoid the loss of resolution during the tin generation process. The best tin obtained was used to represent small objects (avalanche paths) over extensive areas (1:50 000 topographic sheets). The best tin was obtained from the simplified topographic coverages (with a weed tolerance of 5 m.).

Slope (in degrees) and aspect coverages and topographic profiles were generated from the best tin (Figure 5.14. and Appendices 3 and 4). The topographic profiles with an adequate resolution were obtained with a sample distance of one point every 10m. (horizontal) along the profile (Figures 5.16. and 5.17.).

### **G.I.S. analysis**

The main results of the G.I.S. analysis (topological overlay of avalanches, aspect and slope data) are the following:

The real surface of the study area is 20% more extensive than this area projected on the map.

The surface affected by avalanches represents 40% - 60 % of the total surface of the study area. Most of the surface affected by avalanches corresponds to big avalanches on long slopes (which correspond to ancient glacial main valleys). These big avalanches, usually with long return periods, reach the bottom parts of populated valleys, so are of great interest from the Natural Risk Management point of view. Avalanches at the basin heads and walls of ancient glacial cirques are, usually, smaller and more frequent, and their impact on people and facilities is lower.

The aspect of the slopes mainly reflects glacial modeling from the last quaternary glacial period. However, the aspects of avalanche paths tend also to reflect the dominant wind over an area (snowdrift accumulations produce bigger and more frequent avalanches on lee slopes).

About 50% of the study area has a degree slope inclination in the range of 28° -- 50°; these slopes are, mainly, over 1500m in altitude. On the slopes between 28° to 50° avalanches can develop easily, but not all such steep slopes are affected by avalanches (rugosity and forests avoid triggering). Avalanche paths with slopes between 28° to 50° represent one third of all the land surface above 1500 m.

Moreover, more than half the avalanche paths area corresponds to the slope range of 28° to 50°. All these findings confirm the importance of maintaining forest cover. A well-developed forest avoids the triggering of avalanches, unlike zones with low density of trees.

### **Statistical prediction of avalanche maximum run-out zones.**

The method used in this work reduces the avalanche path to its longitudinal profile. It considers the topographical parameters described in Figure 7.1. The method comprises the regression analysis of a certain number of variables (in a topographical sense) to explain the variable that describes the avalanche maximum run-out zone. All the topographical parameters are based on measurements of well-known avalanches. The resulting regression equation can be applied to other avalanche paths whose terrain parameters can be measured, but whose maximum run-out zone is not known.

It should be borne in mind that, if the criteria established by Lied and Bakkehoi (1980) are strictly applied, the avalanche profile sample is not representative of all avalanche paths (for example, confined avalanches or those with obstacles in the run-out zone have to be rejected). In consequence, some avalanche maximum run-out zones cannot be predicted by these models.

The parameters H (total vertical displacement of the avalanche) and  $y''$  (second derivative of the parabola which best fits the profile) (Figure 7.1.) are valid only for the profiles with a parabolic shape. For all the other profiles (which are 70% of all the profiles considered in this study), these parameters do not make sense and should not be used (Figure 7.6.).

The model obtained, valid for all the considered profiles, is the following:

$$\alpha = -1.20 + 0.97 \beta \qquad R^2 = 0.87 \qquad \sigma = 1.74^\circ$$

where  $\alpha$  is the dependent variable that describes the maximum run-out zone, and  $\beta$  is the average gradient of the avalanche track (expressed in degrees) (Figure 7.1.).

The variable  $\beta$  is the dominating factor in the prediction of  $\alpha$  in all the cases dealt with in this study.

The particularities of the avalanche profiles do not permit an automatic method for the calculation of the topographical parameters to be developed. Therefore, the particular criteria used to compose the model have to be known before its use. Also, the topographical parameters must be calculated by an expert, so as to guarantee the correct determination of the point  $\beta$ .

## **FINAL CONSIDERATIONS AND PERSPECTIVES**

This abstract has presented the main conclusions of the thesis. This final section contains only the most important considerations and future perspectives.

Future studies about Natural Risk Management in mountain areas should divide the areas under study into two different zones: on the one hand, the high mountain zones; and on the other, the great slopes and the main valleys at the bottom of them. They should be differentiated according to land use as much as by the spread and distribution of avalanches.

The inclusion of geomorphological and vegetation data in the G.I.S. data could be useful for dealing with avalanches, above all in some special areas such as Natural Parks, e.g. the Parc Nacional d'Aigfestortes i Estany de Sant Maurici.

In the statistical models, the profiles should be separated according to the different geological substrata which have moulded the landscape, especially during the last glacial period. As a result, the shape of the avalanche longitudinal profiles changes with the different geological substrata. The elaboration of different models based on this classification could give good results.

Finally, in order to improve the models' objectivity in the future, the relationship between cartographic data, possible morphometric treatment of the profiles (to determine the topographical parameters) and statistical analysis should be improved.

## INTRODUCCIO

La Tesi que presento s'emmarca en un Projecte d'Investigació i Desenvolupament (en sentit ampli) d'estudi i tractament de les allaus al Pirineu de Catalunya. L'estructura, el contingut i el desenvolupament d'aquest treball cal entendre-la en aquest context.

En aquest sentit, val a dir que els primers treballs sistemàtics sobre les allaus a Catalunya s'inicien entre finals de l'any 1986 i principis del 1987, i que aquesta és la primera Tesi Doctoral sobre aquest tema presentada al nostre país.

La Tesi consta de tres parts:

En primer lloc faig una síntesi bibliogràfica dels coneixements bàsics sobre la neu i les allaus.

Seguidament, presento la Cartografia de Localització Probable d'Allaus realitzada i la seva implementació al S.I.G. ArcInfo.

Per acabar, presento unes aplicacions de la cartografia per mitjà de la utilització del S.I.G. ArcInfo, que al meu entendre resulten útils en la Planificació Territorial i en la Gestió dels Riscos Naturals.

En un altre ordre de coses, com en tantes altres Tesis, en aquesta no hi ha exclusivament el resultat del meu treball. He renunciat, doncs, a l'ús del "nosaltres" (plural de modèstia) amb una intenció clarificadora. En un intent de deixar ben clar l'abast del meu treball, les meves aportacions i les meves idees, he optat per utilitzar el "jo" per responsabilitzar-me del que jo he fet i proposo.

A continuació presento breument el marc en el què he elaborat aquesta Tesi, l'enfoc que se n'ha derivat i, per acabar, l'àmbit geogràfic de l'àrea d'estudi.

## MARC EN EL QUE S'ENQUADRA AQUESTA TESI.

Ara fa deu anys, al 1986, el Servei Geològic de Catalunya (Generalitat de Catalunya) i el Dpt. de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia (U.B.) van iniciar el Projecte d'Estudi del Risc d'Allaus al Pirineu de Catalunya, que s'ha anat consolidant fins a l'actualitat.

Amb anterioritat, a l'estat espanyol, no hi ha cap línia de treball amb continuïtat que tingui com a objectiu l'estudi de les allaus en cap serralada ibèrica amb innivació.

Hi ha algunes excepcions puntuals: J. Ferraz, que durant uns pocs hiverns de la dècada dels 80 treballa per establir un sistema de predicció de perill d'allaus (I.N.M., Centro Zonal del Ebro), feina que l'I.N.M. ha reprès aquests últims dos anys. També hi ha Pablo Muñoz, que presenta la seva Tesi Doctoral *Prevención y defensa contra aludes. Aplicación práctica al Pirineo Aragonés*, amb una perspectiva d'enginyer, a Madrid (1988).

Per altra banda, a partir de l'any 1993, l'ITGE desenvolupa un pla de cartografia de zones d'allaus per al Pirineu Aragonès, que es va desenvolupant sistemàticament (Saez, M.T. i Ríos, S., 1995).

Amb això només vull dir que, a diferència d'altres disciplines, al nostre país no hi ha hagut tradició en l'estudi de la neu i les allaus; fins ara no hi ha hagut "escola".

Aquest fet dóna especial sentit al dos primers capítols de síntesi bibliogràfica d'aquesta Tesi. De fet, representen la primera aproximació exhaustiva en la nostra llengua, i no són només fruit de l'estricta treball d'aquesta Tesi, sinó que he intentat incorporar-hi el coneixement adquirit en vuit anys de treball sobre les allaus. Vull remarcar la clara intenció didàctica (i alhora d'aprenentatge personal) amb què he abordat la redacció d'aquests dos capítols. Voldria (i em permeto d'expressar -ho) que aquesta síntesi pogués ser d'utilitat a les persones que en un futur pròxim iniciïn estudis i treballs sobre la neu i les allaus al nostre país, alhora que els faciliti la recerca bibliogràfica dels "clàssics" en aquests temes.

Per altra banda, aquesta Tesi ha estat sempre estretament lligada a l'evolució del Projecte, en concret amb la línia de la Predicció a l'espai, i per tant, n'és un clar reflex (fig. 1.1.).

De bon principi, el treball realitzat des del Servei Geològic i des del Dpt. de Geologia Dinàmica, G. i P., va consistir en adquirir i transmetre una formació bàsica, i en establir i començar a desenvolupar els principis i les línies de treball del Projecte. Aquesta etapa es va realitzar en una col.laboració molt estreta. Amb el pas del temps, lògicament, s'han anat definint i clarificant cada vegada més les atribucions i objectius d'un i altre organisme: el Servei Geològic, especialment des de la seva incorporació a l'Institut Cartogràfic de Catalunya, ha anat assumint les tasques més tècniques de producció cartogràfica i de Servei Públic, i el Dpt. de Geologia Dinàmica, G. i P. ha reorientat el seu treball cap a temes més directament vinculats a la recerca, però que en tot moment han de donar suport a les aplicacions i desenvolupaments tècnics.

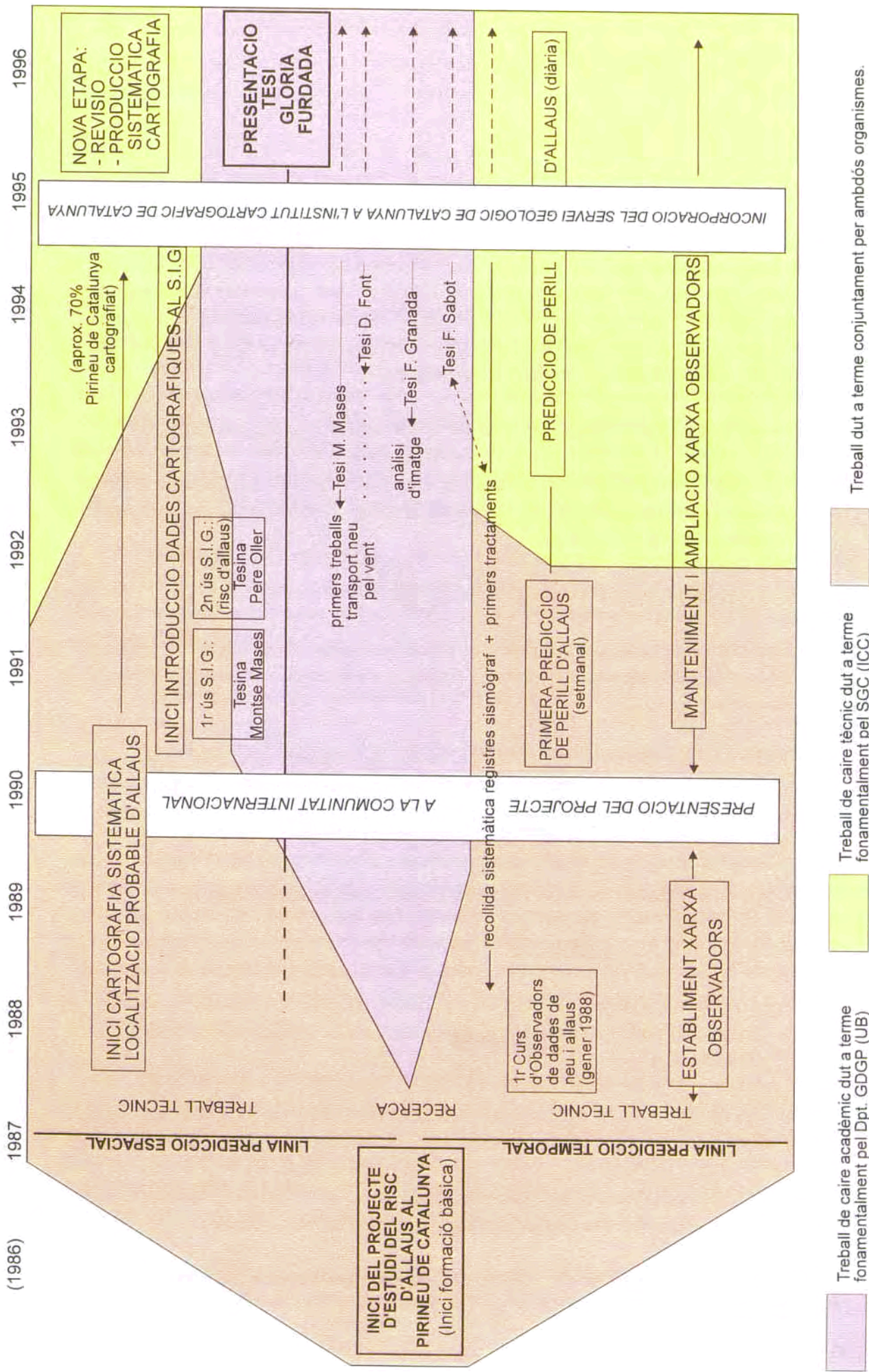


Figura 1.1.: Evolució del coneixement i tractament de les allaus en el marc del Projecte 'Estudi del Risc d'Allaus al Pirineu de Catalunya' dut a terme amb la col.laboració del SGC (ICC) i el Dpt. GDGP (UB). Amb colors reflecteix com s'han anat clarificant i delimitant les tasques dels dos organismes involucrats. Destaco els principals treballs de recerca: Tesis de Llicenciatura i Tesis Doctorals.

## OBJECTIUS DEL TREBALL

En aquesta Tesi pretenc assolir tres grans objectius globals. En primer lloc, **sintetitzar i presentar uns coneixements bàsics sobre la neu i les allaus**. En segon lloc, hi ha la **realització de cartografies de zonificació del perill d'allaus i el pas d'implementar-les en un S.I.G.** I en tercer lloc, hi ha una especialització cap a un àmbit més propi de la recerca, amb l'anàlisi per mitjà del S.I.G., tot fent **propostes d'aplicacions específiques, com l'obtenció de dades a partir de la superposició topològica de les dades d'allaus amb les de pendents i orientacions, o com a base per l'obtenció de dades útils per a ulteriors anàlisis.**

Aquests grans objectius els puc desglossar en una sèrie d'objectius parcials:

- Realitzar i presentar un recull de coneixements bàsics i actualitzats. En aquest sentit presento la síntesi bibliogràfica extensa dels capítols 1 i 2 i diversos annexos sobre classificacions de neu i d'allaus.
- Desenvolupar i proposar criteris de cartografia de zones probables d'allaus.
- Representar cartogràficament les zones probables d'allaus, tot utilitzant una llegenda adequada a la metodologia de treball i adaptada a les característiques del Pirineu de Catalunya.
- Incorporar d'una manera lògica de les dades georreferenciades (cartogràfiques i descriptives) al S.I.G. ArcInfo; en aquest context, quan dic d'una manera lògica vull dir que cal considerar la creació d'una base de dades georeferenciades, i no simplement d'un dibuix.
- Obtenir els Mapes de Localització Probable d>Allaus sobre suport de paper.
- Realitzar anàlisi S.I.G. que permeti:
  - a. L'obtenció de superfícies funcionals (Models Digitals d'Elevació) de les que s'obtinguin dades d'orientacions, pendents i perfils topogràfics automàtics de l'àrea d'estudi.
  - b. La creació de dades útils per a la Planificació Territorial a partir de la superposició topològica (creuament) de les dades d'allaus i les dades d'orientacions i pendents.
  - c. L'obtenció d'un model estadístic per a la predicció de màximes zones d'arribada d'allaus, útil com a eina d'ajuda a la cartografia i a la Planificació Territorial.

Per a l'obtenció d'aquests objectius he anat aplicant una sèrie de metodologies, que comento al pròxim apartat.

## ENFOC I METODOLOGIA DE LA TESI

Aquesta Tesi està enfocada en una doble línia de Predicció a l'Espai (és a dir en la localització i delimitació de les allaus amb llargs períodes de recurrència), i de tractament informatitzat i automatitzat de les dades cartogràfiques.

Com a conseqüència, doncs, en aquest treball he utilitzat metodologies que podríem anomenar com a clàssiques: de recerca i síntesi bibliogràfica, de desenvolupament de criteris de reconeixement de zones d'allaus, i de representació de la llegenda de la cartografia de localització de zones d'allaus; aquestes són metodologies pròximes a les del tractament d'altres fenòmens naturals. A més, en els diversos estadis de tractament amb el S.I.G., he anat aprenent i desenvolupant una metodologia pròpia del tractament informàtic de dades georeferenciades. Finalment, al capítol 7 de predicció estadística de màximes zones d'arribada d'allaus, aplico la metodologia pròpia d'aquest mètode de predicció.

Per tant, no presento un capítol dedicat exclusivament a la metodologia de treball, sinó que la vaig presentant al llarg dels diferents estadis de desenvolupament de la Tesi. En diverses ocasions faig valoracions i comentaris de la metodologia concreta utilitzada i dels seus avantatges i inconvenients.

Les diferents etapes del treball són les següents:

En primer lloc, l'adquisició d'un **coneixement bàsic sobre la neu i les allaus** i els seus efectes (capítols 1 i 2).

En segon lloc, l'**aprenentatge d'un mètode de cartografia** (annex 1) i el **disseny d'una llegenda apropiada** a les característiques de les allaus a cartografiar i de la informació adicional que es pot obtenir sobre elles (capítol 3). En aquest sentit, aquesta Tesi tanca una etapa. Com es desprèn de la figura 1.1., en aquests moments, des del S.G.C. de l'I.C.C. (organisme responsable de la cartografia a Catalunya), s'ha iniciat una nova etapa de revisió de la cartografia ja realitzada, que comporta una revisió de la llegenda (tot adaptant-la a l'increment d'informació històrica i testimonial que es comença a obtenir), i una producció sistemàtica de mapes editats.

En el meu cas, l'aprenentatge del mètode de cartografia és anterior a l'inici estricte d'aquesta Tesi. Per aquesta raó i perquè crec que és important fer un recull metodològic i de criteris cartogràfics exhaustiu (ja que al nostre país només hi ha els antecedents, parcials, de Mases, 1991 i Oller 1992) he inclòs l'annex 1. A més, considero important fer conèixer les bases sobre les que està elaborada la cartografia, ja que és a partir d'aquesta cartografia, amb els seus encerts i limitacions, que es realitzen les anàlisis posteriors.

L'establiment de la llegenda (capítol 3), ve condicionat fonamentalment per la metodologia de treball, però també, com és natural, per la disponibilitat de temps i de recursos



econòmics que es destinen a la primera Cartografia de Localització Probable d'Allaus que es du a terme al nostre país.

El primer pas en el tractament informàtic és la **Implementació de la informació** (en el meu cas, fonamentalment cartogràfica) **en el S.I.G. ArcInfo** (capítol 4). Això comporta: 1) l'aprenentatge de la tècnica d'introducció i restitució de les dades (digitalització, correcció, codificació i sortida gràfica), 2) la comprensió de que un S.I.G. no és només una eina de dibuix, sinó que és una base de dades georeferenciades, i a partir del coneixement del Sistema, 3) la realització d'una proposta d'organització de les dades d'una manera racional, és a dir, d'una manera que, a més del dibuix dels mapes, faciliti l'anàlisi S.I.G. Finalment comporta 4) la restitució de les dades en forma de mapa sobre suport de paper, amb el seu aprenentatge corresponent de metodologia de la composició dels mapes.

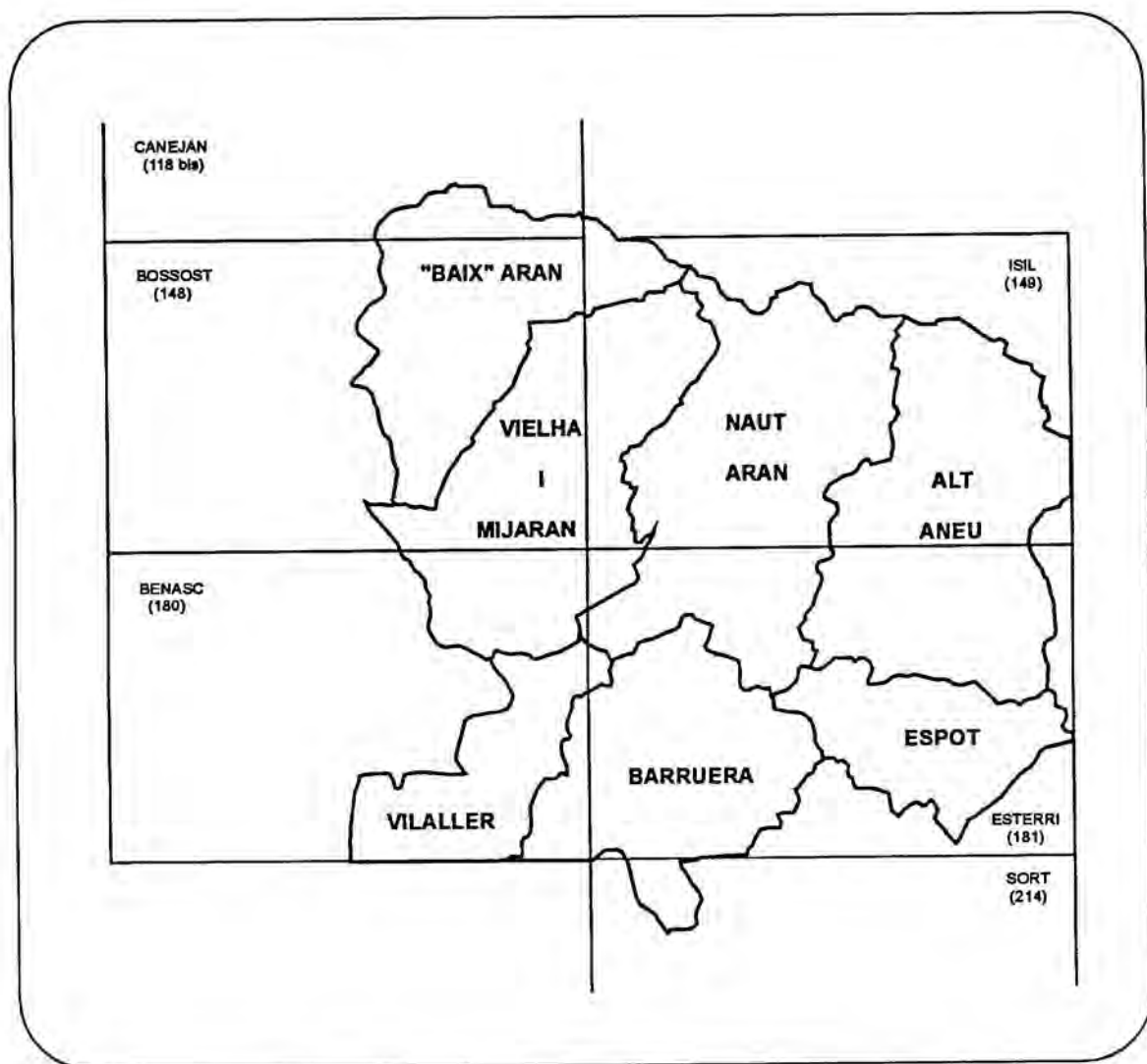
Un pas més és la **utilització del S.I.G. en anàlisis**, útils en la Planificació Territorial (capítol 6), i **com a eina que permet obtenir dades homogènies d'una manera sistemàtica**; dades que poden ser útils com a base d'altres treballs enmarcats en la Predicció Espacial (capítol 7). En aquest sentit, he cregut molt important remarcar les limitacions del S.I.G. i de les dades de partida (topogràfiques i d'allaus), ja que fer simplificacions o obviar problemes de resolució i escala pot conduir a resultats molt bonics estèticament, però no prou correctes o fins i tot erronis.

## MARC GEOGRAFIC

L'àrea d'estudi d'aquesta Tesi comprèn la **capçalera de la vall de la Garona** (Aran), la **capçalera de la Noguera Ribagorçana** (alta Ribagorça), pràcticament fins a Vilaller (tot incloent la vall on hi ha instal·lada l'estació d'esquí de Boí-Taüll amb la què, per raons de col·laboració amb el Projecte d'Estudi del Risc d'Allaus, hi ha una col·laboració ben establerta), i la **capçalera de la Noguera Pallaresa** (Pallars Sobirà) (fig. 1.2.).

La cartografia, realitzada en el marc del Projecte i, per tant, en bona part finançada per la Generalitat de Catalunya, limita al nord amb la frontera francesa i a l'oest amb l'aragonesa. El límit amb França coincideix amb una línia de carena, a partir de la que es poden desencadenar allaus. El límit amb Aragó passa per un fons de vall. Per tant, per motius de coherència, s'ha fet la cartografia del vessant dret de la Noguera Ribagorçana on es produeixen allaus que poden assolir el fons de vall.

El límit pel sud és el del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, que inclou les valls de Sant Nicolau (fins a Barruera), i de l'Escrita (fins a Espot). Per l'est incloc tota la capçalera fins a Esterri i d'aquí cap avall només el vessant dret (on, de fet, les allaus es limiten a les valls afluent a la Noguera Pallaresa).



*Figura 1.2.: Situació de l'àrea d'estudi amb referència als municipis que comprèn i als fulls topogràfics en què s'inclou.*

L'objecte d'aquest treball té que veure amb els efectes de les allaus i, per tant, aquest capítol introductorí es centrarà en les característiques i propietats del mantell nival i les seves transformacions, que poden desembocar en la formació d'allaus. Amb aquest capítol, doncs, pretenc fer comprensible el fenomen de les allaus i, per tant, del seu impacte sobre el medi natural.

## 1. LA NEU

La neu està constituïda per petits cristalls de glaç provinents de la congelació de l'aigua als núvols i que cauen sobre la terra formant volves o borrallons. Aquesta neu, si la latitud i l'altitud són les adequades, com és el cas del Pirineu en època hivernal, es va acumulant sobre el sòl en estrats, capes o horitzons més o menys paral·lels, que formen el mantell nival.

El mantell nival, en sentit estricte, està constituït per un apilament heterogeni de capes de grans de neu; la porositat entre els grans està ocupada per aire amb un contingut variable de vapor d'aigua i, en força casos, també per aigua líquida. Els diferents estrats, que presenten diferents gruixos, es caracteritzen pel tamany de gra, forma dels grans, densitats, dureses, contingut en aigua líquida, cohesió, etc. Totes aquestes característiques varien al llarg de l'hivern, ja que la neu es metamorfitza o transforma constantment i a totes temperatures (Salm, 1981).

Al Pirineu, on es centra aquest treball, el mantell nival és estacional i en general es diposita sobre el sòl (excepcionalment sobre glaceres o sòls gelats). Per tant, està sotmès a la influència tant de l'atmosfera com del mateix sòl, amb els que està en contacte.

Les diferents transformacions del mantell nival són l'efecte del balanç entre les entrades i sortides d'energia que tenen lloc al seu sí (regides fonamentalment per les condicions meteorològiques). Així, per poder entendre aquestes transformacions comentaré els tres diferents estats de l'aigua a la natura i els intercanvis de calor latent que es produeixen amb els canvis d'estat, les entrades i sortides d'energia causades pel flux geotèrmic, per la radiació, i pel vent i la pluja, i com tots aquests processos provoquen els metamorfismes de la neu. Finalment, resumiré les propietats mecàniques de la neu que fan possible la seva deformació i, en extrem, la seva ruptura i el desencadenament de les allaus.

### 1.1. LA FORMACIÓ DE LA NEU.

De la formació de la neu només vull comentar que es produeix als núvols, on petites gotetes d'aigua sobrefosa (que roman líquida a temperatures negatives) es congelen sobre nuclis de congelació amb una estructura cristal·lina com la del gel. Els cristalls de neu creixen a partir d'aquests gèrmens d'hàbit hexagonal, a expences d'altres gotetes sobrefoses que forneixen vapor d'aigua al medi, el qual sublima tot fent creixer els cristalls (Pahaut i Sergent, 1991). En funció de la o les temperatures al núvol, el creixement predominant del cristall de neu es farà sobre les bases del cristall, les cares laterals o les arestes, tot donant lloc a agulles, columnes, plaquetes, estrelles o combinacions d'aquestes formes (La Chapelle, 1969; Pahaut i Sergent, 1991) (figs. 1.1 i 1.2).

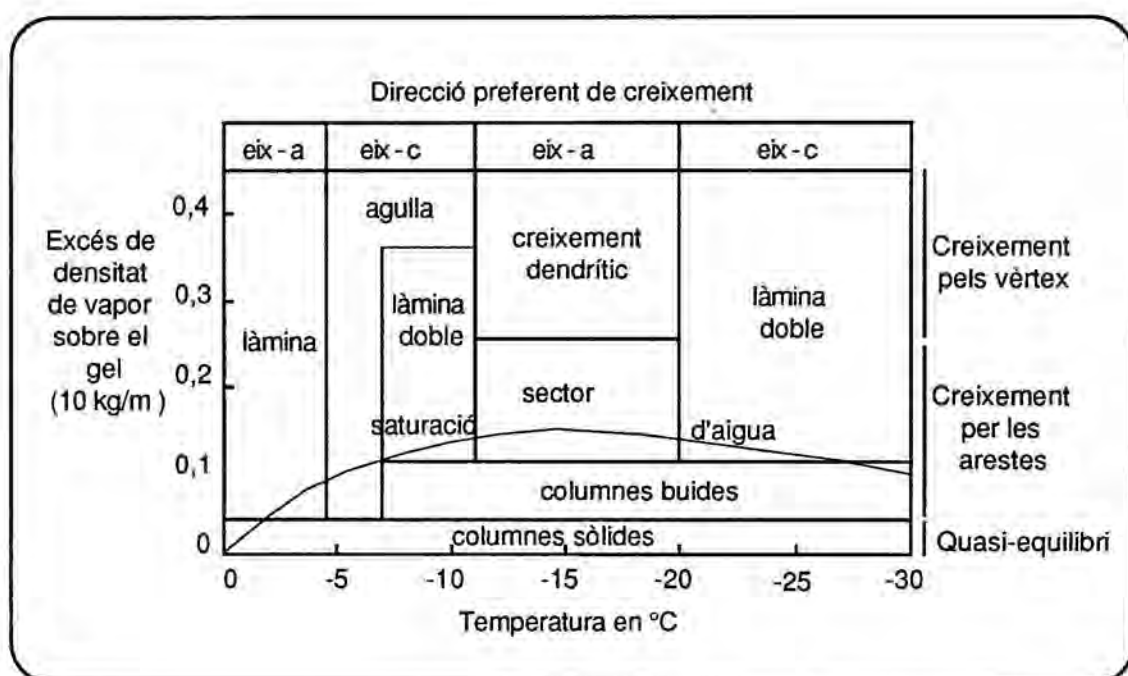


Figura 1.1.: Creixement dels cristalls de neu en funció de l'excés de densitat de vapor (a la superfície dels cristalls) i de la temperatura. El creixement canvia entre l'eix a i el c tot depenent de la temperatura, que és la variable més important. Les formes arrodonides es formen amb densitats de vapor baixes i les arestes i vèrtex a més altes densitats de vapor (Segons McClung i Schaerer, 1993).

Per a més informació sobre aquest tema es poden consultar els treballs de La Chapelle, 1969; Perla i Martinelli (1976); Pahaut i Sergent (1991); McClung i Schaerer (1991).

Val a dir que durant un episodi de precipitació de neu acostumen a dipositar-se diferents tipus de cristall. Però, en general, per a l'estabilitat del mantell nival no és tan important

	<p><b>1a</b> Columns</p>	<p>Short prismatic crystal, solid or hollow</p>	<p>Growth at high supersaturation at <math>-3^{\circ}</math> to <math>-8^{\circ}\text{C}</math> and below <math>-22^{\circ}\text{C}</math></p>
	<p><b>1b</b> Needles</p>	<p>Needle-like, approx. cylindrical</p>	<p>Growth at high supersaturation at <math>-3^{\circ}</math> to <math>-5^{\circ}\text{C}</math></p>
	<p><b>1c</b> Plates</p>	<p>Plate-like, mostly hexagonal</p>	<p>Growth at high supersaturation at <math>0^{\circ}</math> to <math>-3^{\circ}\text{C}</math> and <math>-8^{\circ}</math> to <math>-25^{\circ}\text{C}</math></p>
	<p><b>1d</b> Stellar Crystals</p>	<p>Six-fold star-like, planar or spatial</p>	<p>Growth at high supersaturation at temperatures between <math>-12^{\circ}</math> to <math>-16^{\circ}\text{C}</math></p>
	<p><b>1e</b> Irregular particles</p>	<p>Clusters of very small crystals</p>	<p>Polycrystals growing at varying environmental conditions</p>
	<p><b>1f</b> Graupel</p>	<p>Heavily rimed particles</p>	<p>Heavy riming of particles by accretion of supercooled water</p>
	<p><b>1g</b> Hail</p>	<p>Laminar internal structure, translucent or milky, glazed surface</p>	<p>Growth by accretion of supercooled water</p>
	<p><b>1h</b> Ice pellets</p>	<p>Transparent, mostly small spheroids</p>	<p>Frozen rain</p>

Figura 1.2.: Classificació per als cristalls recentment dipositats. ICSI.

el tipus de cristall format al núvol com les condicions de temperatura de l'atmosfera que travessen els cristalls durant la precipitació. A tall d'exemple, si els cristalls de neu travessen una zona amb temperatures positives hi haurà una fusió parcial que comportarà que els cristalls s'uneixin entre sí per tensió superficial tot formant flocs grossos; aquests, en arribar a la superfície del mantell nival (més fred) hi quedaran ben "soldats" ja que part de l'aigua líquida regelarà, tot conferint una bona unió entre els dos estrats. Contràriament, si les temperatures a l'atmosfera són fredes (negatives) no hi haurà aigua líquida ni en la precipitació ni a la superfície del mantell nival, de manera que els flocs de neu es dipositaran sobre una superfície també freda (per exemple una capeta de regel) que no oferirà possibilitats de cohesió entre els dos estrats. És a dir, es generarà un pla de debilitat o pla de lliscament potencial d'allaus. Evidentment, la cosa es complica quan durant la precipitació els flocs de neu travessen diverses zones amb temperatures positives i negatives o si es produeix un canvi de temperatura important durant la nevada (pas de fronts i canvi de masses d'aire).

## 1.2. ELS DIFERENTS ESTATS DE L'AIGUA

A la natura l'aigua es pot trobar en forma sòlida (glaç), líquida (aigua) o gasosa (vapor d'aigua). Com els altres materials, l'aigua presenta una tendència natural a mantenir-se en el mateix estat en el què es troba (això explica, per exemple, l'existència de gotetes d'aigua sobrefosa als núvols). El pas d'un estat a un altre sempre va acompanyat d'absorció o despreniment de **calor latent** (fig. 1.3).

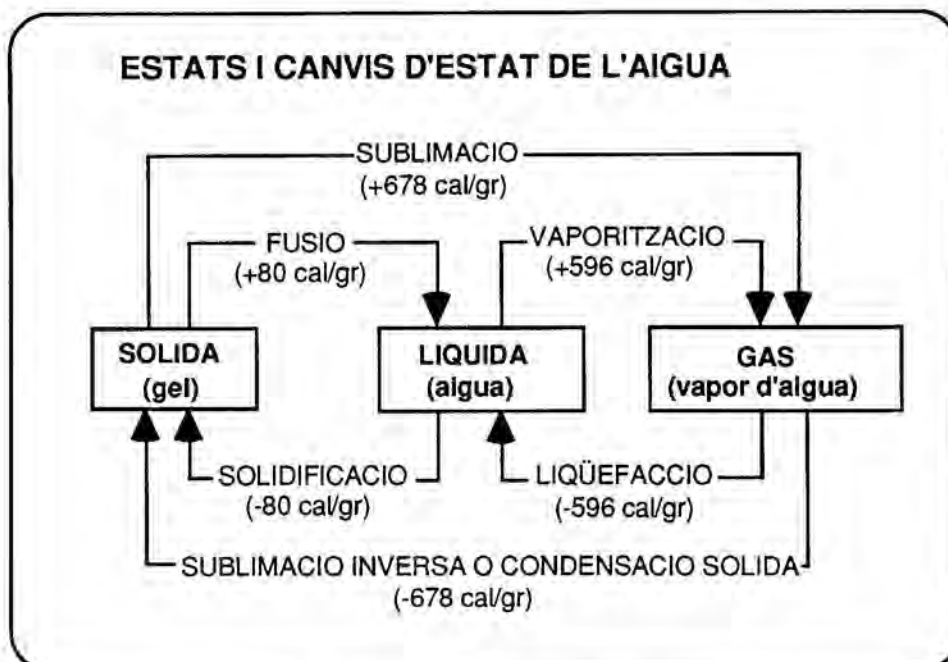


Figura 1.3: Canvis d'estat de l'aigua i absorció o pèrdua de calor latent necessària per a què es produeixi el canvi d'estat. (Segons Sergent, 1993.)

El vapor d'aigua és un dels components habituals de l'aire. Normalment hi és present en més o menys proporció, fins a una certa quantitat màxima; llavors es diu que l'aire està saturat. A partir d'aquest límit, anomenat pressió de vapor saturant, l'aire no pot contenir més vapor d'aigua i l'excedent passa a fase líquida (petites gotetes) o sublima (gel). La quantitat absoluta de vapor d'aigua que pot contenir l'aire és major quant més alta és la temperatura i disminueix en baixar la temperatura (taula 1.1). Aquesta quantitat també varia tot depenent de si l'aire està en contacte amb una superfície d'aigua o de gel, i hi exerceix una **pressió de vapor**.

T °C	+20°C	+10°C	0°C	-5°C	-10°C	-20°C
Q aigua	17,2 g	9,4 g	4,8 g	3,4 g	2,4 g	1,1 g
Q gel	—	—	4,8 g	3,3 g	2,2 g	0,9 g

Taula 1.1: Valors màxims (quantitat **Q**) de vapor d'aigua per  $m^3$  en funció de la temperatura, a sobre d'una superfície plana d'aigua o de gel (de Pahaut i Sergent, 1991).

En el cas del mantell nival, que és el que ens interessa, això implica que a 0°C poden coexistir les tres fases de l'aigua, i que a temperatures més baixes coexisteixen les fases sòlida i gasosa. Per altra banda, també implica que constantment s'estan produint canvis de fase, amb les consegüents microvariacions de temperatura (per causa del calor latent absorbit o després) i de pressió de vapor al voltant i sobre els grans de neu. Aquests processos són fonamentals en l'evolució del mantell nival, com es reflecteix més endavant en l'apartat dels metamorfismes de la neu.

### 1.3. EL BALANÇ ENERGETIC DEL MANTELL NIVAL.

Com ja he indicat, el mantell nival és una capa heterogènia, constituïda per diferents estrats de grans de neu, amb porositat i, eventualment, aigua líquida, que s'està transformant constantment per causa dels intercanvis energètics (calorífics) amb el sòl i amb l'atmosfera. Aquests intercanvis energètics són de dos tipus (Perla i Martinelli, 1976):

- radiatius (lligats a la radiació solar, sobretot d'ona curta, que inclou l'espectre visible, i a l'emissió d'ona llarga o infraroig pròxim dels cossos).
- moleculars (difusió de vapor d'aigua, intercanvis turbulents de calor, conducció).

En aquest apartat comentaré els principals processos radiatius i moleculars que intervenen en l'intercanvi energètic. Val a dir que, paral·lelament als intercanvis energètics i estretament lligats als intercanvis de calor, es produeix una transferència de massa (entrades de precipitació sòlida o líquida al mantell, condensació sòlida i sublimació a la superfície del mantell, pèrdua de massa per fusió) (Gubler, 1995) que contemplo implícitament al llarg del text. Com a

conseqüència del balanç energètic i de massa té lloc l'evolució del mantell nival, és a dir, les transformacions o metamorfismes que el van afectant al llarg de la temporada hivernal, i que comentem a l'apartat 1.4.

### 1.3.1. L'aport de calor del sòl

El mantell nival té un caràcter estacional i es diposita sobre el sòl; al Pirineu són ben pocs els llocs on el mantell nival es diposita sobre glaceres o congestes permanents, o eventualment sobre sòls glaçats. Aquest sòl, sovint herbós o rocós, ha estat exposat a la radiació solar i a temperatures elevades durant tota l'època estival, i ha emmagatzemat una quantitat considerable de calor. Per altra banda, és ben coneguda l'existència d'un flux de calor geotèrmic, que constantment aporta calor de l'interior cap a la superfície de la Terra.

Així, durant tot el període en què existeix el mantell nival hi ha un constant aport de calor a la seva base des del sòl. Aquest aport de calor és suficient com per a què s'assoleixi un equilibri i **la base del mantell nival es mantingui constantment vora els 0°C** (Pahaut i Sergent, 1991) però no és suficient com per provocar la seva fusió per la base. La conseqüència d'això és que el mantell nival es mantindrà, com a màxim, a 0°C, i en tot cas i segons es veu a l'apartat següent, s'anirà refredant des de la superfície cap a la base (que es mantindrà a uns 0°C).

### 1.3.2. El balanç radiatiu

Les entrades i sortides d'energia del mantell nival en forma de radiació comporten un escalfament o bé un refredament d'aquest. Cal, doncs, considerar la radiació incident i la radiació emesa pel mantell nival. Aquesta radiació és bàsicament de dos tipus, d'ona curta (essencialment correspon a l'espectre visible) i d'ona llarga o infraroja. Per entendre el funcionament d'aquests intercanvis energètics és necessari conèixer alguns paràmetres òptics de la neu i, mínimament, la naturalesa dels dos tipus de radiació.

#### La radiació solar

El 99% de l'energia solar que incideix a la neu es compon de radiació d'ona curta, és a dir, radiació ultraviolada i llum blanca (McClung i Schaerer, 1993); a més, la radiació solar inclou radiació infraroja. Cada un dels colors que componen la llum blanca, així com les radiacions ultraviolada i la infraroja es caracteritzen per unes longituds d'ona o bandes espectrals característiques, que cobreixen la franja entre 0.3 i 3 µm de l'espectre electromagnètic.



La radiació solar arriba a la superfície de la neu en part directament i en part indirectament, com a resultat de la difusió de la radiació provocada per l'atmosfera (mol·lècules, partícules i gotetes) i els núvols. Una part de la radiació serà reflectida per la neu, i una altra part serà absorvida i contribuirà a l'escalfament del mantell. L'albedo i el coeficient d'extinció, que comento tot seguit, controlen la taxa de reflexió i d'absorció de la radiació incident i, per tant, tenen un paper molt important en el balanç radiatiu.

### L'albedo de la neu

Tot cos que rep una radiació en reflecteix una part i n'absorbeix la resta. L'albedo defineix la capacitat de reflexió d'un cos, i s'expressa per la relació: **ALBEDO = radiació reflectida / radiació Incident** (adimensional i  $<1$ ). Pot considerar-se de manera **global** (si es té en compte el conjunt de la radiació) o, si es refereix a una longitud d'ona donada, s'anomena **albedo espectral**.

Per a la neu, l'albedo depèn en gran mesura de la longitud d'ona, de la mida de gra (fig.1.4) i del contingut en impureses (especialment de sutge). Les longituds d'ona corresponents a l'ultraviolat i la gama del visible presenten un albedo espectral molt elevat, i aquest disminueix fortament per a l'infraroig pròxim. Quant més petita sigui la mida dels grans de neu, i quant menor sigui la quantitat d'impureses, major serà l'albedo. Així, una neu recent presenta un albedo de l'ordre de 0.90, mentre que una neu evolucionada, de gra gros i contaminada de final de temporada el presenta de l'ordre de 0,50 (Wiscombe i Warren, 1980; Warren i Wiscombe, 1980; Sergent, 1993; Sergent, 1995; Gubler, 1995).

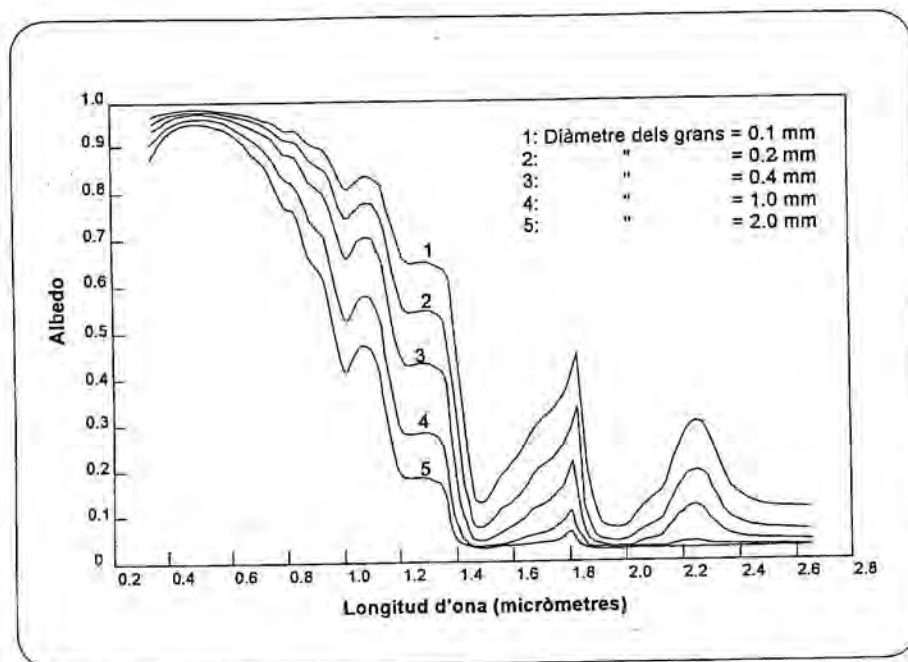


Figura 1.4.: Corbes teòriques d'albedo per a diferents mides de gra de neu.  
(Segons Wiscombe i Warren, 1980)

### El coeficient d'extinció de la neu

La part de radiació no reflectida és absorvida a mesura que penetra al mantell nival. El coeficient d'extinció defineix la taxa d'absorció d'aquesta radiació per la neu (Sergent, 1993). Depèn de la longitud d'ona, de la mida de gra, de la densitat i del contingut en impureses (Sergent, 1995; Gubler, 1995). És baix per a l'espectre visible i augmenta ràpidament per a l'infraroig (el visible sol penetrar fins a uns 15-20 cm mentre que l'infraroig només uns 2-3 cm). Disminueix quan augmenta la mida de gra i la densitat, i augmenta quan augmenta el contingut en impureses, sobretot en sutge (Sergent, 1993).

Com a conseqüència del comportament de l'albedo i del coeficient d'extinció, per efecte de la radiació solar, una neu evolucionada, de gra gros i contaminada s'escalfarà i es fondrà molt més ràpidament que una neu recent i fresca, ja que en el primer cas la quantitat d'energia absorvida pel mantell nival serà molt més gran que en el segon.

### La radiació tèrmica

El 99% de l'energia "terrestre" (despresa pel mantell nival, els núvols i l'atmosfera) es compon de radiació d'ona llarga o infraroja tèrmica (McClung i Schaerer, 1993). La neu es comporta pràcticament com un "cos negre". Per a longituds d'ona d'uns 10 µm (infraroig tèrmic) presenta una emissivitat pròxima a 1 (Sergent, 1993; Sergent, 1995; Gubler, 1995). L'emissivitat depèn de la longitud d'ona i de la temperatura del cos i s'expressa: **EMISSIVITAT= energia radiada pel cos (neu) / energia radiada per un cos negre** (adimensional i <1).

Això implica que constantment el mantell nival està perdent energia en forma de radiació calorífica a partir de la superfície i, per tant, es refreda fins a temperatures que poden estar molt per sota de la temperatura ambiental. Aquest refredament pot compensar-se per l'escalfament causat per la radiació solar, per la radiació infraroja tèrmica radiada per l'atmosfera i els núvols (que també es comporten com a cossos negres), o per l'acció de vent més càlid en contacte amb la neu.

Per aquest motiu, en nits clares es pot observar un refredament molt important de la superfície del mantell nival, mentre que si hi ha cobertura de núvols, humitat ambiental, o bufa un vent amb temperatura superior a la de la neu els intercanvis de calor es compensen i el mantell nival pot, per exemple, mantenir-se humit. De la mateixa manera, si durant la nit hi ha hagut un refredament molt important, una neu recent i seca, amb poques impureses (albedo elevat i coeficient d'extinció baix), pot mantenir-se seca durant un dia assolellat en què no arribi a compensar-se la pèrdua de calor.

### 1.3.3. Els intercanvis mol.leculars de calor

Aquests intercanvis de calor es produeixen entre la superfície del mantell nival i l'atmosfera, o al sí del mateix mantell.

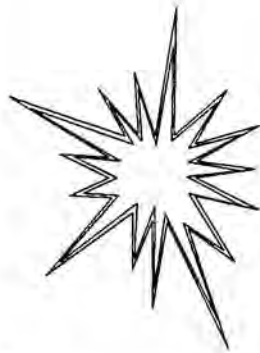
Aquests intercanvis mol.leculars de calor entre la superfície del mantell nival i l'atmosfera es produeixen fonamentalment per intercanvi turbulent de calor sensible (per mitjà de remolins de vent), tot i que també poden donar-se per fenòmens de condensació (McClung i Schaerer, 1993) (vegeu apartat 1.5. El gebre), i sublimació (sobretot si la massa d'aire és seca i tendeix a incorporar vapor d'aigua sublimat de la superfície de la neu) (Sergent, 1995), que comporten una transferència de massa (Gubler, 1995) .

Al sí del mantell nival són per difusió de vapor d'aigua i per conducció. Com que l'aire és poc conductor, la difusió de vapor d'aigua a través de la porositat és un procés lent. La conducció de calor es dóna per contacte entre els grans de neu i, fonamentalment, quan n'hi ha, a través de l'aigua líquida. Això implica que les transformacions de la neu seca seran més lentes que les de la neu humida i, en principi, seran més ràpides quant més contingut en aigua líquida hi hagi al mantell.

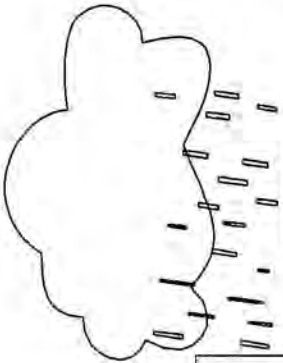
La precipitació, si es dóna en forma sòlida, implica una sobrecàrrega del mantell; a més poden escalfar-lo o refredar-lo segons quina sigui la temperatura del mantell i de la precipitació (Sergent, 1993). Quan es dóna en forma de pluja, la conseqüència més important és la humidificació del mantell i el seu escalfament. La fusió sol ser mínima (per causa de la gran quantitat de calor latent necessària), però es produeix un assentament del mantell molt considerable (Sergent, 1993).

A tall de recapitulació incloc un quadre resum dels factors que intervenen en el balanç del mantell nival (fig. 1.5).

# ELS INTERCANVIS NEU - ATMOSFERA



RADIACIO TERMICA DELS NUVOLS



intercanvis aire / neu

RADIACIO SOLAR INCIDENT

RADIACIO SOLAR REFLECTIDA

RADIACIO TERMICA DE LA NEU

RADIACIO TERMICA DE L'ATMOSFERA

pluja o neu

RADIACIO SOLAR ABSORVIDA

guany d'energia

pèrdua d'energia

guany d'energia

guany d'energia

guany o pèrdua d'energia

guany o pèrdua d'energia

guany d'energia

flux tèrmic del sòl

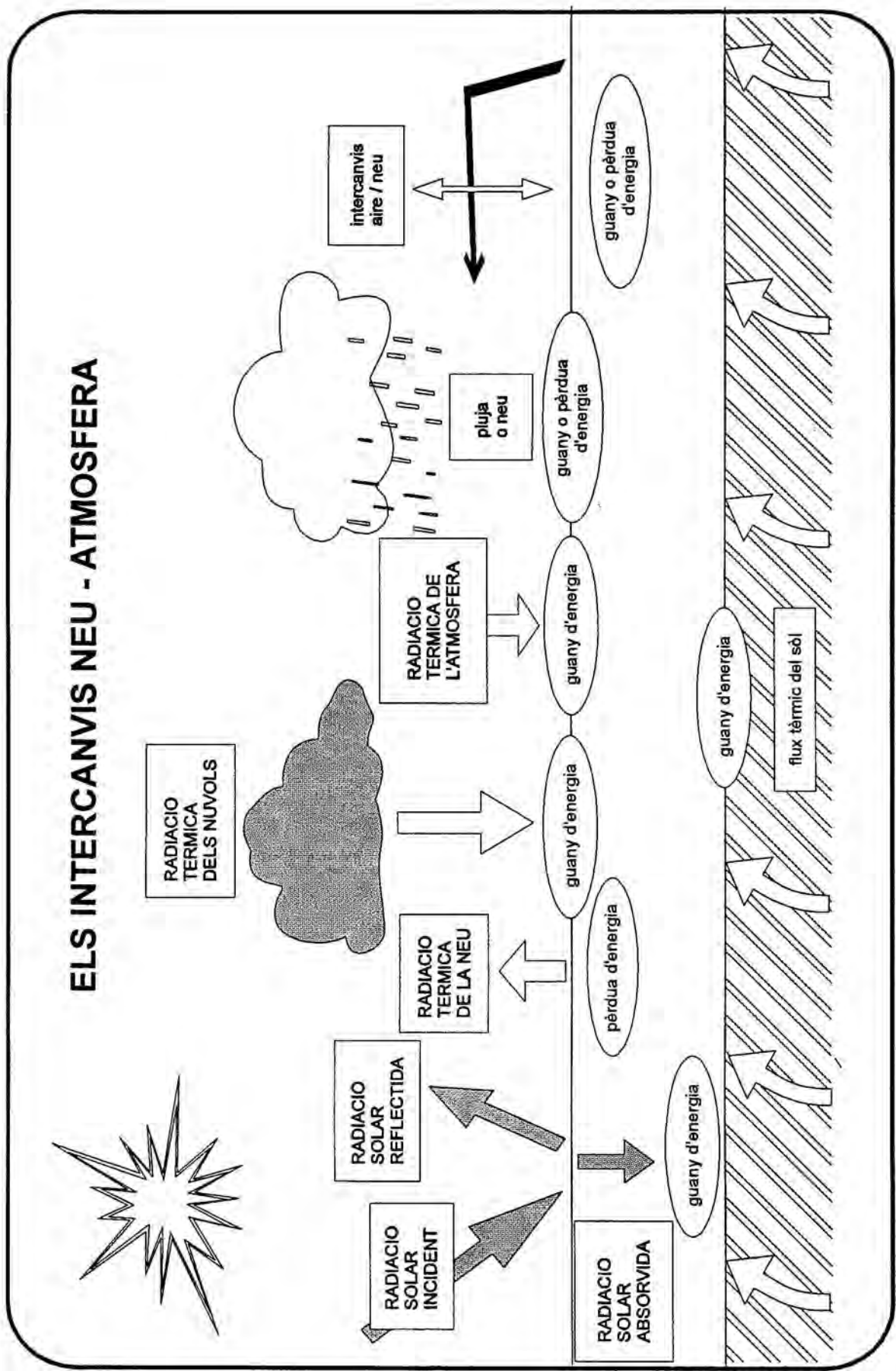


Figura 1.15.: Els intercanvis d'energia entre l'atmosfera i la neu i el sòl i la neu (Segons Sergent, 1993)

## 1.4. ELS METAMORFISMES DE LA NEU.

Els anomenats metamorfismes de la neu no són res més que les transformacions a què aquesta està sotmesa i que caracteritzen la seva evolució des dels cristalls de neu recent i lleugera fins als grans grossos de la neu densa de finals de l'estació hivernal i de primavera.

Aquests metamorfismes són l'efecte d'accions mecàniques i termodinàmiques que comento tot seguit. En resulten grans de neu diferents, que es recullen a la Classificació Internacional de la Neu Estacional al Sòl (I.C.S.I., Working Group on Snow Classification) que incloc a l'annex 6. Per tant, en aquest apartat només comentaré la gènesi dels diferents grans i alguna de les seves característiques més remarcables (per a més detalls vegeu l'annex 6).

Els tipus de grans de neu que caracteritzen els diferents estadis d'evolució del mantell nival són els següents:

- + neu fresca
- $\lambda$  partícules reconeixibles o agulles visibles
- grans fins
- ◻ grans amb facetes
- ^ gebre de profunditat o gobelets
- O grans rodons o de fusió

### 1.4.1. L'acció mecànica

Es tradueix per la fragmentació o trencament dels cristalls, que es dona fonamentalment per dos processos:

- Pel vent que trenca els cristalls en transportar-los durant la mateixa nevada o en episodis fins a alguns dies posteriors a les nevades (sobretot quan la superfície de la neu s'ha mantingut freda i, per tant, més o menys lleugera i erosionable).
- Pel pes de la mateixa neu (assentament); en augmentar la quantitat de neu que es va dipositant durant una precipitació els cristalls que s'han dipositat primer van suportant cada vegada més pes, fins que es trenquen (especialment les estrelles de neu amb branques ben diferenciades).

Si no hi ha vent, el resultat és una capa de neu constituïda per fragments de cristalls, és a dir, agulles visibles ( $\lambda$ ), de tamany entre 0,5 i 1,5 mm, amb densitats baixes (al voltant de 150-250 kg/m<sup>3</sup>), i sense cohesió entre elles (per tant poden donar lloc a allaus de neu recent).

Com més intens sigui el vent, més petits són els fragments de neu ventada (fins a aprox. 0,2 mm), la densitat augmenta (al voltant dels 350 kg/m<sup>3</sup>) i el conjunt adquireix més

cohesió; es formen les característiques cornises i plaques, de les que parlo més endavant (apartat 1.6.).

#### 1.4.2. L'acció termodinàmica

Les transformacions causades per l'acció termodinàmica són més lentes (de l'ordre de dies o setmanes) que les d'origen mecànic. Són conseqüència dels escalfaments i refredaments del mantel nivàl i, per tant, dels intercanvis d'energia i massa neu / atmosfera. Es produeixen per la tendència a què es mantingui l'equilibri entre les fases de l'aigua al mantel nivàl. Segons si la temperatura és inferior o igual a 0°C hi haurà presència de gel i vapor d'aigua o, a més, aigua líquida; aquest fet determina el tipus de metamorfisme que es pot produir, i llavors es parla de metamorfisme de neu seca i de neu humida.

#### El metamorfisme de la neu seca.

El tipus de cristall resultant del metamorfisme de la neu seca, i per tant les seves propietats de densitat, cohesió, resistència a la cisalla, etc., serà un o un altre tot depenent del balanç entre els dos mecanismes de difusió de vapor d'aigua que controlen aquest tipus de transformacions. Aquests dos processos estan directament lligats als **efectes de curvatura dels grans** i al **gradient de temperatura** al mantel.

**L'efecte de curvatura dels grans de neu.** La pressió de vapor saturant varia segons sigui la forma (radi de curvatura) del gra de neu. Així, aquesta és major sobre superfícies convexes i de menor radi de curvatura, i és menor sobre superfícies còncaues i de major radi de curvatura. La pressió de vapor saturant tendeix a equilibrar-se de tal manera que si hi ha dues superfícies veïnes, una convexa i l'altra còncaua, el vapor d'aigua tendirà a migrar de la zona de més alta pressió a la de més baixa, és a dir, de sobre la superfície convexa cap a la còncaua (fig. 1.6).

Hi ha, per tant, una sublimació de les branques dels cristalls de neu i de les puntes dels angles vius dels grans, i la transferència d'aquesta massa cap a zones còncaues, on es produeix la sublimació inversa (pas a gel). D'igual manera, els grans de diàmetres més petits (menor radi de curvatura) sublimen en favor dels de diàmetres més grans. La conseqüència és la **tendència a l'arrodoniment dels grans i a la formació de ponts de gel entre ells**, a més de la tendència al creixement dels grans més grossos a expenses dels més petits.

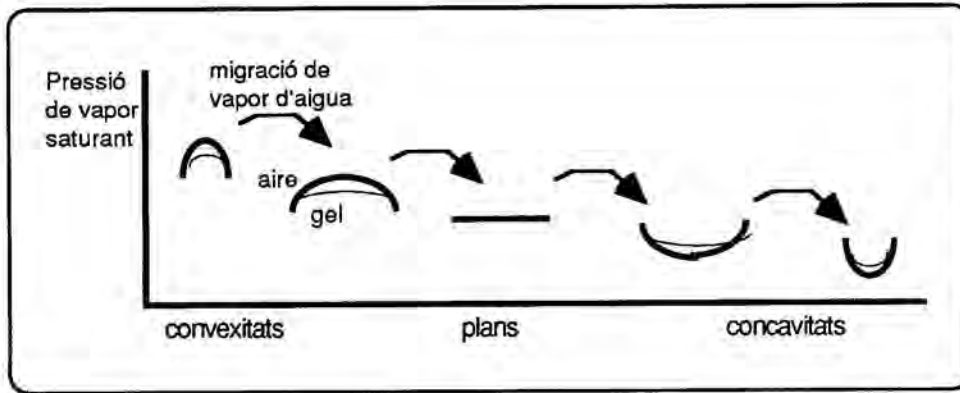


Figura 1.6: Pressió de vapor saturant i radi de curvatura  
(de Pahaut i Sergent, 1991).

**L'efecte de gradient de temperatura.** Com ja he comentat, la temperatura a la base del mantell nival acostuma a mantenir-se molt pròxima a  $0^{\circ}\text{C}$  per causa de l'aport de calor del sòl. Per altra banda, la superfície pot estar a temperatures negatives sovint, tant pel fet d'estar en contacte amb aire fred (sobretot a la nit), com pel fet d'estar radiant constantment energia d'ona llarga, és a dir, perdent calor. Això vol dir que hi ha una diferència de temperatura entre la base i el sostre del mantell nival que, tot i que normalment és inhomogènia, es pot mesurar en  $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ ; és l'anomenat **gradient de temperatura**. Com que la neu és un material aïllant tèrmic (més aïllant quant més porosa, ja que conté més aire) els canvis de temperatura tendents a l'equilibri tèrmic no són immediats, sinó que el mantell nival es comporta amb una certa inèrcia. Quant més porosa és la neu, més forts poden ser els gradients.

Com a conseqüència, l'aire situat a la base del mantell, més calent i menys dens, tendeix a ascendir tot provocant un flux de vapor d'aigua cap amunt. A les parts superiors dels grans, sovint de menor radi de curvatura, hi predomina la sublimació de vapor d'aigua, que és majoritàriament difós cap amunt; mentre que a les parts inferiors dels grans (més fredes quant més angulosos) hi predomina la sublimació inversa ja que les mol.lècules de vapor d'aigua ascendents topen amb una superfície més freda per causa del gradient tèrmic existent.

És a dir, hi ha un creixement diferencial dels grans per la base a expenses de les parts superiors dels grans situats més avall en el mantell nival per causa de la migració ascendent del vapor d'aigua. Aquest creixement es produeix estructuralment, en forma de cares planes, accentuació dels angles al límit d'aquestes cares i formació de facetes (fig. 1.7).

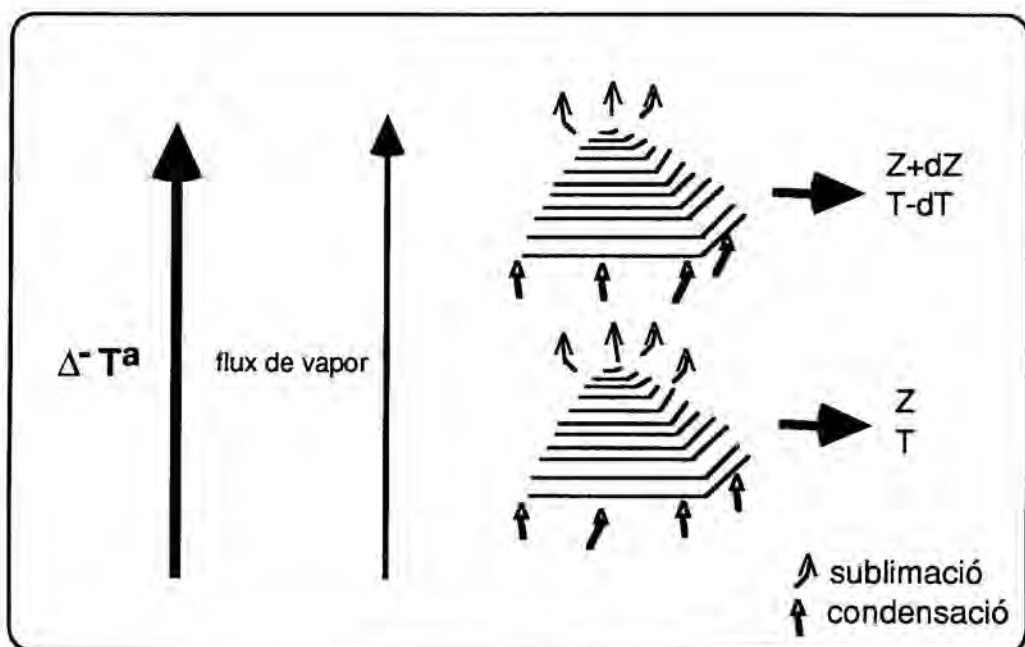


Figura 1.7: Esquema del metamorfisme de gradient. Mostra, sobre cada cristall, les parts amb predomini de sublimació i les parts amb predomini de condensació sòlida o sublimació inversa.  $T$  = temperatura,  $dT$  = increment de temperatura,  $Z$  = gruix del mantell en un indret donat,  $dZ$  increment del gruix. De Pahaut i Sergent, 1991.

El tipus i tamany de cristall resultant del metamorfisme de neu seca depèn, doncs, del balanç entre dos efectes que es donen alhora: l'efecte de curvatura dels grans (tendent a arrodonir els grans) i l'efecte de gradient de temperatura (tendent a desenvolupar formes anguloses i amb facetes), que regulen els processos de difusió i sublimació del vapor d'aigua. Val a dir que el gradient de temperatura és el més eficaç dels processos de difusió de vapor d'aigua al mantell nival. Per tant, en definitiva, que hi hagi un gradient més o menys fort comportarà que es formi un o altre tipus de cristalls.

Si el metamorfisme és de feble gradient ( $< 0.05 \text{ }^\circ\text{C/cm}$ ), el resultat són grans fins, és a dir, grans units entre ells per ponts de gel, amb cohesió i que donen una neu estable. Si el gradient es mitjà ( $0.05 \text{ }^\circ\text{C/cm} < \text{gradient} < 0.2 \text{ }^\circ\text{C/cm}$ ) es formen grans amb facetes (□), i si és elevat ( $> 0.2 \text{ }^\circ\text{C/cm}$ ) es forma gebre de profunditat o gobelets (∧). Ambdós tipus de gra no presenten cohesió i donen com a resultat una neu poc estable i susceptible de servir de pla de debilitat i lliscament per a les allaus.

D'aquestes transformacions causades per la difusió del vapor d'aigua n'hi ha de reversibles i d'irreversibles. Així, de grans fins es pot passar a grans amb facetes i viceversa, però una vegada els grans assoleixen l'estructura i propietats dels gobelets ja no es transformen si no és per fondre's (fig. 1.8)



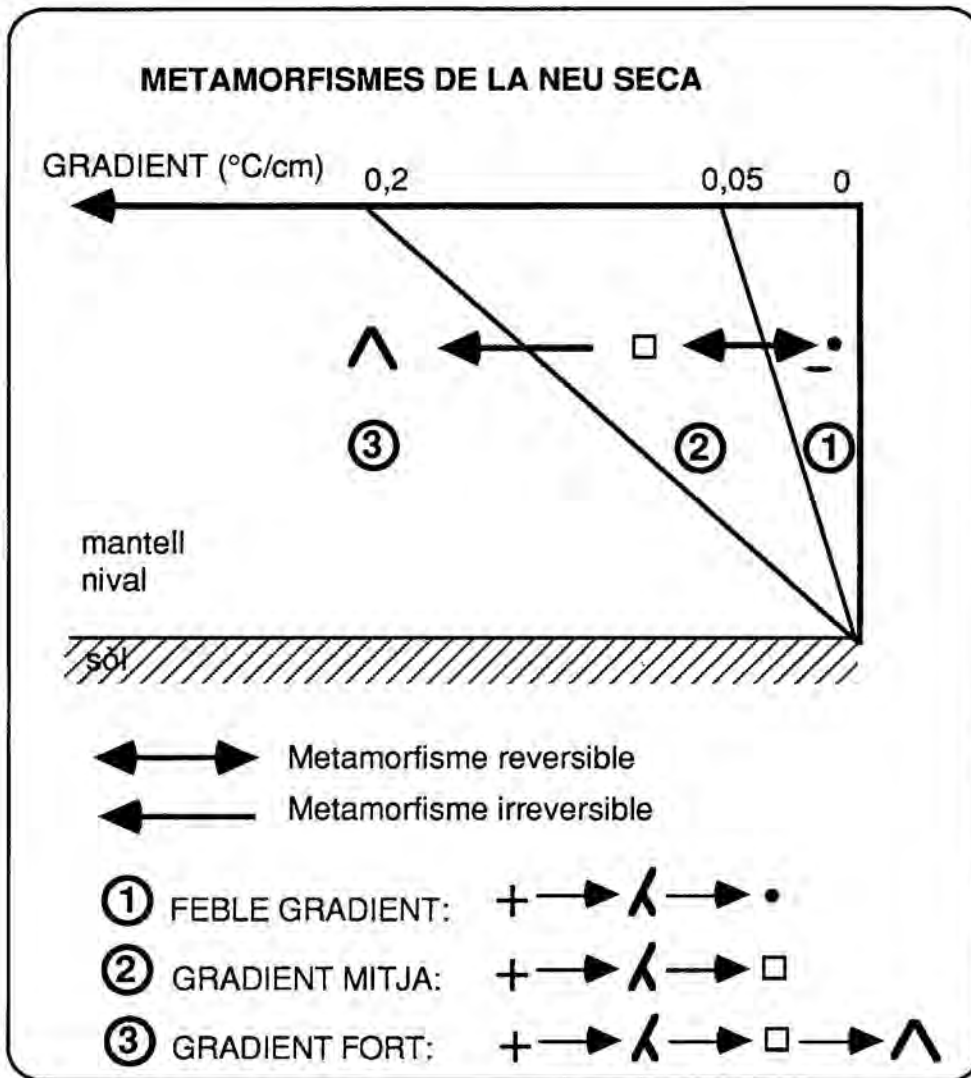


Figura 1.8: Esquema general del metamorfisme de la neu seca. (Segons Pahaut i Sergent, 1991).

Per a d'altres propietats d'aquests grans consulteu l'annex 6 i l'apartat 1.7 sobre densitat i cohesió de la neu.

### El metamorfisme de la neu humida.

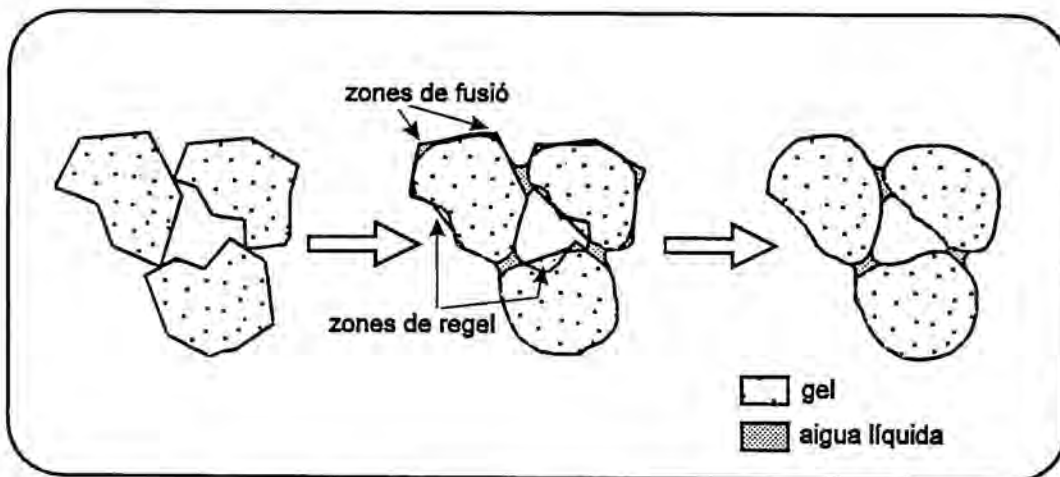
El metamorfisme de la neu humida ve regulat pel contingut en aigua líquida del mantell nival, és a dir, per la quantitat (volum) d'aigua líquida continguda a la porositat de la neu (en relació al volum). Normalment s'expressa en %.

Per a què hi hagi aigua líquida cal que la temperatura de la neu sigui pràcticament de 0°C, de manera que al mantell nival puguin coexistir les fases de gel, aigua i vapor d'aigua. Per tant, qualsevol aport de calor tindrà un primer efecte d'escalfament del mantell fins als 0°C per a què aquest pugui humidificar-se. Però tal i com he comentat a l'apartat 1.2., una vegada els grans de neu es troben a 0°C cal un aport important de calor (80 cal/gr) per fondre'ls, que no sempre està disponible. Així, l'aigua líquida al mantell nival pot tenir per origen diferents **mecanismes d'humidificació** (Pahaut i Sergent, 1991):

- Per fusió de la neu de la superfície per aport de calories (balanç energètic positiu).
- Per aport directe d'aigua líquida en forma de pluja a la superfície o per percolació d'aigua líquida (tant de puja com de fusió) a les capes internes del mantell.

Val a dir que a la base del mantell nival no acostuma a haver-hi fusió, sinó que es manté un equilibri entre el flux geotèrmic i el gradient de temperatura pròxim als 0°C. Si per percolació hi arriba aigua, aquesta s'infiltra al sòl (sempre que aquest no sigui impermeable; en aquest cas es provocaria un potencial pla de lliscament). **La fusió de la neu es dona a partir de la superfície del mantell nival.**

Des del moment en què l'aigua líquida és present en una capa de neu, sota l'efecte de les forces de capilaritat, és concentra als punts de contacte entre els grans i els envolta d'una fina pel·lícula d'aigua. A les zones còncaues, aquesta pel·lícula té tendència a regelar i allibera calories (calor latent de solidificació). Llavors aquestes calories estan disponibles per fer fondre els grans més petits i les zones més convexes dels grans més grossos. Així s'allibera aigua líquida que permet de continuar la transformació (fig. 1.9) (Pahaut i Sergent, 1991).



*Figura 1.9.: Mecanisme d'arrodoniment dels grans de neu per fusió  
(Segons Pahaut i Sergent, 1991)*

Es formen així grans rodons o de fusió, de tamanys de 0,4 mm a 2 mm i amb densitats entre 350-500 kg/m<sup>3</sup>.

La velocitat del metamorfisme, així com la cohesió que presentarà el mantell, depèn de la quantitat d'aigua present. En general, a major contingut en aigua líquida, més ràpida és la transformació i menor és la cohesió de la capa afectada, i a la inversa; quant menor contingut en aigua líquida, més lentes són les transformacions i major és la cohesió. Es pot, doncs, distingir entre el metamorfisme amb baix contingut en aigua líquida o de neu humida, i amb alt contingut o de neu molla:

**Metamorfisme de neu amb baix contingut en aigua líquida.** Aquest baix contingut implica que l'aigua es troba al contacte entre els grans i envoltant-los parcialment, i que l'aire que reomple els porus és continu i està completament interconnectat (fins a un contingut en aigua del 8% en volum; règim pendular). La redistribució de la massa es produeix per difusió del vapor d'aigua a través d'aquesta porositat (McClung i Schaerer, 1993) de manera anàloga al metamorfisme de neu seca, i per tant el metamorfisme és lent. Al contacte entre grans tendeixen a formar-se ponts de gel, i com a conseqüència ràpidament es formen agrupacions de grans. Això i la pressió capilar conseqüència del baix contingut en aigua confereixen una certa resistència al conjunt de capes afectades.

**Metamorfisme de neu amb alt contingut en aigua líquida.** Es considera alt contingut en aigua líquida a partir del 8% en volum. En aquest cas, l'aigua líquida està totalment interconnectada a través de la porositat, en la que pot haver-hi un contingut més o menys elevat d'aire aïllat als porus. El flux de calor dels processos de fusió-regel es transmet per l'aigua, mecanisme molt més eficaç que la difusió de vapor d'aigua (McClung i Schaerer, 1993) Entre el 8% i el 15% hi ha bombolles d'aire que ralentinzen el metamorfisme (règim funicular). A partir de continguts superiors al 15% en volum la neu està immersa en aigua i pràcticament no hi ha aire ("slush"); en aquest cas, especialment en zones àrtiques, s'arriben a produir grans allaus per l'acció lubricant de l'aigua. En aquest tipus de metamorfisme els grans tendeixen a mantenir-se aïllats entre ells i a presentar poca cohesió.

## 1.5. EL GEBRE.

Fins ara he fet un resum dels tipus de grans de neu que resulten dels diferents metamorfismes del mantell nival. Hi ha, però, una altra forma cristal·lina de l'aigua que té molta importància en l'estabilitat del mantell: el gebre.

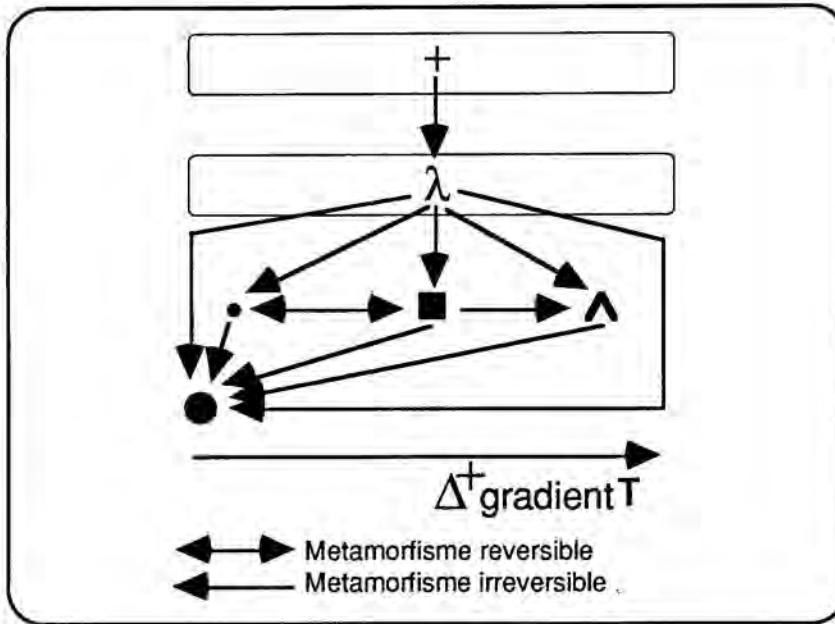


Figura 1.10: Quadre resum dels diferents tipus de metamorfisme.

El gebre sovint es forma a la superfície del mantell nival. Durant les nits clares el mantell es refreda considerablement per emissió de radiació d'ona llarga (vegeu apartat 1.3.2.). La conseqüència és que la superfície del mantell assoleix una temperatura inferior a la de l'aire que hi està en contacte; aquest, per tant, tendeix també a refredar-se, el què vol dir que podrà contenir cada vegada menys quantitat de vapor d'aigua per arribar a la saturació (la humitat relativa augmenta en descendir la temperatura). Si s'arriba a la saturació, el vapor d'aigua sublima a la superfície del mantell nival, que és on troba cristalls o grans de neu més freds que li serveixen de nuclis de congelació.

Així es formen els cristalls de gebre de superfície, normalment en forma de fulles estriades, plomes o palletes. Poden arribar fàcilment a tamanyes de fins a 4 o 5 mm i, en ocasions excepcionals, tamanyes centimètriques. Són molt fràgils i extremadament poc resistents a la cisalla i, per aquest motiu, poden actuar com a un bon pla de lliscament d'allaus quan queden colgats per nevades posteriors a la seva formació.

## 1.6. ELS EFECTES DEL VENT.

Un dels efectes més importants del vent és la redistribució del mantell nival, que tendeix a regularitzar la topografia tot sobreacumulant neu a les depressions i erosionant-la a les

carenes (Valla, 1991), i que és causa freqüent de formació de plaques al vent i d'allaus (McClung i Schaerer, 1993).

En aquest apartat no faré cap comentari sobre circulació general dels vents a muntanya i vents locals, ni sobre mecanismes de transport de la neu pel vent. Més informació sobre aquests temes pot trobar-se a les obres de Mellor, 1965; Daffern, 1983; McClung i Schaerer, 1993; Castelle, Hertig i Fallot, 1991; Naaim i Brugnot, 1992.

A escala local, el vent erosiona la neu en els relleus exposats i la sobreacumula al darrera dels obstacles, i sovint forma cornises i plaques al vent. La geometria de les sobreacumulacions depèn en gran mesura de la morfologia del relleu (figs. 1.11, 1.12 i 1.13)

La qualitat de la neu en aquestes sobreacumulacions ve condicionada pel vent, que augmenta els xocs entre els cristalls de neu en transportar-los, i els trenca en fragments molt petits (vegeu apartat 1.4.1.). Aquests fragments s'uneixen fàcilment per nombrosos ponts de gel (vegeu apartat 1.4.2.). El resultat és una neu densa, compacta i rígida (Sergent 1993), amb una cohesió molt important.

El desenacadenament de moltes allaus està directament relacionat amb la localització d'aquestes sobreacumulacions en pendents pronunciats i amb la seva relació amb la resta del mantell nival (posició sobre capes de feble resistència a la cisalla).



Figura 1.11.: Acceleració i desacceleració del vent, amb la formació de les corresponents sobreacumulacions de neu, segons el relleu. (segons Daffern, 1983)

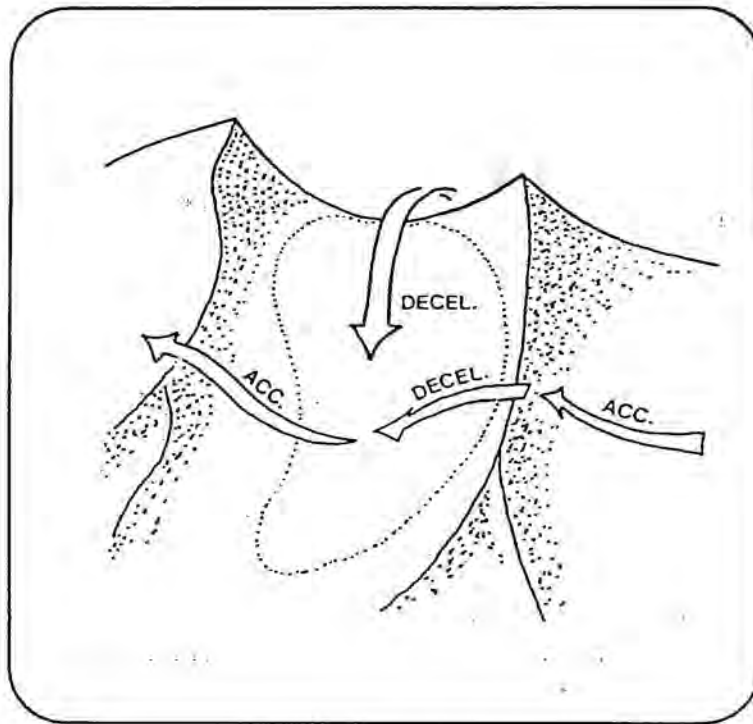


Figura 1.12.: Formació de sobreacumulacions de neu lenticulars (plaques) per efectes del vent, a sotavent de carenes i esperons (Segons Perla i Martinelli, 1976).

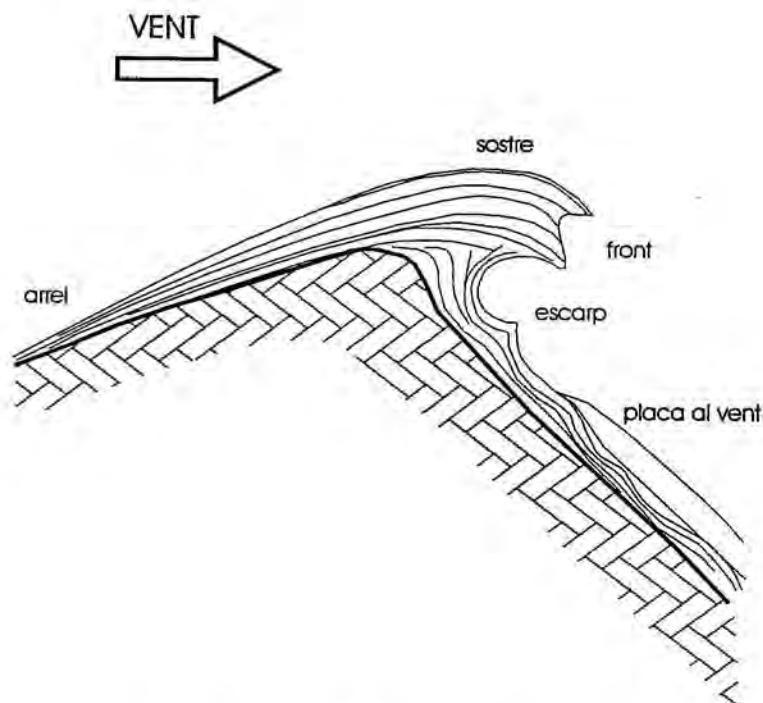


Figura 1.13.: Formació d'una cornisa i una sobreacumulació a sotavent (placa al vent) per l'efecte del vent en un relleu escarpat. S'indica el nom de les diferents parts de la cornisa i la placa. (Segons Daffern., 1983).

## 1.7. ALGUNES PROPIETATS MECANQUES DE LA NEU

Els paràmetres i propietats mecàniques de la neu estan, lògicament, en relació directa amb els diferents tipus de grans de neu. Alhora, intervenen directament en l'equilibri de forces al sí del mantell nival i, per tant, en la producció d'allaus. Per aquest motiu les tractaré al capítol següent.

En aquest apartat vull fer una introducció a la **densitat** i la **cohesió**, per tal que els seu tractament resulti més fàcilment comprensible al capítol següent.

### 1.7.1. La densitat

La densitat es defineix com la quantitat de massa de neu per unitat de volum, i s'expressa en  $\text{kg/m}^3$ . Pot variar entre uns  $20 \text{ kg/m}^3$  per a una neu recent i uns  $550 \text{ kg/m}^3$  per a una neu de final de temporada. A la neu de congestes permanents sol ser de l'ordre de  $600$  a  $800 \text{ kg/m}^3$ , mentre que al gel és de  $917 \text{ kg/m}^3$ . Al moment de la deposició, la densitat de la neu pot variar moltíssim segons la temperatura i la velocitat del vent (Sergent, 1993) (fig 1.14).

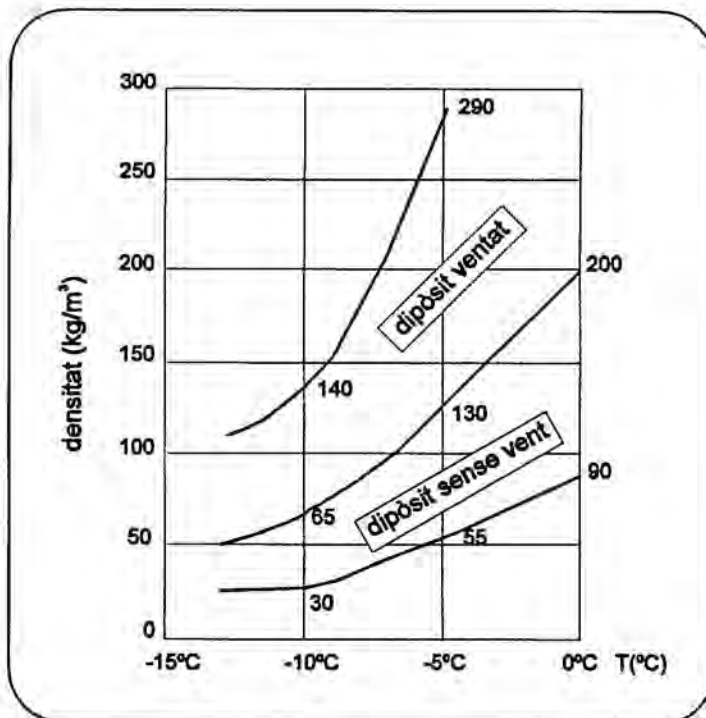


Figura 1.14: Variació de la densitat de la neu fresca segons la temperatura ( $T^\circ$ ) i la velocitat del vent;  $\rho$  = densitat. Segons Sergent, 1993.

Una vegada dipositada, la densitat depèn de l'assentament de la neu (pes de les capes superiors), del seu metamorfisme o estat de transformació (tipus de gra) i de la seva humitat (Sergent, 1993). Així, la neu és més compressible i s'assenta i es densifica més ràpidament quan és recent. L'entrada d'aigua líquida al mantell nival (pluja o fusió) també produeix un ràpid assentament i densificació. La figura 1.15 reflecteix els rangs de densitat per als diferents tipus de gra.

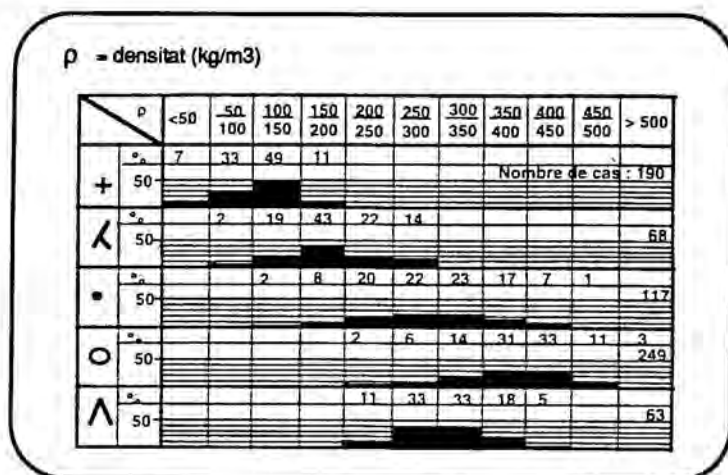


Figura 1.15: Repartició de les densitats segons el tipus de gra. (Segons Pahaut, 1975).

Altres valors interessants relacionats amb la densitat són la *fracció de la massa de neu composta per gel*, que és igual a la densitat de la neu dividida per la densitat del gel, i la *porositat o fracció composta per aire*, que és igual a 1 menys l'anterior:

$$\text{Porositat} = 1 - \frac{\text{Densitat de la neu (kg/m}^3\text{)}}{\text{Densitat del gel (917 kg/m}^3\text{)}}$$



### 1.7.2. La cohesió

La cohesió té que veure amb la resistència de la neu (vegeu apartat 2.1.) i depèn de la qualitat de les unions entre els grans de neu (Sergent, 1993). Es distingeixen els quatre tipus de cohesió que enumero tot seguit.

#### Per imbricació de cristalls

És una cohesió fràgil dels cristalls de neu recent o de les partícules reconeixibles. És deguda a la imbricació de les branques i les excrescències dels cristalls. Desapareix ràpidament amb l'inici del metamorfisme (Sergent, 1993).

#### Per ponts de glaç o sinterització

Es dona per l'existència de ponts de glaç entre els grans i és característica dels grans fins (Sergent, 1993), producte del metamorfisme de baix gradient de la neu seca. És una cohesió forta, però permet la propagació de fractures amb facilitat.

#### Capilar

Es dona per la presència d'una pel·lícula d'aigua líquida que envolta els grans de neu. Quan menor és el contingut en aigua líquida, major és la cohesió, i disminueix ràpidament si el contingut en aigua líquida augmenta (Sergent, 1993).

#### De regel

Quan hi ha regel de l'aigua líquida present al mantell, els grans (que són de fusió) es solden (Sergent, 1993). Aquest tipus de cohesió és molt bo, ja que poden arribar a formar-se fins a capes de regel de gruixos considerables (decimètriques) molt estables.

## 2. LES ALLAUS

Com amb tants altres fenòmens naturals, resulta difícil parlar d'allaus des d'un únic punt de vista. Els múltiples paràmetres que intervenen en la seva formació, les diverses qualitats de la neu involucrada, els diferents aspectes geomètrics i morfològics que les descriuen, les diverses aproximacions al seu comportament dinàmic i els danys que se'n poden derivar són alguns dels aspectes que impossibiliten una única aproximació al seu estudi i, com a conseqüència, fan difícil una única classificació.

En general, però, és acceptat per la comunitat internacional el parlar d'**allaus de neu sense cohesió**, que presenten una sortida puntual i una geometria més o menys triangular, i d'**allaus de neu de placa**, que s'inicien per una ruptura al si del mantell nival, de la que en resulta un bloc de neu que s'individualitza i es desprèn (Mc Clung i Schaerer, 1993) (fig.2.1).

En aquest capítol pretenc definir què és una allau i quins mecanismes intervenen en la seva generació, descriure les característiques d'allaus de neu seca i humida i el seu diferent impacte sobre el medi que, en definitiva, és el que permet la realització de la cartografia.

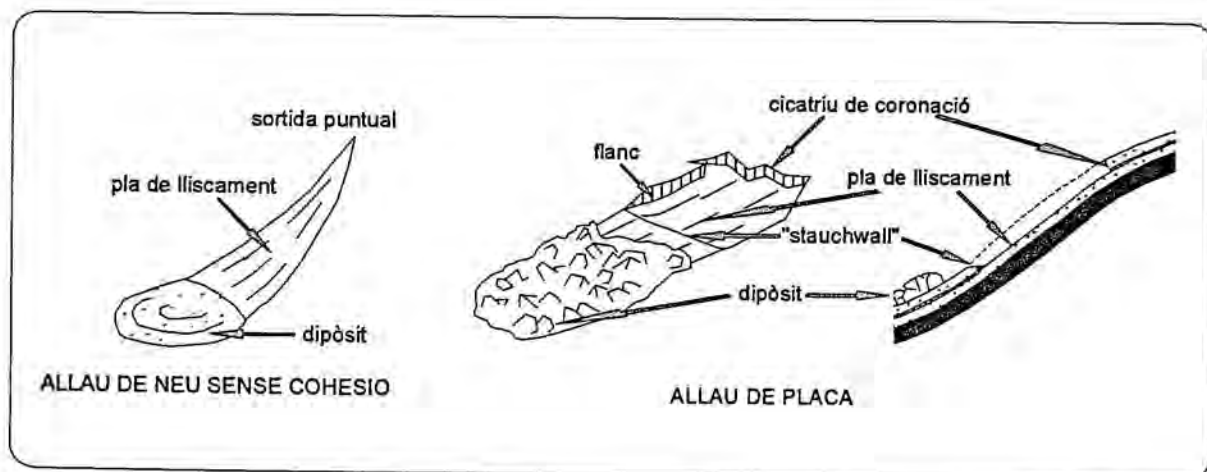


Figura 2.1.: Allau de neu sense cohesió i allau de placa, amb els termes que les descriuen

## 2.1. DEFINICIONS D'ALLAU

Hi ha diverses definicions d'allau. En aquest apartat en reculló dues que em semblen les més útils en el marc d'aquest treball:

**Allau és tot procés de moviment d'una massa de neu que parteix d'una zona de sortida, s'escola per una certa zona de trajecte i s'atura en una zona de dipòsit (Salm, 1983).**

**Una allau és una porció del mantell nival que es desplaça pendent avall per la ruptura de l'equilibri (Bosch i Vilaplana, 1988) entre la resistència del mateix mantell nival i els esforços als què aquest està sotmès.**

De la mecànica de la fracturació de la neu es coneix que cada element del mantell nival en un vessant està subjecte a una deformació i a un moviment (Föhn, 1995) que cal considerar en avaluar la seva estabilitat. Amb altres paraules, s'avalua si tendeix cap a l'equilibri (estabilitat) o el desequilibri (formació d'una allau) tot considerant la raó entre la resistència i els esforços concurrents al mantell.

### 2.1.1. Resistències de la neu

A grans trets, el mantell nival pot ser considerat com un cos amb comportament plàstic i viscos, com la mel (Salm, 1983), és a dir, que és deformable i les seves deformacions són pràcticament irreversibles. Però arriba un punt en què la neu no pot deformar-se més sense que es produeixi destrucció de l'edifici de cristalls de neu i llavors es trenca. Aquest límit defineix la resistència de la neu.

#### Resistència a la compressió, a la tracció i a la cisalla

La resistència de la neu depèn del tipus de neu (forma dels grans, estructura, densitat i cohesió), del seu estat (temperatura i humitat) i de la velocitat de la deformació (Salm 1983). Per tant, cal considerar que cada una de les capes de neu estratificada pot tenir diferent resistència.

Cada un dels elements del mantell nival situat en un vessant està subjecte a esforços de compressió, tracció i cisalla (McClung i Schaerer, 1993; Föhn, 1995).

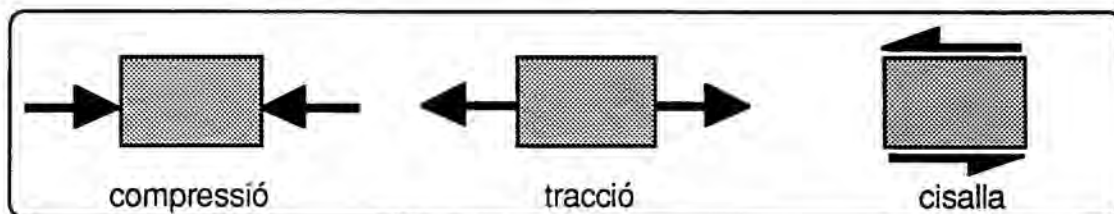


Figura 2.2. Resistència a la compressió, a la tracció i a la cisalla.

La resistència de la neu a aquests tres esforços és molt desigual. Així, en els models més simples, la ruptura i fractura d'una allau es produeix perquè l'esforç de cisalla excedeix la resistència a la cisalla en un pla que es troba a una certa profunditat. La concentració d'esforços de cisalla obeeix a dues raons (Föhn, 1995):

- resistència a la cisalla < resist. a la tracció << resist. a la compressió
- L'àrea potencial, basal de fractura per cisalla és, de molt, la fractura més gran possible que es pot desenvolupar, i molt probablement aquesta àrea és determinant.

### 2.1.2. Index d'estabilitat

De tot l'anterior es desprèn que, l'element fonamental en l'avaluació de l'estabilitat del mantell nival és la resistència a la cisalla. Llavors, es defineix l'**índex d'estabilitat** segons la fórmula següent (Föhn, 1995) (fig.2.3):

$$S = \frac{\text{Resistència a la cisalla } (\tau_s)}{\text{Esforç de cisalla } (\tau_{xz})} = \frac{2(c + \text{tg } \varphi \sigma_z)}{\rho h \sin 2\psi}$$

- c = cohesió de la capa de neu
- $\varphi$  = angle de fricció interna de la capa menys estable
- $\sigma_z$  = component normal del pes de la capa de neu sobre la capa feble (=  $\rho h \cos 2\psi$ )

- $\rho$  = densitat
- h = altura capa de neu
- $\psi$  = pendent del vessant

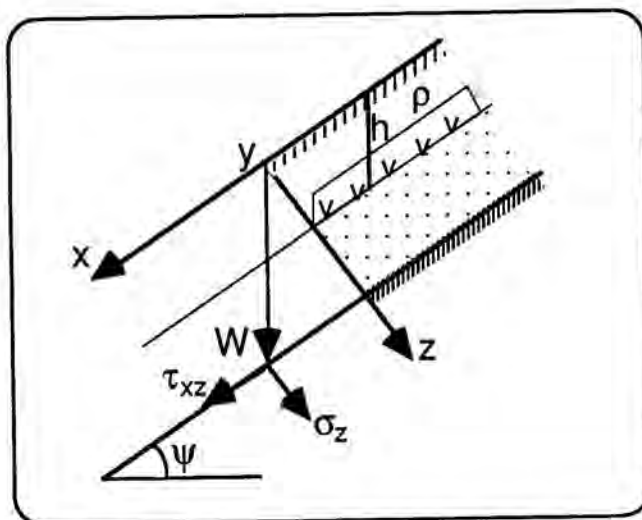


Figura 2.3.: Components de l'esforç i de la resistència a la cisalla del mantell nival (Segons Föhn, 1995)

Evidentment, aquest índex és una altra manera de definir les allaus com a resultat de la ruptura d'un equilibri.

## 2.2. LA RESISTENCIA A LA CISALLA I LA RUPTURA PER CISALLA DEL MANTELL NIVAL

La formació d'allaus és primerament i sobretot determinada per les propietats mecàniques de la neu i la seva ruptura com a resultat dels esforços aplicats (McClung i Schaerer, 1993). En aquest apartat, doncs, s'esquematitzen les components de la resistència a aquests esforços (essencialment de l'esforç de cisalla) i, amb efecte contrari, les propietats que afavoreixen la ruptura.

### 2.2.1. Components de la resistència a la cisalla

La resistència a la cisalla pot ser idealitzada en dues components: la cohesió de la neu i la fricció.

#### Cohesió

La cohesió de la neu, com ja he comentat, depèn de la qualitat de les unions entre els grans de neu. Per tant, cada una de les capes o estrats que formen el mantell nival pot presentar una cohesió diferent. Evidentment, quant més gran sigui la cohesió d'una capa, major serà la seva resistència a la cisalla.

La cohesió de la neu determina el tipus d'allau que es pot formar: **allau de neu sense cohesió** o **allau de placa**. Les allaus de placa impliquen que la capa de neu involucrada té un grau de cohesió suficient com per individualitzar un bloc de neu. Els diferents tipus de cohesió de la neu ja han estat comentats al capítol anterior (1.7.2.).

Els factors que afavoreixen una baixa cohesió (i per tant baixa resistència a la cisalla) en la neu seca són essencialment tres:

- Baixa temperatura: comporta una formació **lenta** d'unions entre els grans.
- Manca de vent durant la precipitació: cristalls més grossos que els de la neu ventada i, per tant, més baix nombre d'unions per unitat de volum.
- Baixa densitat: implica baix nombre d'unions per unitat de volum.

Les agulles visibles ( $\lambda$ ), producte del primer estadi del metamorfisme (destrucció dels cristalls de neu fresca), presenten una cohesió molt baixa.

Els tipus de grans de neu seca que també presenten una cohesió molt baixa i que es manté (si no hi ha fusió) són la neu rodona ( $\circ$ ) i, més evolucionats, els grans amb facetes ( $\square$ ) i els gobelets ( $\Lambda$ ).

El principal factor que provoca pèrdua de cohesió (i per tant disminució de la resistència a la cisalla) en la neu molla és l'increment d'aigua líquida, provinent tant de la fusió de la mateixa neu com de l'aport per pluja.

## Fricció

La fricció pot definir-se com la resistència a la mobilització dels grans de neu d'una capa amb respecte a una altra. Per al desencadenament de les allaus cal considerar l'angle de **fricció estàtica**, és a dir, l'angle màxim del pendent sobre el què la neu es pot mantenir. Una vegada l'allau s'ha desencadenat, la neu en moviment tendirà a desaccelerar quan el pendent assoleixi l'angle de **fricció cinètica**; l'angle de fricció cinètica sempre és menor que l'angle de fricció estàtica. La fricció depèn de les següents propietats (McClung i Schaerer, 1993):

- La textura, és a dir, tipus, diàmetre i forma dels grans. La figura 2.4. mostra els diferents angles de fricció per als diferents tipus de neu.
- El contingut en aigua líquida: un alt contingut en aigua líquida a la base d'una capa disminueix la fricció perquè submergeix les irregularitats i perquè actua com a lubricant.
- El pes de la neu suprajacent, que empeny uns grans sobre els altres i en dificulta el moviment, augmenta la fricció.

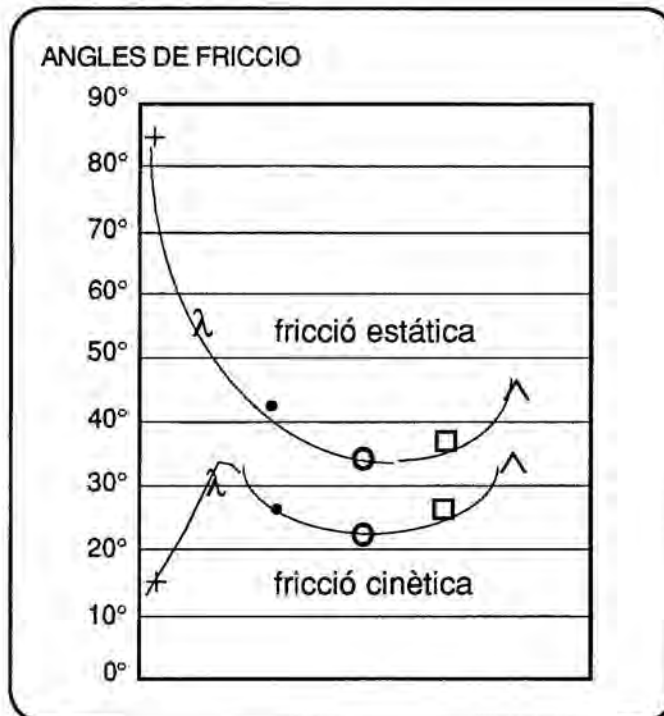


Figura 2.4 : Angles de fricció de la neu segons el tipus de gra (Segons Rey, 1986)

En resum, es poden aplicar els criteris de la taula següent:

SITUACIO DE LA CAPA		CONDICIONS	EFFECTES
SUPERFICIE	cohesió	Si c. pròxima a 0	allau sense cohesió
	fricció	—	—
INTERESTRAT. (pla lliscament)	cohesió	Si baixa c. (respecte $\uparrow$ i $\downarrow$ )	allau de placa
	fricció	Si baixa f. "	
PROFUNDITAT	cohesió	Si $\Delta^+$ densitat $\Rightarrow \Delta^+$ c.	estabilitat
	fricció	Pes neu $\Rightarrow \Delta^+$ f. suprajacent	

*Taula 2.1: Resum no exhaustiu dels efectes de la cohesió i la fricció en la producció d'allaus (en relació directa amb la resistència a la cisalla). En aquesta taula s'il·lustra el tipus de raonament a seguir per avaluar l'estabilitat del mantell nival. Es a dir, es considera la cohesió i la fricció absoluta de cada capa i amb respecte a les capes suprajacents i infrajacents.*

Cal dir, però, que la resistència de la neu depèn en gran mesura de la rapidesa amb què s'apliquen les càrregues (Salm, 1983). Com a conseqüència, si la taxa de deformació és ràpida, la resistència serà menor i, en principi, la ruptura es produirà amb més facilitat que si la deformació és lenta.

### 2.2.2. Condicions per a la ruptura per cisalla

Sota un esforç aplicat donat, que es produeixi o no ruptura depèn de diverses propietats físiques, incloses (entre altres) la densitat, la duresa, la temperatura, la taxa de deformació i qualitat de les unions entre diferents capes de neu, etc. (McClung i Schaerer, 1993), de la distribució de la sobrecàrrega de neu i de la geometria local i deformabilitat (resistència a la cisalla i viscositat) de la capa feble interestratificada (Gubler, 1995).

La ruptura lenta per cisalla de la neu seca consisteix en un complicat i progressiu trencament de les unions entre els grans, que resulta en un estovament per deformació de la capa feble o potencial pla de lliscament, amb formació de superfícies de lliscament i bandes de cisalla que permeten, en última instància, la fractura per cisalla (McClung i Schaerer, 1993).

La neu pot ser considerada com un material plàstic i viscos que, per tant, s'està deformant constantment. A continuació comentem breument aquestes propietats de la neu.

#### Plasticitat i viscositat

La plasticitat d'un material caracteritza la seva capacitat de deformar-se sense trencar-se; la viscositat qualifica la seva resistència a fluir, i ambdues propietats estan relacionades.

La temperatura afecta molt aquestes dues propietats (Fig. 2.5) (Sergent, 1993):

- Quan la temperatura de la neu augmenta, la seva plasticitat augmenta i la seva viscositat disminueix.
- Les majors plasticitats i menors viscositats s'assoleixen amb temperatures de 0°C, en neus amb un alt contingut en aigua líquida.
- Per a temperatures baixes, la neu recent presenta una plasticitat més gran i una viscositat menor que les neus més evolucionades (•, O).

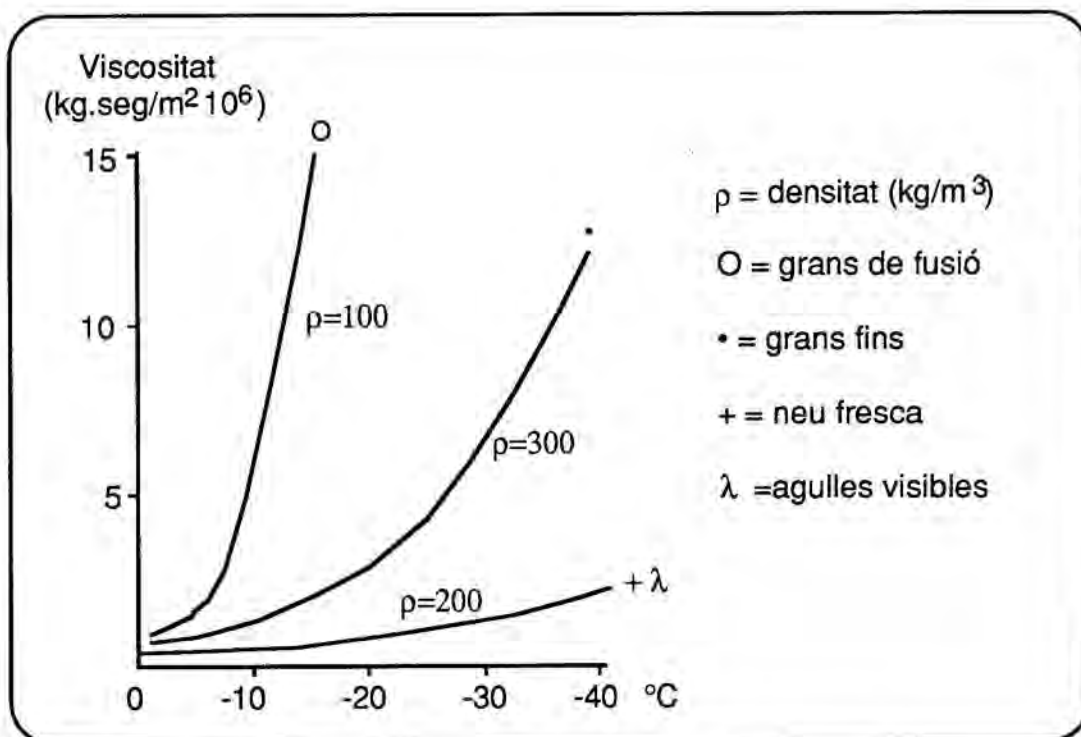


Figura 2.5.: Relació entre la viscositat i la temperatura de la neu segons la densitat i tipus de gra (Segons Sergent, 1993).

### Propietats físiques de la neu: relació amb la ruptura per cisalla

Per a què es produeixi ruptura del mantell nival cal que hi hagi una concentració de la deformació en zones del mantell nival amb imperfeccions. Això implica una concentració de l'esforç de cisalla en aquestes zones i, per tant la generació de taxes de deformació per cisalla



crítiques; llavors es produeixen petites ruptures que cal que es propaguin ràpidament per la capa feble (McClung i Schaerer, 1993).

Als quadres següents (taules 2.2. i 2.3.) es resumeix i sistematitza la influència de diferents propietats físiques sobre la viscositat i sobre la resistència a la cisalla, i quin és el seu efecte respecte al desencadenament d'allaus.

	TEMPERATURA DE LA NEU		
	$\Delta^- T$ (neu seca)	$\Delta^+ T$ (neu seca)	$\Delta^{++} T$ (neu molla)
<b>VISCOSITAT</b>	$\Delta^+ v$	$\Delta^- v$	$\Delta^- v$
<b>RESISTÈNCIA CISALLA (<math>\tau_s</math>)</b>	$\Delta^+ \tau_s$	$\Delta^- \tau_s$	$\Delta^- \tau_s$
<b>COMPORTAMENT MECANIC</b>	$\Delta^+$ caràcter fràgil	$\Delta^+$ taxa deformació	$\Delta^+$ Energia necessària per propagar una fractura fràgil  $\Delta^+$ lliscament
<b>CONSEQÜÈNCIA</b>	=> fàcil propagació de fractures fràgils	fractura fràgil per cisalla (neu seca)	fractura fràgil per tracció, $\perp$ pla lliscam. (induida pel lliscam.)

Taula 2.2.: Relació de l'augment i disminució de temperatura de la neu amb la viscositat, la resistència a la cisalla i la propagació de fractures.

	DENSITAT		SOBRECÀRREGA (per noves nevades)	
	$\Delta^+ \rho$	$\Delta^- \rho$ ( $\wedge, \ )$	Pes (   al pendent)	Pes ( $\perp$ pendent): => $\Delta^+$ fricció => $\Delta^+ \rho$ => $\Delta^+$ cohesió
<b>RESISTÈNCIA CISALLA (<math>\tau_s</math>)</b>	$\Delta^+ \tau_s$	$\Delta^- \tau_s$	$\Delta^+ \tau_{xz}$ (esforç de cisalla)	$\Delta^+ \tau_s$
<b>TENDÈNCIA</b>	dificulta la ruptura: estabilitat	afavoreix la ruptura: inestabilitat	afavoreix la ruptura: inestabilitat	dificulta la ruptura: estabilitat
	poden compensar-se o no			

Taula 2.3.: Relació de la densitat i de la sobrecàrrega de neu (que pot produir densificació amb el temps), amb la resistència a la cisalla i la tendència a la ruptura o a l'estabilitat del mantell nival.

La temperatura i la densitat també estan relacionades entre elles. Tot i que un augment de temperatura provoca una disminució de la resistència, fa augmentar la deformabilitat de la neu (vegeu apartat 2.2.2.); com a conseqüència es produeix una densificació de la neu i, per tant, a la llarga, un increment de la resistència a la cisalla.

Un altre factor que influeix en la resistència a la cisalla i, per tant, condiciona la ruptura del mantell nival és el **diàmetre i forma dels grans de neu**. Una elevada resistència a la cisalla és resultat d'una combinació geomètrica en què els grans presenten un empaquetament poc porós i hi ha un nombre molt elevat d'unions entre grans per unitat de volum. Val a dir que totes aquestes característiques varien a mesura que passa el temps i el mantell nival es va transformant. Per tant, la resistència a la cisalla i la possibilitat de ruptura del mantell també varien.

Tot i així, per exemple, els grans fins (\*) presenten un empaquetament poc porós i un gran nombre d'unions entre grans per unitat de volum i, com a conseqüència, la seva resistència a la cisalla és molt elevada. Contràriament, els grans amb facetes (▣) o els gobelets (∧) presenten poques unions entre ells i un empaquetament força porós, i la seva resistència a la cisalla és feble. De fet, moltes ruptures es produeixen en capes compostes per aquests grans.

## 2.3. LA DEFORMACIÓ I MOVIMENT LENT DEL MANTELL NIVAL

Els esforços aplicats al mantell nival i les seves propietats de plasticitat i viscositat es tradueixen en moviment i deformació. Amb la deformació lenta del mantell es produeix una repartició dels esforços al seu si, que va evolucionant. Si amb els temps certs esforços esdevenen massa forts en indrets concrets, pot haver-hi ruptura d'una o diverses capes (Sergent, 1993), com s'ha vist als apartats anteriors (2.1. i 2.2.).

La deformació del mantell està en funció del seu pes i de la topografia; es pot descomposar en reptació i lliscament.

### 2.3.1. Reptació

El mantell nival repta constantment, ja que sempre s'està produint motamorfisme i, per tant, reorganització dels grans de neu. Respecte a altres materials, la taxa de reptació de la neu és molt elevada per dos motius: per l'elevada porositat (que permet el moviment i reorganització dels grans) i per ser un material que es troba molt pròxim al seu punt de fusió. De fet, la taxa de reptació s'incrementa exponencialment amb l'augment de temperatura. (Mc Clung i Schaerer, 1993).

La reptació es pot descomposar en una component d'assentament i una de fluència.

## **Assentament**

L'assentament de la neu és provocat per la component del pes de la neu perpendicular al sòl (fig.2.6).

En principi, l'assentament és màxim quan el terreny és horitzontal, i es tradueix en compressió i densificació de mantell. Quant més fort és el pendent, menor és la compressió. Tot i que aquest principi és vàlid, cal considerar sempre l'efecte del metamorfisme de la neu, com es reflecteix a la taula 2.4.

	<b>MANTELL NIVAL</b>	
<b>GRADIENT T<sup>a</sup></b>	<b>BAIX o NUL</b>	<b>ELEVAT</b>
<b>ASSENTAMENT</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>RESULTAT</b>	densificació i enduriment	ni densificació ni enduriment (flux de material cap a capes superiors)

*Taula 2.4.: Conseqüències de l'assentament del mantell, pressuposant que es parteix de tipus de neu que no han sofert metamorfisme o han sofert un metamorfisme reversible.*

L'assentament tendeix a augmentar la cohesió i la fricció entre les diferents capes i augmenta la resistència a la cisalla.

## **Fluència**

La fluència de la neu és la deformació sense ruptura provocada per la component del pes de la neu paral·lela al sòl (fig. 2.6). Quant més acusat sigui el pendent, més important serà aquesta deformació.

És conseqüència de les propietats visco-plàstiques de la neu (Sergent, 1993) i, per tant, depèn del tipus de gra i de la temperatura. Es pot associar a l'esforç de cisalla.

En resum, la relació entre l'assentament i la fluència (que es poden associar a la resistència i l'esforç de cisalla) depèn del tipus de neu i del pendent. Ambdós components tenen el mateix ordre de magnitud en vessants amb pendents favorables al desencadenament d'allaus. Segons McClung i Schaerer (1993), per a una neu de baixa densitat, amb pendents entre 25° i 45°, la deformació per fluència arriba a ser del 60% al 90% de la deformació total per reptació. El pendent, doncs, és un condicionant important per al desencadenament d'allaus de placa.

### 2.3.2. Lliscament

El lliscament és la tercera component de la deformació del mantell nival (fig.2.6). Es produeix freqüentment sobre un sòl llis (rocós o herbós), però també es pot produir entre diferents capes de neu.

Les condicions per a què es produeixi lliscament són l'existència d'una interfase llisa o suau (baixa fricció), el fet que aquesta interfase es trobi pròxima a 0°C (presència d'aigua líquida lubrificant), i que hi hagi un pendent mínim ( $\geq 15^\circ$ ) (McClung i Schaerer, 1993).

La presència d'aigua juga un paper molt important: submergeix les petites rugositats del sòl (o de la capa inferior) i disminueix la fricció; per altra banda, disminueix la viscositat i, per tant, fa augmentar el lliscament

La velocitat de reptació pot assolir alguns mil·límetres diaris a la superfície d'un mantell d'un a dos metres de gruix. En els casos extrems, el lliscament pot ser d'alguns metres diaris (Salm, 1983). Per altra banda, el lliscament es pot produir de manera ben diferent d'un hivern a l'altre ja que, per exemple, el lliscament és considerable si les primeres neus es dipositen sobre un sòl calent de la insolació de tot l'estiu i, en canvi, és molt menor si es dipositen sobre un sòl gelat (Salm, 1983).

A la figura 2.6. es resumeix la deformació del mantell nival segons les seves components.

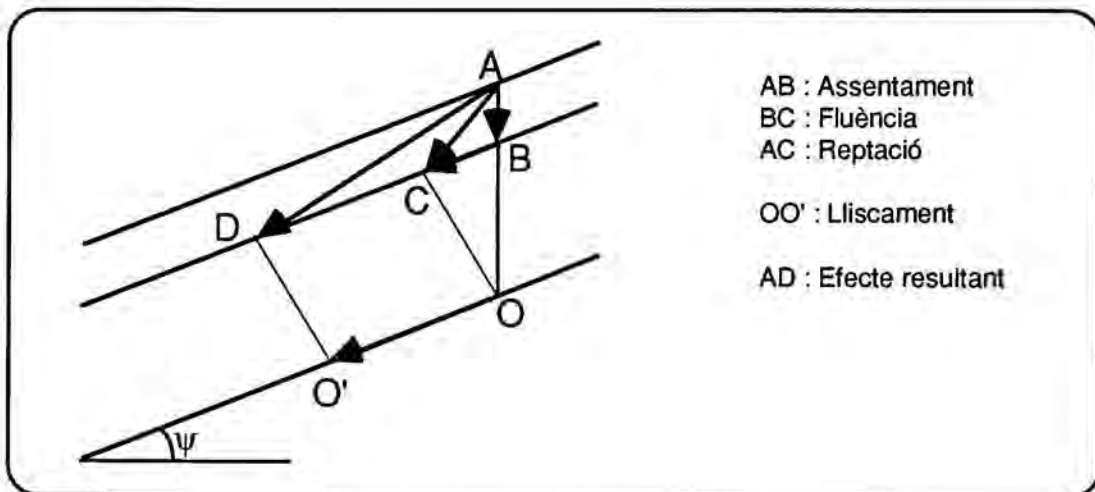


Figura 2.6.: Descomposició dels moviments de la neu en un pendent.  
 (Segons Sergent, 1993).

### 2.3.3. Condicions topogràfiques favorables al desencadenament d'allaus

Per al cas de les allaus sense cohesió, el principal condicionant topogràfic és que el vessant tingui un pendent superior a l'angle de fricció estàtica de la neu. És a dir, les allaus es produiran en vessants amb pendents entre els 28° i 50° (a excepció dels grans "slush", que es desencadenen en vessants de fins a 15°)

Les condicions topogràfiques favorables al desencadenament d'allaus de placa són aquelles que conjuguen un pendent suficient com per a què l'esforç de cisalla pugui provocar ruptura segons un pla de debilitat / lliscament, i una zona de tracció per on la ruptura es pugui propagar perpendicularment al pendent tot donant un cicatriu de coronació de l'allau.

Com a norma general, els esforços que actuen al mantell es reflecteixen en variacions locals de la velocitat de reptació i lliscament. On les velocitats augmenten es produeix una zona de tracció i on les velocitats disminueixen es produeix una zona de compressió. Les zones amb cisalla es produeixen per diferències locals de moviments paral·lels al vessant (Salm, 1983).

A la figura 2.7. s'esquematitzen els jocs d'esforços al mantell nival en les situacions més freqüents a muntanya. Si es produeix ruptura per cisalla i aquesta es propaga per un pla paral·lel al vessant, la fractura superior que individualitza el bloc de neu es produirà en una zona de tracció: en una zona convexa, en una zona d'ancoratge vora una paret, en una zona per sobre d'un engruiximent del mantell (o per sota d'un obstacle com un arbre o una roca), o per sobre d'una capa feble interestratificada.

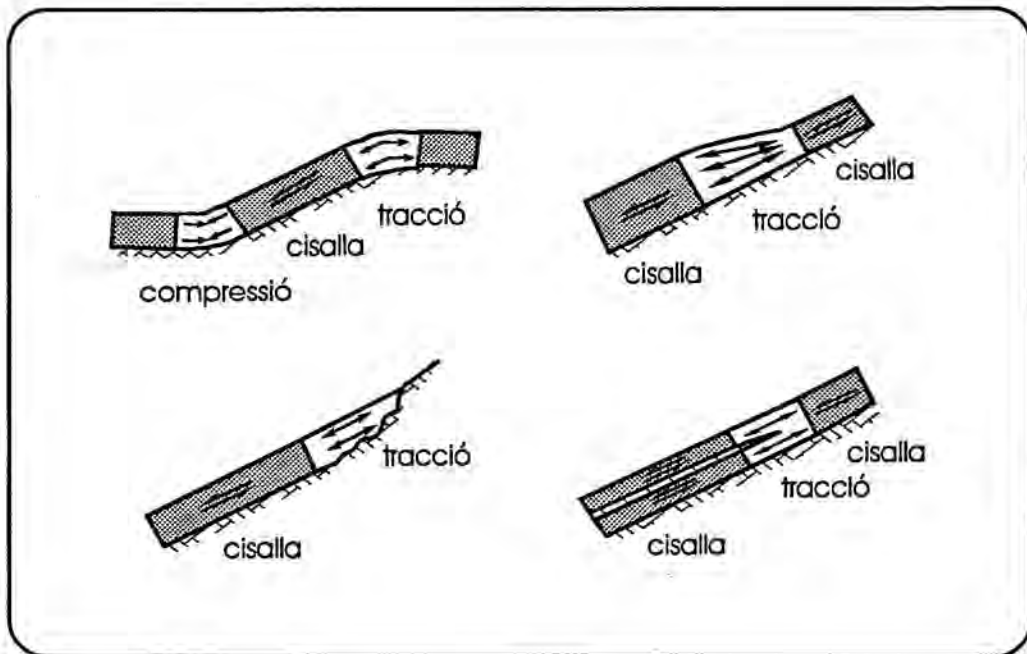


Figura 2.7.: Zones de tracció, compressió i cisalla al mantell nival (Segons Salm, 1983). Les variacions del pendent influeixen de la manera següent:

- En les **zones convexes** les velocitats de reptació i lliscament s'accentuen pendent avall, tot produint **zones de tracció**.
- En les **zones còncaves** les velocitats de reptació i lliscament disminueixen vessant avall, i es formen **zones de compressió**.
- A les zones on es produeix **ancoratge** de la neu per causa d'una rugositat elevada d'una paret es produeix **tracció**.
- Per sobre d'**engruiximents del mantell nival** (per exemple zones amb sobreacumulacions, sota cornises, etc.) es produeix concentració d'esforços i es genera **tracció**.
- Vessant amunt d'una capa feble** que no sigui contínua també es produeix una zona de **tracció**.

Totes aquestes zones de tracció són propícies a que es produeixi la fractura corresponent a la cicatriu de coronació de les allaus.

## 2.4. EL MOVIMENT O DINAMICA DE LES ALLAUS

Una vegada l'allau s'ha desencadenat, la massa de neu es desplaça ràpidament vessant avall, fins que comença a desaccelerar i s'atura. En aquest capítol comentem molt breument les característiques fonamentals d'aquest moviment. Crec que és convenient tenir una idea de la globalitat del funcionament de les allaus a l'hora de cartografiar, ja que pot ajudar a interpretar les traces en el medi natural.

La dinàmica de les allaus, però, és un aspecte que té un tractament específic i és objecte de modelitzacions, essencialment per poder aconseguir bones aproximacions a les velocitats i pressions d'impacte necessàries per al disseny d'obres de defensa.

En el moviment de les allaus es poden distingir, a grans trets, dos estadis: el primer, d'acceleració i manteniment de la velocitat de la massa de neu en moviment, i el segon de desacceleració i aturada. A grans trets, aquests estadis es corresponen a les zones de trajecte i arribada.

### 2.4.1. Zona de trajecte

La zona de trajecte (per a grans allaus) sovint té pendents que varien entre 25° i 10° de la part més alta a la més baixa. La primera conseqüència d'això és que, com que el pendent és fort, l'acceleració de l'allau és ràpida.

Com que la velocitat a la zona de trajecte és relativament elevada, l'allau sol ser poc sensible a les petites irregularitats del terreny.

Una allau, al seu inici pot ser de placa o sense cohesió. En cas que sigui de placa, al llarg del trajecte aquesta es va trencant en fragments cada vegada més petits. Segons sigui la duresa de la placa inicial i la longitud del trajecte, es poden mantenir els fragments fins al dipòsit o es poden arribar a disgregar completament (McClung i Schaerer, 1993).

Els fragments i/o partícules en moviment col·lisionen entre elles i amb la superfície de lliscament de l'allau; aquest fet condiciona l'evolució de l'allau. La dinàmica també reflecteix si la neu del desencadenament i la que es pot anar incorporant al llarg del trajecte és seca o humida.

### **Allaus de neu seca**

Les allaus de neu seca presenten un nucli relativament dens (amb un 10% del volum ocupat per partícules de neu) (McClung i Schaerer, 1993), que té un comportament de flux granular.

Per sobre d'aquest nucli es desenvolupa un aerosol o núvol de partícules en suspensió de densitat molt baixa (aproximadament un 1% del volum ocupat per les partícules). Al front d'aquest núvol es pot crear una ona de pressió d'aire ("frontal air blast") (McClung i Schaerer, 1993).

El límit entre el nucli dens i el núvol de partícules en suspensió està constituït per una capa de partícules en saltació que, de fet, alimenten el núvol (Norem, 1991).

Les forces que governen la velocitat de l'allau depenen de la fricció externa: de la fricció entre el nucli dens i el pla de lliscament (que representa un 90% del total) i entre l'aerosol i l'aire (que representa només un 10% del total) (McClung i Schaerer, 1993). Tot i així la velocitat és prou elevada com per a què la topografia no tngui efecte sobre les allaus de neu seca i la seva trajectòria, en conseqüència, és pràcticament rectilínia.

### Allaus de neu humida

La dinàmica de les allaus de neu humida s'assimila a la d'un flux granular dens. La fricció de les partícules amb el sòl (o amb el pla de lliscament) és molt més important que en el cas de la neu seca (i la fricció amb l'aire és despreciable). D'aquí que la seva velocitat sigui molt menor que en el cas de les allaus de neu seca (McClung i Schaerer, 1993). Per tant, les allaus presenten una trajectòria adaptada a la topografia.

L'evidència de què la fricció és molt més elevada és la incorporació freqüent de roques, partícules de sòl, etc., i la freqüent erosió del sòl que produeix marques de la direcció de flux de l'allau (McClung i Schaerer, 1993)

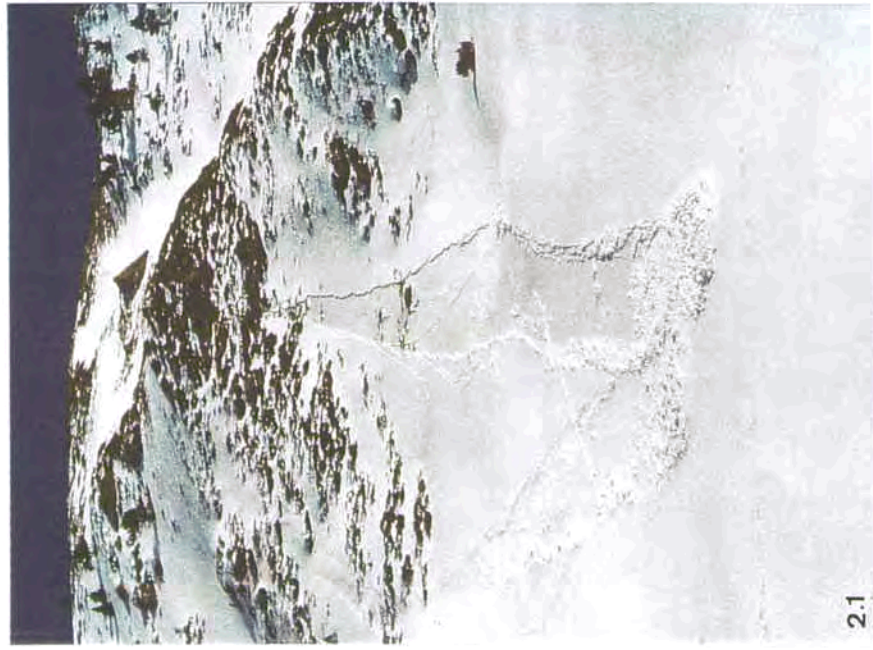
#### **2.4.2. Zona d'arribada**

En aquesta zona el pendent sol ser baix (al voltant dels 10°) i sol tendir a disminuir. Llavors s'assoleix l'angle de fricció dinàmica de la neu en moviment. Per tot això, la desacceleració de l'allau és ràpida. La velocitat esdevé lenta i l'allau esdevé sensible a les irregularitats del terreny (McClung i Schaerer, 1993).

El dipòsit de les allaus és variable. Si és de neu seca, pot ser un dipòsit pulverulent i disgregat (foto 2.1.) o pot ser de blocs si la placa inicial era molt resistent i cohesiva (foto 2.2.). Si l'allau era inicialment de neu humida o ho ha esdevingut, el dipòsit sol presentar boles (foto 2.3.).

Per altra banda, les allaus poden aturar-se al final d'un vessant, poden ocupar un fons de vall, o poden remuntar el vessant oposat, tot produint impactes en la vegetació (vegeu annex 1).

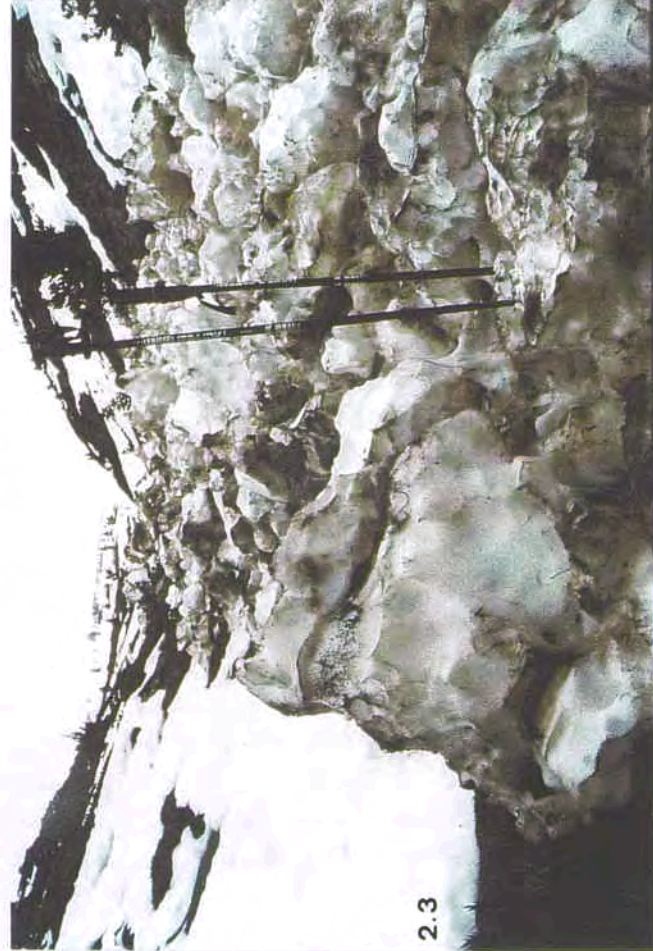




Fotografia 2.1.: Allau de neu recent seca, amb el dipòsit disgregat.  
(Fotografia: Glòria Furdada).

Fotografia 2.2.: Dipòsit d'una allau de placa al vent, en fragments  
angulosos (Fotografia: Glòria Furdada).

Fotografia 2.3.: Dipòsit d'una allau de neu humida, en boles i amb  
contaminació de partícules de sòl (Fotografia Xavier Bosch).



## 2.5. CLASSIFICACIONS I CARACTERÍSTIQUES DE LES ALLAUS

De classificacions d'allaus n'hi ha moltes. Com ja he comentat, les característiques físiques de la neu, els mecanismes de desencadenament, la dinàmica, l'impacte sobre el medi, les dimensions, etc. varien força i de manera contínua, com en tants altres fenòmens naturals. Per tant, segons sigui l'objectiu de l'observació se'n pot utilitzar una o una altra.

En el cas d'aquest treball, enfocat a la cartografia (com a part del cadastre de les allaus; vegeu capítol 3), la classificació que utilitzo és una simplificació de la classificació internacional de la UNESCO, que permet fer èmfasi en els aspectes i característiques que donen més informació sobre la possible localització de les allaus i el seu impacte sobre el medi natural.

### 2.5.1. Necessitat de diferents classificacions de les allaus

La classificació d'un fenomen natural serveix per descriure'l, comprendre els seus mecanismes de funcionament i poder obtenir una informació normalitzada i sistemàtica, útil per a la comunicació entre els experts o amb el gran públic. Així, les diferents classificacions de les allaus tenen sentit segons el propòsit amb què es vol utilitzar la informació recollida.

Una primera observació, des del punt de vista descriptiu, és la dimensió de les allaus. Les petites allaus poden ferir o matar persones o animals, però tenen poques repercussions sobre el medi. En canvi, les allaus de grans dimensions tenen efectes sobre el medi natural i socio-econòmic i, sota una altra òptica, actuen com a reservoris hidrològics.

Per altra banda, si l'objectiu és fer una predicció temporal (quan es poden produir allaus), cal una classificació que, directa o indirectament, aporti informació sobre les condicions d'estabilitat del mantell nival. En canvi, si l'objectiu és solucionar un problema concret de viabilitat o d'ordenació territorial des d'un punt de vista d'enginyeria, el que cal és considerar quina pot ser l'allau extrema en aquell punt concret i, segons la seva dinàmica, quines pressions d'impacte es produiran en diferents punts del seu trajecte.

En aquest treball es consideren les allaus com a fenomen natural amb dimensions diferents, relacionades amb el seu període de retorn. Això permet aproximar el límit de l'allau extrema que es pot produir en una zona concreta (que cal conèixer per a la cartografia) i altres característiques de les allaus en aquesta zona (complement del cadastre).

Tal i com es desprèn de tot aquest capítol i tenint en comte les consideracions plantejades al paràgraf precedent, per aquest treball és útil diferenciar **les allaus de neu sense cohesió, seca o humida, de les allaus de placa, de neu seca o humida.**

A l'annex 7 incloc diverses classificacions d'allaus, útils en funció de l'ús que se'n vulgui fer (per exemple, la classificació segons la clau NIMET té interès de cara a la previsió, mentre que la classificació internacional de la UNESCO, més exhaustiva, té un caràcter morfològic i descriptiu).

### 2.5.2. Característiques

Per començar aquest apartat cal dir que es dóna una gran independència en el comportament de la neu entre les zones de sortida, trajecte i arribada de les allaus (Salm, 1983). Tal i com es desprèn de les diferents classificacions de l'annex 7, són possibles moltes combinacions (una allau que s'iniciï amb neu seca pot acabar produint un dipòsit típic de neu humida, una allau confinada pot esdevenir de vessant obert, i a la inversa, etc). Però també hi ha combinacions impossibles: una allau de neu humida mai pot esdevenir seca, ni una allau contaminada (que arrossegui partícules de sòl, roques o troncs) pot donar un dipòsit net.

Les característiques de cada allau depenen de les particularitats dels factors intrínsecs (lligats a la fisiografia) i extrínsecs (nivo-meteorològics) en cada cas. Tot i així, a continuació faig un resum de característiques simplificat.

En aquest resum faig èmfasi en les característiques la zona de sortida o de desencadenament, que permeten localitzar el límit superior de les possibles allaus. També considero la zona d'arribada, en la que s'observa clarament l'efecte de l'allau o el seu impacte al medi.

De la zona de trajecte no en comento gran cosa, ja que, de manera indirecta, els mecanismes dinàmics d'escolament són conseqüència (com a mínim a l'inici) del desencadenament de l'allau, i es reflecteixen a la zona d'arribada de l'allau. En canvi, en el càlcul de pressions sobre obstacles i disseny d'obres de defensa (aspecte que no tractaré), la zona de trajecte és considerada explícitament.

A continuació, doncs, presento les característiques que he considerat més significatives en el marc d'aquest treball, de les allaus amb sortida puntual (sense cohesió) i de les allaus de placa.

#### Allaus de neu sense cohesió

En general, les allaus sense cohesió, amb sortida puntual, són de petites dimensions i recorregut relativament curt. Tenen poc impacte sobre el medi, amb l'excepció que a vegades es produeixen en boscos poc espessos, tot destruint algun arbre i impeding el normal desenvolupament forestal. En aquest apartat les tracto per la seva relació amb les grans allaus de placa, que sí que tenen un impacte important sobre el medi i permeten la cartografia.

DESENCADENAMENT: SORTIDA PUNTUAL		NEU SECA	NEU HUMIDA
CONDICIONS TERRENY	Topografia:	pendent > angle fricció estàtica	pendent > angle fricció estàtica
MECANISME DESENCADENAMENT	Pèrdua local cohesió (superfície)	Per metamorfisme destructiu ( $\lambda$ )	Per $\Delta^+$ aigua líquida: fusió (ex:vora roques); pluja
CONDICIONS MANTELL NIVAL	Tipus de gra:	+ --> $\lambda$ ; $\star$	O ->Slush (sovint involucren més que la sup. del mantell: tractament com a plaques)
	Densitat:	Baixa => poc massiva	Alta => massiva
CONDICIONS METEOROL.	Temperatures "extremes"	<b>Fred</b> ; no vent (no empaquetament). Metamorfisme lent	<b>Calor</b> (fusió: alt contingut en aigua líquida)
<b>Z. ARRIBADA</b>	Topografia:	pendent < angle fricció dinàmica (=angle fr. estàtica - 10°)	pendent < angle fricció dinàmica (=angle fr. estàtica -10°)
<b>EFFECTES</b>	1. desencadenar allaus de placa de grans dimensions		
	2. impedir la formació d'allaus de placa de grans dimensions (els vessants amb elevats pendents es purquen)		

Taula 2.5.: Resum de les característiques de les allaus sense cohesió. Inclou les característiques de topografia a la zona de sortida, de l'estat del mantell nival i de les condicions meteorològiques propícies, així com les de la zona d'arribada i les seves possibles conseqüències.

Tal i com reflecteix la taula 2.5., les allaus sense cohesió poden ser el desencadenant d'allaus de placa per sobrecàrrega, vessant avall. També, contràriament, poden anar purgant un vessant compromès tot impeding una sobreacumulació important de neu que podria acabar formant una allau de placa de dimensions molt més grans que les de les purgues sense cohesió. En qualsevol cas, cal tenir-les en compte a l'hora d'avaluar l'impacte de les allaus en un vessant.

### Allaus de placa

Les allaus de placa poden ser de petites o de grans dimensions. En aquest apartat considero les que tenen dimensions suficients com per produir un impacte al medi, en el sentit de destrucció de la massa forestal i petites modificacions de la morfologia dels vessants.

En resumeixo les principals característiques a la taula 2.6.

<b>Z. SORTIDA</b>	<b>NEU SECA</b>	<b>NEU HUMIDA</b>
<b>PENDENT</b>	<b>28° - 55°</b>	<b>28° - 40° (flns a 55°)</b>
GRUIX CICATRIU (segons condicions de diposició locals)	0,1 - 2 m gran variació longitudinal	0,1 - 2 m gran variació longitudinal
DENSITAT MITJANA	50 - 450 kg /m <sup>3</sup> (usual 100-350kg/m <sup>3</sup> )	300 - 600 kg /m <sup>3</sup>
TIPUS DE NEU	ventada, cohesiva, ponts gel entre grans	grans rodons o neu fresca humida
RELACIO $\rho$ placa / $\rho$ pla o capa ruptura	75% casos: $\rho$ placa < $\rho$ capa rupt. => la resistència no és funció directa de la $\rho$ , sinó de les imperfeccions al mantell nival	(ruptura per tracció)
DURESA PLACA	de molt tova a molt dura dip. pulverulent --- dip. en blocs	tova
DURESA CAPA FEBLE (resistència)	molt baixa	Pla lliscament "impermeable": ↓ resist. i acció lubricant per H <sub>2</sub> O
PLA LLISCAMENT	sovint base capa feble	capa inferior ± impermeable / sòl
TEMPERATURA PLACA	sovint > 10°C T <sub>a</sub> < 10°C => bon temps (no sobrecàrrega) => Δ <sup>+</sup> viscositat	≈0°C
<b>GEOMETRIA PLACA</b>	<b>extremadament dependent del terreny</b>	<b>depèn del terreny, però sovint 10xgruixxlongitudxamplada</b>
COHESIO	cert grau de cohesió: bloc limitat per fractures	cert grau de cohesió
CAUSA DESECADEN.	SOVINT: sobrecàrrega per precipitació sòlida	sobrec. precipitació sòlida/líquida; densificació placa per fusió
MECANISME	ruptura per cisalla --> rupt. tracció	ruptura per tracció (induïda per lliscament)
ACCELERACIO	molt ràpida	molt ràpida
<b>Z. TRAJECTE</b>		
MOVIMENT (DINAMICA)	nucli flux granular (gruix < 5m) + aerosol partic. suspensió (x.10m)	flux granular dens
FRICCIO	↓ fricció amb pla lliscament (90% nucli/base + 10% aerosol/aire)	↑ fricció amb pla lliscament
VELOCITAT	molt elevada (> 10 m/seg; fins a 100 m/seg)	baixa (sovint < 10 m/seg)
TRAJECTORIA	<b>rectilínia (no s'adapta al terreny)</b>	<b>s'adapta al terreny</b>
<b>Z. ARRIBADA</b>		
DESACCELER.	molt ràpida	molt ràpida
DIPOSIT	pulverulent; en fragments de placa	en "boles" (sovint contaminació per erosió del sòl i vegetació)

Taula 2.6.: Principals característiques de les allaus de placa de neu seca i de neu humida. S'organitzen segon siguin pròpies de la zona de sortida, trajecte o arribada. En negreta faig ressaltar les característiques més importants per a la cartografia. Bona part de les dades incloses en aquesta taula han estat extretes de **The avalanche handbook** (McClung i Schaerer, 1993).

Vull insistir en què aquesta taula és una simplificació. De fet, al llarg del seu descens, una allau pot anar incorporant neu cada vegada més humida (en baixar de cota la temperatura sol ser més elevada i el mantell nival més humit) i, com a conseqüència, pot anar canviant de comportament i adaptant-se cada vegada més a la topografia. Per altra banda, com més seca sigui la neu a la zona de trajecte, més fàcil és que s'incorpori a l'allau i com més humida, més difícil (McClung i Scharer, 1993). Aquests canvis de comportament, evidentment, tenen efectes considerables sobre el medi.

Per a més informació sobre tipus d'allaus i el seu comportament dinàmic es poden consultar els treballs de Vöellmy, 1955; Mears, 1992; McClung i Schaerer, 1993; McClung i Mears, 1995; i l'apartat de dinàmica del volum editat pel CEMAGREF, 1995. Aquests últims treballs contenen molta més bibliografia específica sobre aquest tema.

Fins ara hem vist els principis pels quals es produeixen les allaus. En funció de cada situació particular lligada a la meteorologia, estat del mantell nival i condicions del terreny es produiran diferents tipus d'allau. Evidentment, l'impacte serà diferent segons siguin de neu seca o humida, amb cohesió (de placa) o sense cohesió, etc. (vegeu apartat següent i annex 1).

## 2.6. L'IMPACTE DE LES ALLAUS AL MEDI NATURAL

Com s'ha vist fins ara, les allaus són un procés natural complex que varia molt en les dimensions (les longituds i desnivells usuals al Pirineu varien, com a mínim, d'un ordre de magnitud -entre 200 i 2.000 m-), en les propietats del material i en el comportament. Per tant, el seu impacte sobre el medi natural també és variable.

El medi presenta obstacles al pas de les allaus. Aquests obstacles poden tenir efecte sobre les allaus o poden ser afectats per elles. En el primer cas, poden desviar-ne la trajectòria (ressalts topogràfics, canalitzacions), o poden absorbir part de l'energia de les allaus quan hi topen. En el segon cas, el bosc o els arbres aïllats i les roques (com blocs erràtics d'origen glacial o blocs caiguts per despreniments i/o bolacades des de parets o cingleres) són freqüentment afectats: el bosc és destruït parcialment o totalment, i troncs i blocs poden ser transportats i dipositats vessant avall, a la zona d'arribada de l'allau.

Evidentment, la relació entre les allaus i els obstacles està condicionada per les dimensions de l'allau (un bloc que pot ser mobilitzat per una gran allau pot servir de fre d'una allau de petites dimensions), i el seu impacte sobre la massa forestal està condicionat per les dimensions i període de retorn de l'allau (vegeu annex 1: apartat 3.). Per altra banda, una allau de sortida puntual de petites dimensions, que per ella sola no produiria cap destrucció, pot desencadenar una gran allau de placa vessant avall (per sobrecàrrega), que sí que té efectes sobre la massa forestal.

El transport i redistribució de blocs i sòl erosionat pot modificar molt lleugerament la morfologia dels vessants. A més, els arbres arrencats de socarrel deixen el sòl al descobert i sense protecció de cobertura vegetal, fet que afavoreix l'escolament concentrat de les aigües de pluja, l'inici de l'erosió hídrica i l'establiment d'una dinàmica mixta nivo-torrencial (Mases, 1991), amb els consegüents efectes geomorfològics.

Per altra banda, si tenim en compte que la pressió d'impacte sobre els obstacles és directament proporcional a la densitat i a la velocitat al quadrat de l'allau (Salm, Burkard i Gubler, 1990; Mears, 1992), resulta evident que les grans allaus poden provocar la destrucció del bosc sense perdre gaire energia (el bosc no atura una allau que s'ha desencadenat per sobre del seu límit).

Les allaus neu molla i, per tant, densa, tendeixen a canalitzar-se i a circular per les depressions topogràfiques. Exerceixen elevades pressions d'impacte sobre els obstacles que troben al seu pas per causa de l'elevada densitat i, per tant, tenen una gran capacitat destructiva i de transport. A grans trets, es poden reconèixer per deixar traces en la vegetació que tenen relació amb la topografia i morfologia dels vessants.

Les allaus de neu seca desenvolupen un núvol de partícules en suspensió o aerosol poc dens (que s'alimenta d'un nucli més dens que flueix vessant avall). Adquireixen velocitats molt elevades i la seva trajectòria, pràcticament rectilínia, no es veu desviada per la presència d'irregularitats topogràfiques. Tenen una gran capacitat destructiva deguda a la seva gran velocitat. El seu impacte sobre el bosc no està controlat per les característiques topogràfiques i morfològiques de la zona d'allaus.

La delimitació de les zones de desencadenament de les allaus, especialment per criteris topogràfics (vegeu apartat 2.3.3. i annex 1), i l'impacte de les allaus sobre el medi (destrucció del bosc, lleugera modificació de la morfologia de vessants i fons de vall, etc.) és el que permet reconèixer les zones on s'han produït allaus i per tant, cartografiar-les. A l'annex 1 i al capítol 3 es fa una recopilació sistemàtica de tots els criteris útils per delimitar zones d'allaus, així com una aproximació metodològica a la cartografia, que és el tema central d'aquesta Tesi.

En aquest treball no s'ha considerat l'impacte de les allaus sobre l'organització socio-econòmica del territori, ni des del punt de vista del risc, ni considerant edificacions ni altres infraestructures o obres de defensa com a obstacles que intercepten les allaus o n'impedeixen el seu desencadenament. El motiu, com es comenta al capítol següent, és que es cartografien els límits probables de les màximes allaus ocorregudes. La cartografia que es presenta té un valor de cadastre o inventari i de document de referència. Per tant, cal que s'hi reflecteixi el fenomen en la seves condicions extremes i sense interferències per tal que pugui donar una indicació d'on calen estudis de més detall a l'hora d'abordar, per exemple, els plans d'ordenació del territori a escala municipal.

### 3. CARTOGRAFIA DE ZONES PROBABLES D'ALLAUS

Com hem vist al capítol precedent, les allaus són un fenomen complex. Poden desencadenar-se'n de diferents tipus segons l'estat de la neu i es produeixen amb diferents magnituds i períodes de retorn (des d'inferiors a la durada de l'estació hivernal fins de l'ordre de centenars d'anys). A més, es produeixen sempre en aquelles zones dels vessants que presenten les condicions d'altitud, pendent, morfologia, etc. favorables per al seu desencadenament.

Així, el primer objectiu de la cartografia és realitzar una **predicció a l'espai**, que consisteix en determinar totes aquelles zones en les què, en algun moment durant un llarg període de temps donat, el mantell nival pot esdevenir inestable i, en conseqüència, poden desencadenar-s'hi allaus (Buser et al., 1985).

Per aquest motiu, no tindria cap sentit intentar cartografiar totes les possibles allaus que es poden arribar a produir; això, a més de ser impossible, ja que mai es disposaria de la informació dels límits de totes les allaus ocorregudes, significaria superposar moltíssimes àrees o moltíssims límits d'allaus que es produeixen en una mateixa zona favorable, fet que portaria a confusió (aquest tipus de treball s'ha realitzat en alguns països de l'arc alpí a escala de detall en algunes zones d'allaus, tot indicant la data de cada allau, però no ha demostrat ser un mètode gaire efectiu per a delimitar-ne la possible màxima zona d'arribada; Charlier, com. pers.). Per tant, **es cartografia la màxima envoltant de totes les possibles allaus que s'han produït o que es poden produir en una zona d'allaus determinada.**

Tot seguit passo a comentar breument la metodologia i els criteris que s'utilitzen per reconèixer i cartografiar zones d'allaus i a descriure els documents que se n'obtenen.

#### 3.1. ELS CRITERIS I LA METODOLOGIA DE TREBALL.

Reconèixer les zones d'allaus ha estat de vital importància des de fa molts anys, tant per part de gestors del territori com per part d'esquiadors, alpinistes i altres usuaris de l'alta muntanya. Així doncs, en diversos textos de diferents autors hi ha referències directes o indirectes als criteris d'identificació de zones d'allaus:



Martinelli (1974) fa una primera descripció de les zones afectades per allaus des de l'òptica cartogràfica; indica la utilitat de les observacions sense neu i posa èmfasi en la destrucció de la vegetació per les allaus com a criteri fonamental de reconeixement. Armstrong i Armstrong (1977), LaChapelle (1985), Servei Geològic de Catalunya (1987), Furdada i Vilaplana (1988, 1989), Furdada (1989), Furdada et al. (1989), Walsh et al. (1990), Mases (1991), Mears (1992), Oller (1993) i Pietri (1993) completen l'inventari de criteris cartogràfics.

Des d'un punt de vista més alpinístic i de seguretat a la muntanya, però no per això menys rigorós, Perla i Martinelli (1976), Daffern (1983), Salm (1983), Valla (1983, 1993), Armstrong i Williams (1986) i McClung i Schaerer (1993) també contempen un seguit de característiques dels vessants on es produeixen les allaus.

Els criteris de cartografia de zones d'allaus es poden reconèixer durant les èpoques en què no hi ha neu. Durant l'hivern el mantell nival recobreix el relleu, tot suavitzant-lo i emmascarant les característiques de pendent, rugositat, morfologia, destrosses en la vegetació, etc. que caracteritzen les zones d'allau. Insisteixo en què, tal i com explico a l'annex 1, el que es cartografia són zones d'allaus i no allaus que es produeixen durant l'època hivernal amb presència de mantell nival estacional. És per això que la identificació es fa a terme fonamentalment quan no hi ha neu al sòl, i tota la metodologia de la cartografia està condicionada a aquest factor estacional.

A l'**annex 1** comento extensament la metodologia de treball utilitzada i els criteris de cartografia de zones probables d'allau. En aquest apartat em limito a fer-ne un llistat amb l'únic objectiu d'afavorir la comprensió de l'apartat següent, on discuteixo la llegenda i la fiabilitat de la informació representada.

#### **Metodologia de treball** (adaptada del mètode francès del CEMAGREF, 1981):

- 1. Fotointerpretació** de fotografies aèries verticals (d'estiu i/o tardor).
- 2. Reconeixement de camp** (d'estiu i/o tardor)
- 3. Enquesta** a la població i als treballadors de l'alta muntanya.

#### **Els criteris de cartografia:**

- Directes:** que donen informació sobre les zones d'allaus concretes.
  - Altitud
  - Topografia / pendent del vessant
  - Rugositat del vessant
  - Morfologia del vessant
  - Vegetació

**-Indirectes:** que donen informació sobre l'entorn de les zones d'allaus i la incidència de la meteorologia sobre elles.

- Orientació respecte al Sol
- Orientació respecte als vents dominants

**-Altres criteris: existència d'obres de defensa.**

Com es desprèn d'aquest llistat, per reconèixer zones d'allaus s'utilitzen criteris tant derivats del medi natural (fisiogràfics, geomorfològics, de vegetació,...) com derivats de l'actuació humana en la lluita contra les allaus (que és prova directa i concloent de què en aquella zona s'han produït allaus), ja que qualsevol tipus d'índici aporta informació complementària a l'hora de descriure i delimitar aquest fenomen natural.

## 3.2. ELS DOCUMENTS

L'objectiu de la cartografia de zones probables d'allaus és realitzar la predicció a l'espai, és a dir, obtenir un conjunt de documents que reflecteixin, amb la màxima precisió possible, la probable localització i dimensions màximes del fenomen en un espai de temps llarg (uns 300 anys) (CEMAGREF, 1981; Buser et al. 1985).

Amb la realització de la cartografia s'obtenen dos documents complementaris que conformen el **Cadastre d'Allaus**: el **Mapa de Localització Probable d'Allaus** i el **Registre de Fitxes d'Allaus**. Són el resultat d'un treball a escala mitjana del què s'obté una informació complexa, parcialment gràfica (que es concreta en el Mapa en la seva major part) i parcialment descriptiva (que correspon a la descripció de les zones d'allaus que s'inclouen al Registre de Fitxes) (Furdada i Vilaplana, 1988; Martí i alt., en premsa).

### 3.2.1. El Mapa de Localització Probable d'Allaus.

Com el seu nom indica, el Mapa de Localització Probable d'Allaus és un document gràfic on es delimiten les zones d'allaus. S'hi cartografien les màximes envoltants de totes les possibles allaus que s'han produït o que es poden produir en cada una de les zones d'allaus, zones amb petites allaus, i altres informacions complementàries (vegeu llegenda: fig.3.1).

El terme **Localització**, com insisteixo diverses vegades en aquest mateix capítol i en l'annex 1, no fa referència a allaus concretes observades i cartografiades, sinó al conjunt de característiques del sòl i la vegetació en un vessant determinat que indiquen que en un espai concret s'hi produeixen allaus i per tant, permeten delimitar-lo i cartografiar-lo.

Per altra banda, vull aclarir que el terme **Probable** no té cap implicació probabilística en el sentit estadístic del terme. Només indica que, segurament, s'han produït i es produiran allaus en les zones determinades. Val a dir que, si no hi ha testimonis directes, mai no hi pot haver una certesa absoluta en l'existència d'allaus o, si més no, de les seves possibles màximes dimensions.

**L'escala del Mapa és 1:25.000.** És una escala adequada, ja que permet representar amb força bona resolució les zones d'allaus: les grans allaus que poden presuposar un risc per a les infraestructures humanes sovint tenen desnivells entre els pocs centenars i els dos mil metres, i assoleixen distàncies horitzontals entre els cinc-cents i els dos mil cinc-cents metres (fet directament relacionat amb les dimensions dels vessants i les valls). Per altra banda, és una escala que permet obtenir una visió general sobre àrees de desenes de quilòmetres quadrats i, per tant, és adequada per a la Planificació Territorial d'àmbit comarcal o una mica més petit. Amb això només vull indicar que es tracta d'una escala útil per a un document de base, tot deixant clar que es tracta d'un mapa de localització del fenomen, és a dir, que pot ser considerat un **mapa de perill d'allaus**.

Els Mapes de Localització Probable d'Allaus corresponents a aquesta Tesi s'inclouen a l'**annex 2**.

#### **Llegenda del Mapa de Localització Probable d'Allaus:**

La llegenda del Mapa de Localització Probable d'Allaus és la de la figura 3.1.

El primer que destaca d'aquesta llegenda és que hi ha informacions representades en dos colors diferents com a resultat del mètode de treball utilitzat: Amb carabassa es representa la informació obtinguda per fotointerpretació, i amb violeta l'obtinguda a través del reconeixement de camp i de l'enquesta.

Això ja té una primera conseqüència en la fiabilitat de les dades representades. En primer lloc cal dir que la validesa augmenta progressivament en cada un dels estadis (fotointerpretació, reconeixement de camp i enquesta). La informació derivada de la fotointerpretació té les limitacions pròpies d'aquest mètode (vegeu annex 1) i, en principi, té una validesa d'ordre menor que la resta, representada en violeta.

Per altra banda, la informació en violeta té una fiabilitat variable pel següent motiu: en alguns casos l'enquesta aporta informació que serveix per ratificar els límits de les allaus i en d'altres no; això depèn de si l'àrea que es cartografia és freqüentada o no i de la memòria històrica (vegeu annex 1). Per tant, el color violeta pot comportar valideses diferents, que poden aclarir-se tot consultant el Registre de Fitxes d'Allaus, però que no són evidents només amb l'observació del mapa.

La superposició dels dos colors indica que una zona d'allaus ha estat reconeguda per fotointerpretació i, com a mínim, també al camp. Lògicament, en molts casos una informació ratifica l'altra, però en cas contrari cal no despreciar l'observació obtinguda a través de la fotografia aèria, ja que pot aportar dades no observables al camp per problemes de perspectiva o de recuperació de la vegetació amb posterioritat a la presa de la fotografia, o bé d'error del testimoni.

Al mapa es representen les següents informacions areals, linials i puntuals, tant en carabassa i violeta quan es refereixen a allaus, com en negre quan es tracta d'altres dades:

**-Zones d'allaus:** Es representa amb color ple la màxima envoltant de totes les allaus que poden produir-se en una zona determinada durant un llarg període d'anys.

**-Zones exposades a purgues i petites allaus:** Es representen amb una trama ratllada. Són aquelles àrees on es produeixen purgues i allaus de petites dimensions (inferiors a un o dos centenars de metres de desnivell com a màxim), difícilment cartografiades tant per la seva magnitud com per ser de delimitació complicada (es poden produir en diferents indrets d'un vessant força pendent i no afecten de manera homogènia la vegetació). Impliquen un ordre de magnitud inferior a les zones d'allaus, tot i que cal no infravalorar la seva capacitat destructiva.

**-Allaus canalitzades i zones de circulació preferent:** Es representen amb fletxes. Sovint coincideixen amb canals i talwegs i, en principi, indiquen la traça d'allaus de neu més aviat densa que s'adapten a la topografia del substrat que, per altra banda, són les grans allaus més freqüents al Pirineu de Catalunya.

**-Zones amb deflació i zones amb sobreacumulació de neu:** Es representen amb signes "-" i "+". En general, les zones de deflació corresponen a superfícies d'aplanament o vessants molt exposats als vents dominants de la zona, i les d'acumulació als vessants situats a sotavent dels anteriors. És possible que algunes d'aquestes zones no s'arribin a identificar per manca d'accessibilitat al camp o per manca de criteris definitius amb fotointerpretació. Això vol dir que representen un inventari extens, però no necessàriament complet de tots els efectes de l'acció eòlica sobre els camps de neu.

**-Cornises:** Es representen amb una línia amb triangles adosats, amb un vèrtex en direcció a sotavent. En aquest cas és perfectament vàlida la puntualització feta respecte a les zones d'erosió i sobreacumulació de neu.

**-Contrapendents:** Són elements amb expressió topogràfica perpendicular al recorregut de les allaus. Es representen amb una simbologia linial. Sovint corresponen a cordons morrènics o a barres i llindars rocosos. Tenen importància ja que limiten la màxima extensió possible de les allaus.

**-Ressalts:** Són elements topogràfics perpendiculars al pendent, que es corresponen amb una ruptura de pendent còncava. Es representen amb un símbol linial.

**-Llindars:** Són elements topogràfics perpendiculars al pendent compostos d'un contrapendent i un ressalt.

**-Esperons:** Són elements topogràfics que es disposen paral·lelament al pendent (majoritàriament es corresponen amb esperons rocosos). Poden limitar l'extensió lateral de les allaus i/o canalitzar-les. També es representen amb un símbol linial.

**-Obres de defensa contra les allaus:** En cas que existeixin, es representen amb simbologies linials (barreres de neu, galeries, murs deflectors) o puntuals (tascons de protecció, dents de frenada). La seva presència, per definició, no anul·la cap zona d'allau encara que pugui anul·lar-ne els seus efectes.

#### 3.2.2. El Registre de Fitxes d'Allaus

El cadastre d'allaus està compost per una col·lecció de fitxes i fotografies oblíques que es corresponen amb cada una de les zones d'allaus del mapa per mitjà d'un codi. Aquests codis s'assignen de la manera següent: per a cada allau s'indica la vall principal, la vall secundària on es localitza la zona d'allau, la riba dreta o esquerra i un número de zona d'allau. A la figura 3.2. es presenta l'organització de la vall de Valarties per a l'assignació de codis.

L'**annex 2** inclou la part del cadastre que correspon a les àrees cartografiades que es presenten en aquesta Tesi. Val a dir que des de la seva confecció ja s'ha afegit alguna informació complementària o actualitzada, de la què no en sóc autora directa, que reflecteix la concepció com a banc de dades del cadastre.

**El Registre de Fitxes té una doble funció:** per una banda **inclou una descripció acurada de cada una de les zones d'allau** i per l'altra **recopila tota la informació disponible sobre l'allau al moment de la confecció de la fitxa i a mesura que aquesta es va ampliant i complementant**. La figura 3.3. és un bon exemple d'això: en primer lloc, a la fitxa hi ha el codi de correlació amb el mapa, el desnivell de la zona d'allaus i les seves cotes de superior i inferior, i referències a les fotografies oblíques i verticals corresponents; seguidament es fa una descripció de les característiques morfològiques, de rugositat i de vegetació de les zones de sortida, de trajecte i d'arribada de la màxima o màximes allaus possibles a la zona; per acabar hi ha un apartat d'observacions que permet incloure qualsevol tipus de dada sobre l'allau. En relació amb la fitxa hi ha una fotografia oblíqua d'estiu on es pot veure l'aspecte de la zona d'allaus. A continuació s'adjunten totes les possibles dades que es van obtenint amb posterioritat.

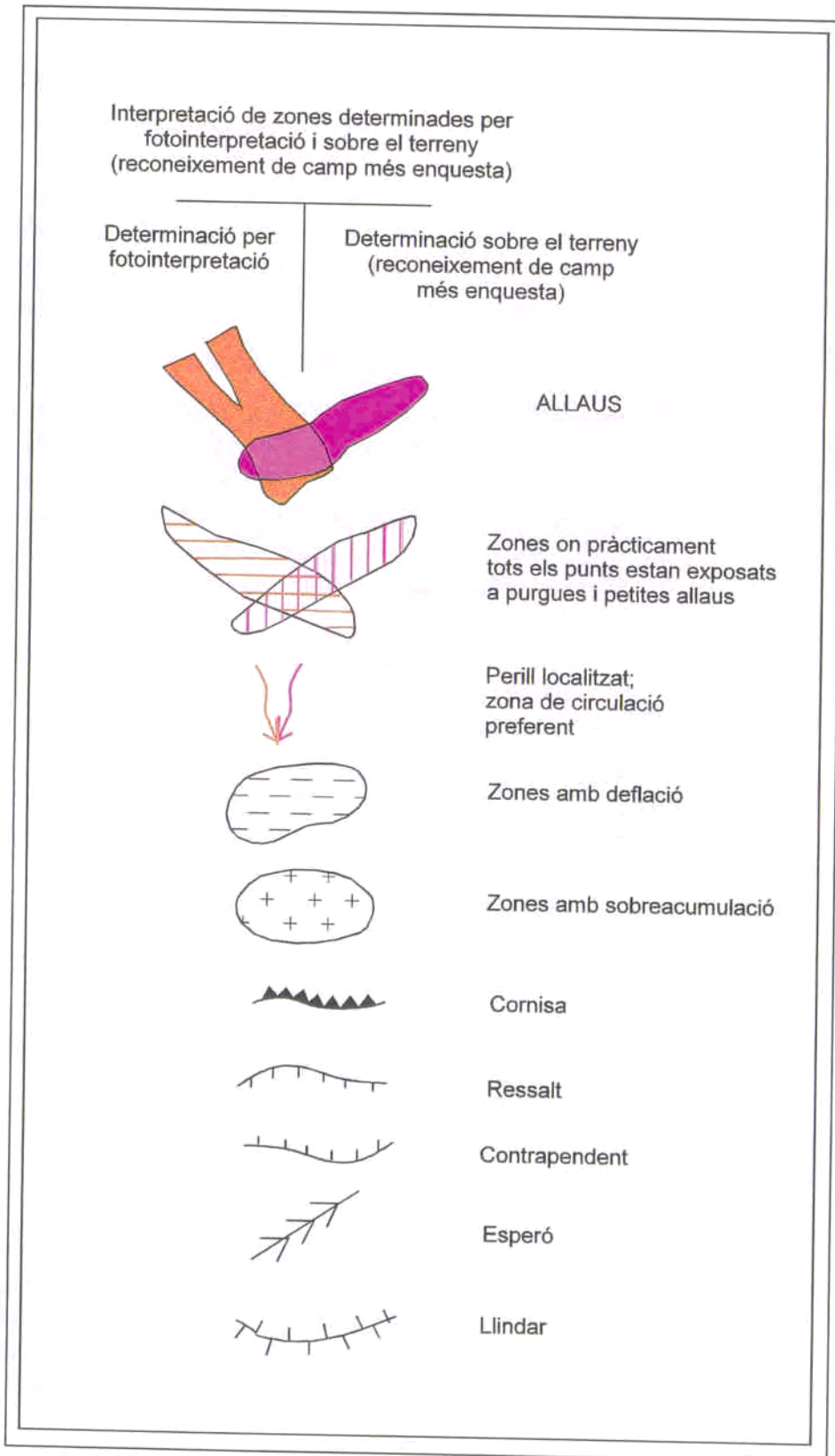


Figura 3.1.. LLegenda del Mapa de Localització Probable d'Allaus.

Tota aquesta informació adicional té un origen directa o indirectament antròpic. El cas més freqüent és l'obtenció d'informació sobre el tipus d'allau o el seu període de retorn a partir de l'enquesta (vegeu apartat 3.1. i annex 1). També s'obté informació a partir d'unes fitxes distribuïdes pel Servei Geològic de Catalunya a tots els Centres Excursionistes, Clubs d'Esquí, refugis, etc. que son retornades amb dades sobre allaus observats o patits pels usuaris de la muntanya; aquestes fitxes, a més de donar indicacions sobre el tipus d'allau, les condicions de neu i meteorològiques i les dimensions de l'allau, en fan una localització precisa, de manera que també serveixen per validar la cartografia. En algun altre cas les dades s'obtenen del reconeixement d'obres de defensa contra les allaus que poden indicar quin tipus d'allau és més freqüent a la zona concreta (com tascons de protecció de pilones i pals elèctrics, que indiquen allaus de neu humida; vegeu annex 1).

El conjunt d'aquestes dades aporta coneixements sobre els **períodes de retorn** de les allaus, que estan relacionats amb la seva magnitud i capacitat destructiva. A més, la informació ordenada i classificada resulta una eina molt útil en cas que s'hagi de fer un estudi o dictamen sobre una zona d'allaus concreta, bé perquè s'hi hagi produït un accident, bé perquè hi hagi un projecte d'ocupació del sòl a la zona d'arribada. Per altra banda, suposa l'existència d'un banc de dades ampli, utilitzable com a document de base en futurs treballs de recerca.

Per acabar, cal dir que totes les fitxes d'aquesta part del Registre han estat informatitzades, tot utilitzant una base de dades dissenyada per en Jordi Gavaldà sobre DBase. Això permetrà, en un futur pròxim, la incorporació d'aquesta base de dades al S.I.G. Arc-Info, de manera que es faciliti la consulta interactiva del cadastre i el mapa, amb tots els avantatges que això suposa de facilitat de relació de la informació gràfica i descriptiva per part de la persona que fa la consulta, de guany de temps, i de possibilitat de fer consultes per mitjà de xarxes informàtiques (fàcil accessibilitat de múltiples usuaris).

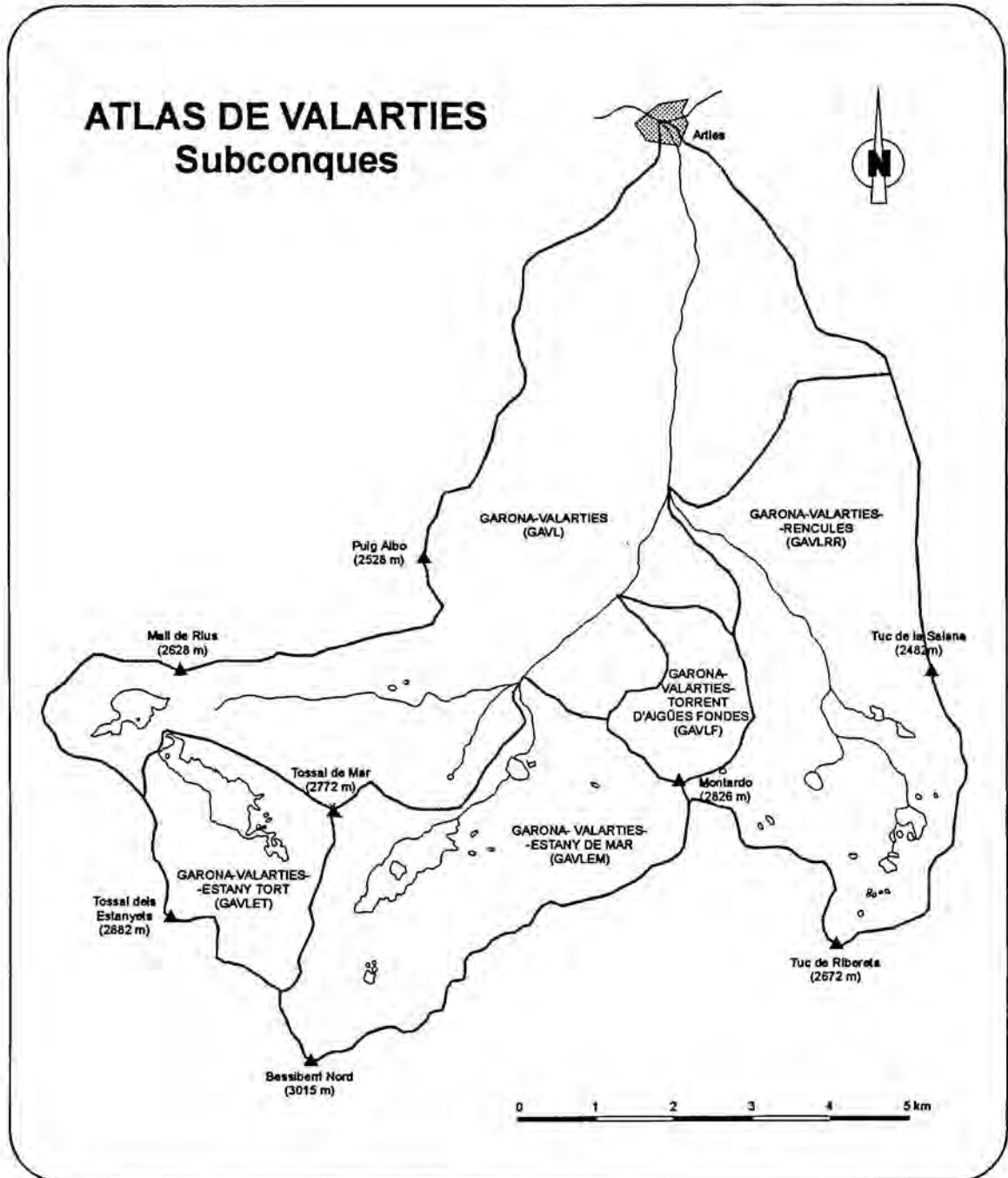


Fig. 3.2.: Organització de la vall de Valarties per a l'assignació de codis a cada una de les zones d'allaus cartografiades. Cada codi reflecteix la val principal (Garona), la vall secundària (Valarties), en els casos que cal, la següent vall o subconca d'ordre menor (Rencules / Torrent d'aigües fondes / Estany de Mar / Estany Tort) la riba dreta o esquerra on es localitza la zona d'allau i el número d'ordre de la zona d'allau.



FITXA INVENTARI DE ZONES D'ALLAUS

CODI: GAV 010

TOPÒNIM: Pala Masilla  
 NÚM. REF.: Carona-Valerlies-010  
 FOTO AÈRIA: Negra F. OBLIQUA: 21-8  
 NÚM. MAPA: 181

DADES GLOBALES  
 COTA SUP.: 2500.0 COTA INF.: 1570.0 DESNIVELL: 930.0 LONGITUD: NÚM. Z. SORTIDA: 1

ZONA SORTIDA:

SUP.:  
 MORFOLOGIA: Zona senyalada  
 ORIENTACIÓ/INCLINACIÓ: 300/

NATURALES DEL TERRENY: Irregular, rocosa amb blocs al fons de les canals

TIPUS DE VEGETACIÓ: /

POSSIBLES CORNISES: S1 SOBRECUMULACIONS: S1 POSSIBLES DEFLACIONS: No  
 TIPUS DE DIVISORI/AVESSANT: cresta

ZONA DE TRAJECTE:

SUP/AMPLADA:  
 MORFOLOGIA: INCLIN.: LONGITUD: COTA SUP.: COTA INF.: 1750.0  
 Zona senyalada, amb canals que converteixen

NATURALES DEL TERRENY: Irregular, rocosa, amb blocs al fons de les canals

TIPUS DE VEGETACIÓ: Herba i arbusta a la zona inferior, molt localment

ZONA D'ARRIBADA:

SUP.:  
 NATURALES DEL TERRENY: INCLINACIÓ: CONS (POSSIBLES DINÀMIQUES): S1  
 Regularitzat; rocalla (terrens)

TIPUS DE VEGETACIÓ: Molt localment herba i arbusta; algun cedrú/foll; algun pi negre malès

AFECTEN BENS HUMANS: Pista de Valerlies

OBSERVACIONS:

- Les cornises són molt petites.
- Les sobrecumulacions són després a sports per una canal lateral a la zona de trajecte.
- Hi ha un con d'estradregallts funcional.

FITXES:

1.-Data: 5-3-09  
 Observat per la gent de Restanca després de que es produís.  
 Temps bo, sense vent.  
 Allau de neu mollis, queda al terra al descobert (rocós i herbós).  
 Té més de 250 metres de desnivell.  
 Zona de sortida: corredor/canal.  
 Zona de trajecte: corredor/canal i vessant obert.  
 Zona d'arribada: vessant obert.  
 Causes de l'origen de l'allau: bonança.  
 Allau de fusió de neu. Sortida suposadament puntual de les canals superiors del Montaró. La canal és la immediatament l'esquerra de la pala del Masilla.

FITXA INVENTARI DE ZONES D'ALLAUS

CODI: GAV 011

TOPÒNIM: Pala Masilla  
 NÚM. REF.: Carona-Valerlies-011  
 FOTO AÈRIA: Negra F. OBLIQUA:  
 NÚM. MAPA: 181

DADES GLOBALES  
 COTA SUP.: 2610.0 COTA INF.: 1630.0 DESNIVELL: 980.0 LONGITUD: NÚM. Z. SORTIDA: 1

ZONA SORTIDA:

SUP.:  
 MORFOLOGIA: Pala a partir de la qual surten cinc canals principals  
 ORIENTACIÓ/INCLINACIÓ: 260/

NATURALES DEL TERRENY: Pala: regular, plana i herbosa; canals incidides herboses

TIPUS DE VEGETACIÓ: Herba

POSSIBLES CORNISES: No SOBRECUMULACIONS: No POSSIBLES DEFLACIONS: No  
 TIPUS DE DIVISORI/AVESSANT: Carena/cresta

ZONA DE TRAJECTE:  
 Tres canals principals

SUP/AMPLADA:  
 MORFOLOGIA: INCLIN.: LONGITUD: COTA SUP.: COTA INF.: 2000.0  
 Tres canals força incidides; a la part baixa hi ha un con

NATURALES DEL TERRENY: Més o menys regular; rocós a les parets; força herba al talweg; a la part baixa rocalla a herba

TIPUS DE VEGETACIÓ: Herba

ZONA D'ARRIBADA:

SUP.:  
 NATURALES DEL TERRENY: INCLINACIÓ: CONS (POSSIBLES DINÀMIQUES): S1  
 Regularitzat

TIPUS DE VEGETACIÓ: Herba i pins d'un metre (a les borses afecta algun bedoll i algun pi i nerres)

AFECTEN BENS HUMANS: Pista de Valerlies

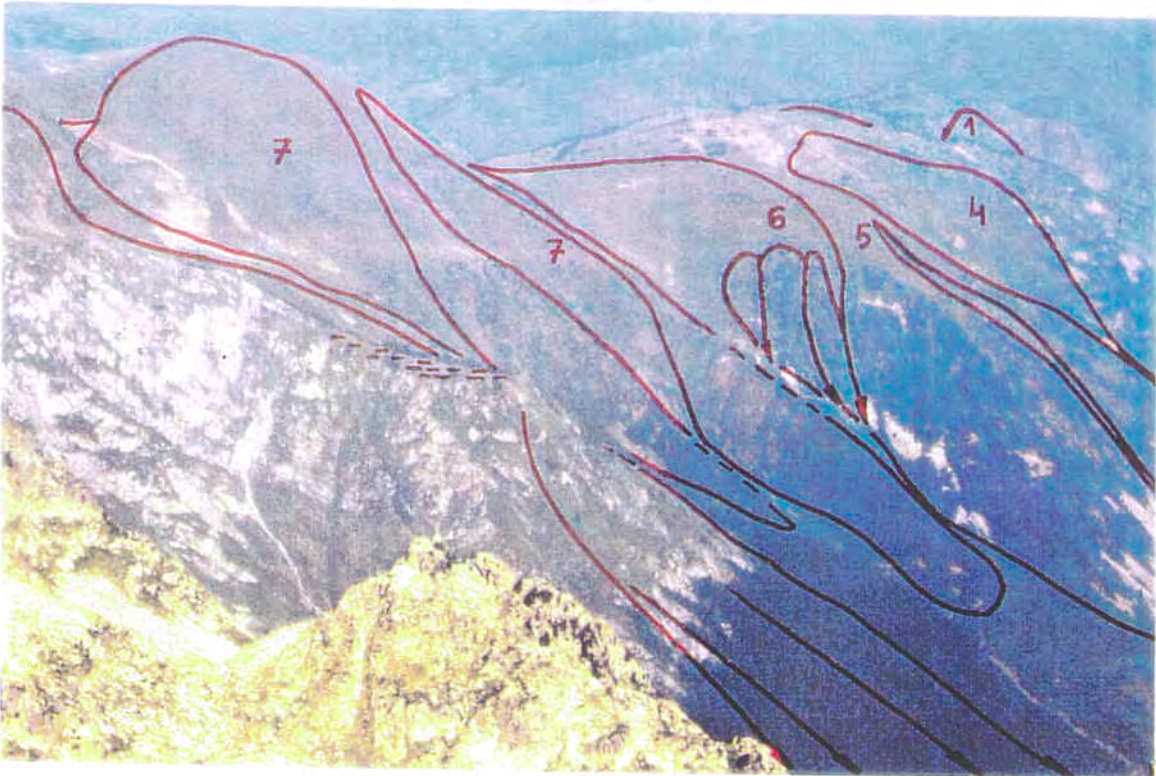
OBSERVACIONS:

- Hi ha dinàmica torrencial i regularització de la part baixa per gelifracces.
- La zona d'arribada de les canals es confon en un sol con, tot afectat.

Figura 3.3.: Registre de Fixes d'Allaus. Exemple de Fixa d'Inventari de Zones d'Allaus de la Vall de Valerlies.



- Garona-Valarties-E1
- Garona-Valarties-E2
- Garona-Valarties-E3
- Garona-Valarties-E4
- Garona-Valarties-E5
- Garona-Valarties-E6
- Garona-Valarties-E7



- Garona-Valarties-E1
- Garona-Valarties-E4
- Garona-Valarties-E5
- Garona-Valarties-E6
- Garona-Valarties-E7

Figura 3.3.: Registre de Fitxes d'Allaus  
Exemple de fotografies oblíques dels vessants

(B)

**DADES PERSONALS DEL QUE COMPLEIX EL REGISTRE**

NOM G.A.S. Tro Armand

62345225 (Pasadís)

PERTANY A ALGUNA ENTITAT EXCURSIONISTA?  SÍ  NO

QUINA? CAIP  SÍ  NO

HAS VIST CAURE L'ALLAU?  SÍ  NO

N'HAS FET FOTOGRAFIES?  SÍ  NO

**DADES DE LA SORTIDA I DEL RETORNA**

DATA 06/04/90 - HORA APPROX. 12:30 h

ESTAT DEL TEMPS

CEL COBERT  SÍ  NO

BOIRA   NO

PLUJA   NO

NEU   NO

TEMPERATURA  0  10  20  30 °C

FRED INTENS   NO

FRED   NO

VENT FORT   NO

VENT   NO

ORIENTACIÓ VENT SE

ENCICLEU EL QUE CORRESPONGUI



**QUAN EL QUE COMPLEIX EL REGISTRE EL GRUP HA ESTÀ FET LA FOTOGRAFIA**

NOMBRE DE MEMBRES DEL GRUP  4  5  6  7  8

HEUJHAS PROVOCAT L'ALLAU  SÍ  NO

US'HTHA ARREPLEGAT L'ALLAU  SÍ  NO

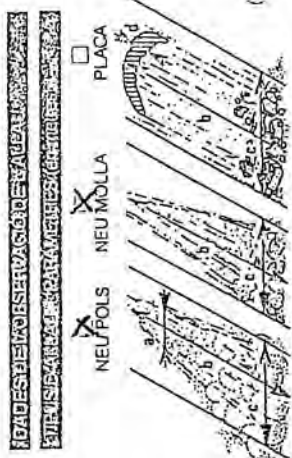
**ACCIDENTALS**

NOMBRE DE FERITS  0  1  2

NOMBRE DE MORTS  0  1  2

(C)

UNIR AMB (B)



a  m b 30 m c 50 m d  m

QUEDA EL TERRA AL DESCOBERT  SÍ  NO

ROCÓS  HERBÓS

ZONA SORTIDA A

ZONA DE TRAJECIE B

ZONA DARRIBADA C

	zona de sortida A	zona de trajecte B	zona d'arribada C
Coll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Cresla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Corrector/Canal	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vessant obert	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Orientació del vessant  N  NE  E  SE  S  SW  W  NW

**CAUSES D'ORIGEN DE L'ALLAU**

SOBRECÀRREGA DE NEU  PLUJA  VENT

BONANÇA

CAIGUDA DE CORNISA

CAIGUDA DE PEDRES

L'HOME  ISARDS  DESCONEGUT

UNIR AMB (C)

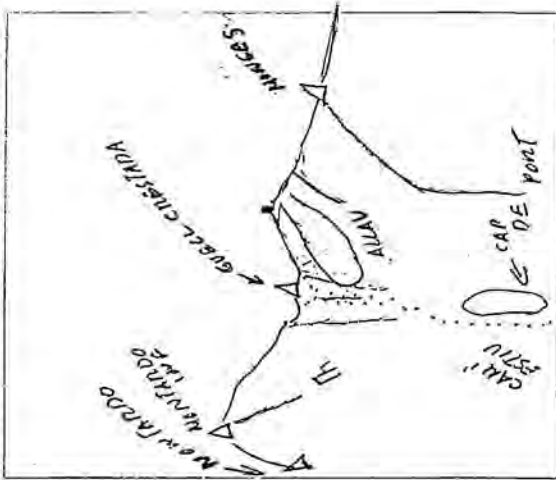
RESPOSTA COMERCIAL  
 Autor. núm. 7702  
 Bac. núm. 39 del 27-3-87



Servei Geològic de Catalunya  
 Apartat núm. 466 F.D.  
 08080 BARCELONA

FRANQUEIG  
 A LA  
 DESTINACIÓ

SITUA DE LA MANERA MÉS EXACTA POSSIBLE LA LOCALITZACIÓ DE L'ALLAU, O BE FES-NE UN GRÀFIC.



Aquesta localització ÉS BÀSICA per a la utilitat de la FITXA.

neu recent humida i sobrecàrrega neu  
ventades (estava encara ventant i nevant)

Figura 3.3.: Registre de Fitxes d'Allaus. Exemple de Fitxa omplerta per un excursionista.

### 3.2.3. La utilitat dels documents obtinguts

En aquest apartat pretenc fer un resum i alhora una reflexió sobre les característiques del Mapa de Localització Probable d'Allaus i del Registre de Fitxes d'Allaus, i l'ús correcte que se'n pot fer.

En primer lloc, vull insistir en què aquest és un mapa de localització d'un fenomen que produeix una inestabilitat natural, és a dir, un **mapa de localització de perill** on es situa i es defineix el perill (encara que no s'avalua). No es fa cap estimació de risc, ja que no es considera la vulnerabilitat socio-econòmica de l'àrea coberta ni es fa cap avaluació de costos d'actuacions de defensa. És un document de base útil de cara a la planificació territorial ja que, per una banda, és el document imprescindible per a qualsevol primera estimació del risc d'una àrea determinada (si no es coneix el fenomen no es pot avaluar el seu impacte), i per l'altra banda, com ja he comentat, per la mateixa naturalesa i dimensions del fenomen el mapa està realitzat en una escala idònia per a l'aproximació d'àmbits municipals o comarcals

En un principi ha de ser una cartografia amb una divulgació restringida als gestors del territori. No està concebuda per ser utilitzada per alpinistes ni esquiadors ja que els pot induir a confusió. En primer lloc, l'escala del mapa pot portar-los a infravalorar les zones tramades (amb purgues i petites allaus), que per a una persona poden ser mortals. El motiu més important, però, és que la possibilitat que es produeixin allaus està també directament relacionada amb les condicions nivo-meteorològiques que es van donant al llarg de l'hivern, condicions que no estan reflectides en absolut al mapa; això implica que a l'hora de dissenyar una ruta d'esquí cal tenir en compte els butlletins meteorològics i de risc d'allaus i, en conseqüència, adaptar el recorregut a les condicions d'exposició i pendent del terreny i al nivell dels participants. Les zones d'allaus delimitades als mapes sovint reflecteixen allaus amb llargs períodes de retorn i, per tant, que difícilment afectaran els alpinistes i esquiadors.

Complementàriament al mapa, el Registre de Fitxes d'Allaus implica la possibilitat de validar, ampliar i complementar els registres d'allaus. Es tracta d'una informació adicional molt útil, però per causa dels seus canals d'obtenció, inhomogènia. Cal tenir en compte això en utilitzar-la per tal de no fer-ne interpretacions errònies ni falsejades.

En un futur pròxim el Registre de Fitxes ha de ser integrat en una base de dades georeferenciada pròpia d'un S.I.G., és a dir, en el nostre cas, en una base de dades relacional que operi amb Arc-Info. Això permetrà tractar de manera sistemàtica i amb objectius de recerca, totes aquelles dades descriptives de les zones de sortida, trajecte i arribada de les allaus que han estat recopilades de totes les zones. Alhora, facilitarà la consulta de qualsevol tipus de dada, sistemàtica o no, referenciada a qualsevol zona d'allau numeritzada.

El conjunt de Mapa i Registre de Fitxes constitueix una eina útil de cara a recopilar més informació de manera més sistemàtica. Efectivament, fragments de mapa amb les seves

fitxes corresponents són ja actualment distribuïts a guardes forestals, estacions d'esquí i guardes de refugi que freqüenten amb assiduïtat una àrea determinada. Les seves observacions inclouen les dates, magnituds (cotes d'arribada aproximades) i tipus d'allaus. En un futur, totes aquestes dades seran fonamentals per determinar els períodes de retorn de les allaus i, com a conseqüència, per fer estimacions acurades de risc. Per altra banda, la seva correlació amb situacions nivo-meteorològiques concretes també podrà incrementar la fiabilitat de les prediccions temporals de perill d'allaus.

Finalment, torno a insistir en què l'elaboració del Mapa i del Registre de Fitxes són un mitjà molt útil de formació d'especialistes en l'anàlisi i avaluació de les conseqüències d'allaus extraordinàries, alhora que constitueixen una documentació quasi imprescindible per a aquest/a especialista al moment d'abordar un problema concret.

## 4. CARTOGRAFIA NUMERICA

En aquest capítol tractaré de la numerització de la cartografia de Localització Probable d'Allaus. Es, doncs, imprescindible fer referència al sistema utilitzat per dur a terme aquesta numerització (el S.I.G. Arc/Info) i a com s'entenen i s'estructuren les dades (en aquest cas les allaus) des de l'òptica d'aquest sistema informàtic.

### 4.1. QUE ES UN SISTEMA D'INFORMACIO GEOGRAFICA (S.I.G.)

#### 4.1.1. Conceptes associats i definició.

En aquest capítol cal considerar les zones d'allaus des d'una òptica diferent a la que hem utilitzat fins ara. Cal considerar-les com a entitats o objectes amb una localització geogràfica definida per una sèrie de coordenades que ens permeten identificar-les i que, a més, presenten una sèrie de característiques o atributs temàtics.

Segons Didion (1990), la informació geogràfica designa tota aquella informació relativa a un punt o a un conjunt de punts espacialment referenciats a la superfície de la Terra i és d'importància primordial per a tots aquells que han de gestionar un espai o objectes dispersos en un espai donat. Les zones d'allaus representen una informació referida a zones en l'espai i, per tant, poden ser considerades com a **dades georeferenciades**.

La informació georeferenciada pot presentar caracter discret o continu (E.S.R.I., 1992). Els elements discrets són discontinus i presenten límits ben definits, com ara zonacions, classificacions de sòls, tipus de litologia, zones d'allaus, etc. Les seves propietats o atributs varien clarament quan es traspassa el límit de l'objecte (ex.: zona d'allaus / zona sense allaus; calcàries / gresos). Aquests tipus de dades són representats segons una escala de mesura que permet assignar símbols a les entitats o objectes georeferenciats en funció de les seves variables temàtiques o atributs; els diferents nivells de mesura són: nominal, ordinal, d'interval i de raó, i es determinen en funció del nombre de relacions matemàtiques que és possible establir entre les diferents modalitats d'una característica temàtica real observable (Bosque, 1992). Els mapes d'elements discrets poden ser representats com a mapes de dades temàtiques, on aquestes dades es poden assimilar fàcilment a àrees, línies o punts del mapa. Els Mapes de Localització Probable d'Allaus en són un bon exemple.

En canvi, els elements continus no són espacialment discrets. Poden ser representats com a superfícies contínues, en general sense canvis bruscos. Normalment, la transició entre possibles valors en una superfície contínua es produeix sense canvis abruptes o ben definits entre els valors. Un exemple de dades contínues pot ser la quantitat de pluja, la concentració de pol·lució o l'elevació del terreny o topografia. Els valors d'elevació d'una superfície són continus al llarg de tota la superfície (infinits), de tal manera que qualsevol representació d'aquesta inclourà només un subconjunt de tots els seus valors. Aquests valors s'emmagatzemen com a **valor de z**, és a dir, com a única variable de dimensió vertical referida a un parell de coordenades **x, y** (E.S.R.I., 1992). D'aquest tipus de dades, en concret de la topografia, en tractaré més extensament al capítol 5.

Un útil potent per al tractament de les dades georeferenciades són els **Sistemes d'Informació Geogràfica**. Aquests han d'estar en condicions de manejar tant les característiques espacials dels objectes gràfics (la geometria o localització absoluta, i la topologia o relacions qualitatives entre ells) com els aspectes temàtics associats als objectes o unitats d'observació (Bosque, 1992). Es a dir, que un S.I.G. no emmagatzema una representació particular de dades i fenòmens geogràfics, sinó que emmagatzema les mateixes dades. A continuació incloc algunes definicions de S.I.G.; les dues últimes són les que em semblen més completes i per això les he ressaltat en negreta:

**BURROUGH (1986):** Conjunt potent d'utils per a agrupar, emmagatzemar, extreure a voluntat i visualitzar dades espacials del món real per a un conjunt particular d'objectius.

**CEBRIAN & MARK (1986):** Base de dades computeritzada que conté informació espacial.

**Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (1989):** Sistema informàtic que permet, a partir de diverses fonts, agrupar i organitzar, gestionar, analitzar i combinar, elaborar i presentar informacions localitzades geogràficament, que contribueixen notòriament a la gestió de l'espai.

**BRACKEN & WEBSTER (1990):** Tipus especialitzat de base de dades que es caracteritza per la seva capacitat per manejar dades geogràfiques, és a dir, espacialment referenciades, les quals es poden representar gràficament com a imatges.

**DIDION (1990):** Sistema informàtic de gestió i de tractament d'informacions localitzades. En sentit ampli, un S.I.G. comprèn el conjunt de les dades georeferenciades numèriques relatives a una aplicació així com el programa que les manipula. En sentit restringit, el S.I.G. designa únicament els utils informàtics.

**BOSQUE (1992):** Tecnologia informàtica per gestionar i analitzar informació espacial.

**E.S.R.I. (1987): Col·lecció organitzada de hardware i software informàtic, dades geogràfiques i personal format per capturar, emmagatzemar,**

**actualitzar, manipular, analitzar i representar qualsevol tipus d'informació georeferenciada, de manera eficient.**

**N.C.G.I.A. (1990): Sistema de hardware, software i procediments informàtics elaborats per facilitar l'obtenció, gestió, manipulació, anàlisi, modelització, representació i sortida de dades espacialment referenciades, per resoldre problemes complexos de planificació i gestió.**

Segons aquestes definicions, les capacitats que ha de presentar un SIG són les següents:

**A. AUTOMATITZACIO I MANEJAMENT DE DADES:**

- Captura de les dades.
- Codificació de dades espacials i descriptives.
- Verificació i correcció d'errors i imprecisions derivades del procés de captura.
- Pretractaments com creació de topologia (vegeu ap. 4.2.1), conversions de format, etc.

**B. MANIPULACIO I ANALISI:**

- Combinació de diferents bases de dades georeferenciades.
- Realització d'operacions espacials (superposicions i interseccions de dades espacials, generació d'àrees envoltants a zones donades, etc).
- Modelització de la realitat geogràfica.

**C. GESTIO DE LES DADES:**

- Emmagatzematge.
- Extracció d'informació / interrogació de la base de dades.
- Actualització de la informació, tant gràfica com descriptiva.

**D. RESTITUCIO DE LES DADES:**

- Producció de còpies de seguretat.
- Producció de mapes i imatges gràfiques.
- Representació per pantalla.
- Impressions.

Conseqüentment, les aplicacions d'un S.I.G., segons un ordre de complexitat creixent, són la cartografia de dades espacialment referenciades, la gestió d'aquestes dades, la seva anàlisi (que permet generar noves dades a partir de les ja existents) i finalment la modelització en l'espai (Didion, 1990).



## 4.2. EL S.I.G. ARC/INFO.

El S.I.G. Arc/Info està disponible a la Divisió III de la U.B. i és el que s'ha utilitzat per aquest treball. Arc/Info està instal·lat sobre el servidor "natura.geo.ub.es" (SUN SPARCserver, sist. operatiu UNIX, amb 64 Mb de memòria i amb discs intern i extern d' 1,3 Gb); aquest servidor està connectat a la xarxa INTERNET amb el número 130.206.15.99 i és accessible des de qualsevol altra terminal compatible: estacions de treball connectades, com l'estació de treball "marina.geo.ub.es" des d'on s'ha realitzat una bona part del treball (Sun SPARCstation, amb sistema operatiu UNIX) o des de qualsevol ordinador personal connectat a la xarxa (tot i que aquests no permeten la utilització dels mòduls d'arc/info d'edició i consulta gràfica).

Arc/Info està basat en una concepció general de S.I.G. Consisteix en un model de dades espacials i un conjunt d'operadors que permeten tractar les dades (Morehouse, 1992).

La major part d'aplicacions d'Arc/Info tracten informació geogràfica discreta. El mode de representació vectorial (que és el que utilitza més Arc/Info) resulta molt apropiat, ja que representa els objectes espacials tot codificant de manera explícita els seus límits o fronteres (límit o perímetre que separa l'objecte de l'entorn). Les línies que actuen de fronteres es representen per mitjà de les coordenades dels punts o vèrtex que delimiten els segments rectes que les formen (Bosque, 1992). D'aquesta manera, els objectes georeferenciats es representen per mitjà de punts, línies i polígons que els defineixen i delimiten (fig. 4.1).

Cada un dels elements, cada punt, cada línia i cada polígon està definit segons la seva posició geogràfica i geometria (segons coordenades, en aquest treball coordenades UTM) i segons les seves relacions espacials amb els altres elements o topologia. A aquests elements s'afegeixen les seves variables o característiques temàtiques, també anomenades atributs. Tota aquesta informació s'emmagatzema de maneres diferents i ha de ser gestionada.

A continuació es descriu de manera senzilla l'estructuració de tota aquesta informació en bases de dades i els principis bàsics per a la seva gestió.

### 4.2.1. El model de base de dades híbrid d'Arc/Info (model de dades espacial i base de dades relacional).

De tot el que he comentat fins aquest moment es desprèn que Arc/Info està estructurat de manera que pot tractar per una banda dades de localitzacions dels objectes i per altra banda dades temàtiques. Tal i com descriu Morehouse (1992), Arc/Info va ser dissenyat tot utilitzant un model de base de dades híbrid: Les dades de localització es representen segons un model de dades topològic ("Arc" es refereix als algorismes i estructures de dades topològiques), i les dades temàtiques es representen segons el model relacional ("Info" es refereix a les estructures de dades tabulars i als algorismes per a tractar-les).

### Els elements gràfics

Tal i com he comentat anteriorment, es fa una abstracció dels elements o objectes georeferenciats, que es representen segons tres tipus bàsics d'elements gràfics (Cuevas, com. pers.; E.S.R.I., 1992):

-PUNTS: són localitzacions discretes sobre un mapa; defineixen objectes amb una superfície massa petita per ser representada com una línia o una àrea. També poden representar punts sense dimensions, com per exemple cotes topogràfiques. Es representen per un parell de coordenades  $x,y$  (fig. 4.1).

-ARCS o línies: són conjunts ordenats de parells de coordenades que defineixen una forma linial o un objecte massa estret per ser representat com una àrea. Cada arc és un conjunt de segments rectes (definitos per vèrtex o parells de coordenades) delimitats per un node inicial i un node final (els nodes són els vèrtex terminals d'un arc o línia i també els vèrtex on es creuen 3 o més arcs, i estan definits com un parell de coordenades  $x,y$ ) (fig. 4.1). Els arcs també poden representar objectes unidimensionals, com corbes de nivell.

-POLIGONS o àrees: són formes tancades; el seu perímetre tanca i inclou una superfície homogènia. De fet, són conjunts d'arcs on el primer node del primer arc coincideix amb l'últim node de l'últim arc que tanca el polígon. Cada polígon ve referenciat pel seu identificador (fig. 4.1).

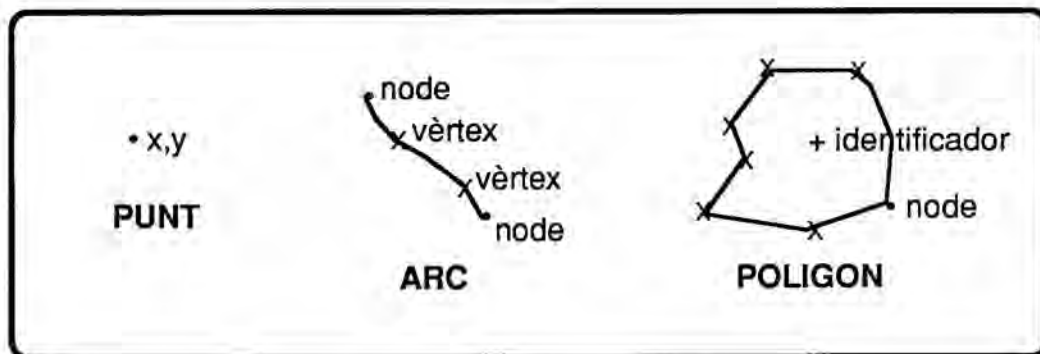


Fig. 4.1: Representació de punts, arc i polígons.

Com ja he citat, la descripció dels objectes espacials ve donada per:

-**La seva posició a l'espai**, és a dir, la posició geogràfica de les seves coordenades en un sistema cartesià de coordenades i la geometria de l'objecte definida per aquestes. En aquest cas es tracta de coordenades UTM, que determinen els vèrtex i nodes dels punts, arcs i polígons.

-**Les seves relacions espacials amb altres objectes o topologia**, que definiré tot seguit.

-**Els seus atributs temàtics**, que s'organitzen segons un model de base de dades relacional.

### **El concepte de topologia**

La **topologia** és un procediment matemàtic que defineix explícitament les relacions entre elements gràfics; en Arc/Info, aquestes relacions són de :

-**connectivitat**: els arcs connecten entre si per mitjà de nodes (comparteixen un node).

-**contigüitat**: els arcs tenen sentit (el que implica un node inicial i un node final) i banda dreta i banda esquerra.

-**definició d'àrea**: els arcs que queden connectats entre si i tanquen una àrea defineixen un polígon.

Així, les dades geogràfico-geomètriques i de topologia que permeten representar gràficament punts, línies i polígons s'emmagatzemen en fitxers tabulars (fitxers de coordenades i fitxers on s'explicita quin element es troba a la dreta i a l'esquerra de l'element considerat, etc.). A cada element gràfic li correspon un identificador únic, utilitzat per establir la relació entre els diferents fitxers

### **Base de dades relacional**

Per a la descripció dels atributs temàtics dels objectes georeferenciats és evident que el model de descripció espacial dels objectes no és útil. Per aquest motiu les dades temàtiques o atributs s'emmagatzemen segons un model de base de dades relacional.

En una base de dades relacional, les dades s'emmagatzemen tot formant les anomenades "relacions", que en realitat són taules quadrangulars formades per files (registres) i columnes (camps). Normalment, una base de dades està composta per moltes d'aquestes taules (Bosque, 1992), que són independents entre elles alhora que estan relacionades entre elles implícitament (Didion, 1990), segons veurem a continuació.

Es a dir, les dades descriptives s'organitzen lògicament en taules (Cuevas, com. pers.). En aquestes taules cada fila o registre correspon a un element gràfic, i cada columna o camp a

una característica o atribut dels elements gràfics, de manera que a cada fila o registre s'emmagatzema la informació temàtica d'un element gràfic. Cada un dels elements gràfics (punts, línies i polígons) té associat un identificador únic.

Aquests identificadors únics per a cada element són els que permeten identificar i relacionar la informació sobre el mateix element que pugui estar continguda en diverses taules. En Arc/Info, físicament aquest identificador únic de cada element gràfic s'emmagatzema en dos llocs: en els fitxers que contenen els conjunts de parells x,y que descriuen espacialment l'element i en la taula d'atributs (Cuevas, com.pers.). A més, el S.I.G. crea i manté automàticament aquesta relació.

A l'apartat següent comento què és una cobertora o unitat bàsica d'informació d'Arc/Info i com s'estruccura tota la informació espacial i temàtica en la cobertora segons aquest model híbrid espacial-relacional.

#### **4.2.2. Les cobertores.**

Una cobertora és la unitat bàsica d'emmagatzemament de dades en Arc/Info (Morehouse, 1992). Es pot comparar amb un full d'un mapa convencional, o fins i tot amb un fotòlit, ja que defineix la localització i els atributs temàtics dels elements d'una certa àrea geogràfica.

Una cobertora consisteix en elements geogràfics relacionats topològicament, amb les seves dades descriptives associades, i tot plegat emmagatzemat com un mapa automàtic (E.S.R.I., 1992). Es tracta, doncs, de "capes" d'informació temàtica (com poden ser la topografia, la xarxa de drenatge -linial-, els cossos d'aigua -areals-, les zones d'allaus, els usos del sòl, etc.). Aquestes "capes d'informació" es poden superposar. La superposició pot ser simplement gràfica (per produir mapes en paper) o pot ser topològica, el que implica operacions espacials que generen nova informació.

Els elements gràfics d'una cobertora inclouen punts (que poden tenir una funció d'etiquetes o identificadors), arcs, nodes i polígons (que ja he definit a l'apartat anterior 4.2.1), i tics i anotacions (fig. 4.2) (també hi ha rutes i seccions, de les que no parlaré perquè no han estat utilitzades en el present treball).

Els tics són punts de control geogràfic de la cobertora (representen punts de la superfície de la Terra amb coordenades conegudes). Permeten que diferents cobertores puguin ser enregistrades segons un sistema de coordenades comú (Morehouse, 1992) (en aquest cas, l'UTM).

Les anotacions, com el seu nom indica, són textos utilitzats per etiquetar els mapes en les seves representacions en paper. No tenen cap paper en l'anàlisi espacial (Morehouse, 1992).

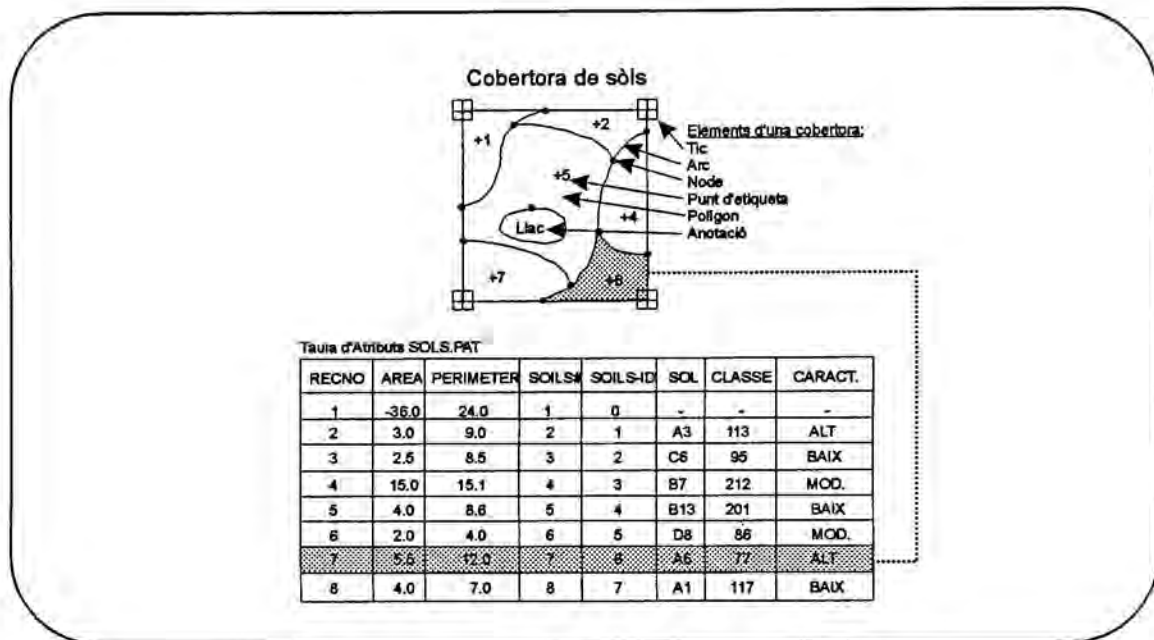


Figura 4.2.: Elements d'una cobertura i la seva taula d'atributs (Segons ESRI, 1987).

Tots aquests elements s'emmagatzemen en diferents fitxers, que permeten la seva representació gràfica, bé per pantalla, bé sobre paper. Els fitxers que es generen automàticament en crear una cobertura (elements gràfics i topologia) són els següents (tot i que n'hi poden haver molts d'altres d'adicionals):

- .BND - coordenades mínima i màxima de la cobertura (en defineix els límits).
- .TIC - coordenades dels tics i els seus identificadors.
- .ARC - coordenades dels arcs i la seva topologia.
- .PAL - topologia dels polígons (si n'hi ha a la cobertura).
- .LAB - coordenades de les etiquetes o punts i la seva topologia (si n'hi ha a la cobertura).
- .AAT - taula d'atributs d'arcs (si es genera topologia d'arcs).
- .PAT - taula d'atributs de punts o de polígons (si es genera topologia de punts o bé de polígons).

Els fitxers on hi ha definides les relacions topològiques són fitxers binaris, no accessibles ni directament modificables per l'usuari d'Arc/Info.

Els fitxers que contenen la informació descriptiva o temàtica de les cobertores són les taules d'atributs (.AAT i .PAT). Aquestes taules d'atributs, tal com he comentat, es generen automàticament en crear la topologia de la cobertura. Les taules d'atributs consten de files (una per a cada element gràfic) i columnes d'atributs (vegeu apartat anterior 4.2.1). Per a cada

element (cada fila) es creen automàticament els següents camps o ítems (fig.4.2): número de registre, alguna de les característiques de l'element gràfic (per exemple, per als polígons el valor de la seva àrea i del seu perímetre), **el seu identificador intern, únic per a cada element** (id#, assignat automàticament i que no s'ha de modificar mai per l'usuari), i un identificador d'usuari. Tots els registres consten del mateixos camps o ítems, que estan definits segons el tipus i el nombre de bytes utilitzats per emmagatzemar-los.

Evidentment, aquestes taules d'atributs poden ser editades i es poden afegir tants atributs temàtics com convingui (fig. 4.2); en el cas de les cobertores de zones d'allaus, per exemple, s'afegeix si han estat identificades per fotointerpretació o al camp, etc. (vegeu apartat 4.3.1).

Tal i com hem vist a l'apartat anterior, aquest identificador intern **id#** s'emmagatzema físicament tant a la taula d'atributs com als fitxers de topologia i coordenades, fet que permet establir i mantenir la correspondència entre les dades espacials o gràfiques i les descriptives o tabulars. Això fa de les taules d'atributs part integral de les cobertores, de manera que les taules d'atributs són processades cada vegada que es processa una cobertura. L'existència d'aquesta estreta relació entre les dades espacials i les descriptives és el que fa d'Arc/Info (i dels S.I.Gs. en general) un útil informàtic tan potent (E.S.R.I., 1992).

#### **4.2.3. L'estructuració de l'espai de treball i l'emmagatzematge de la Informació numeritzada.**

En Arc/Info l'espai de treball s'estructura en els anomenats "workspaces" que, literalment, vol dir "espais de treball".

Un workspace és simplement un directori que conté una o més cobertores. A més de les dades de localització dels elements de les cobertores, un workspace té una base de dades INFO que conté les taules d'atributs de les cobertores així com qualsevol altra taula d'atributs relacionada. Els workspaces permeten organitzar les cobertores convenientment, en grups que guarden relació. Per altra banda, tot i que cada workspace és completament independent, l'estructura de comandes d'Arc/Info és suficientment flexible com per permetre que es puguin usar conjuntament cobertores estocades en workspaces diferents (Morehouse, 1992).

Per aquest treball, l'espai de treball s'ha organitzat tal com s'indica a la figura 4.3. Com que es disposava de fitxers de corbes de nivell que coincideixen amb els fulls topogràfics 1:50.000 (sèrie L) de l'I.G.N. (vegeu apartat 4.3.2), s'ha creat un workspace per a l'extensió de territori coberta per cada un d'aquests fulls, on s'ha emmagatzemat tota la informació d'allaus i relacionada d'aquestes àrees. Així, s'han creat els workspaces canejan, bossost, benasc, isil, esterri i sort, que finalment s'han simplificat en boscan (bossost + canejan), benasc, isil i esterri

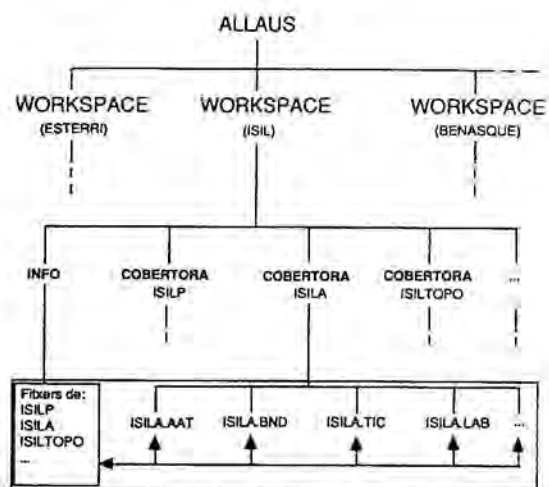
(que inclou sort). En cada un d'aquests workspaces s'ha emmagatzemat la cobertora corresponent a la topografia, les cobertores de polígons i d'arcs que componen el Mapa de Localització Probable d'Allaus i tota la resta d'informació que s'ha anat generant (cobertores de pendents, perfils topogràfics, composicions de mapes per imprimir, etc.).

L'estretíssima relació entre les cobertores i la base de dades INFO comporta que qualsevol operació amb cobertores, com copiar, canviar de nom, canviar de directori o de workspace, esborrar, etc. s'hagi de fer des d'Arc/Info (no pot fer-se des del sistema operatiu de la màquina que s'estigui utilitzant encara que una cobertora sigui un directori de fitxers, ja que els fitxers de la cobertora en qüestió estocats en INFO no es processarien i sorgirien problemes derivats de la manca de relació entre els identificadors de les bases de dades).

Un cop adquirides, transformades o generades, les dades es poden emmagatzemar de maneres diferents. La més elemental és deixar-les organitzades **en els workspaces**, de la mateixa manera que s'organitzen durant les sessions de treball. També és força recomanable emmagatzemar tota la informació en **còpies de seguretat**.

Una altra possibilitat és transformar les cobertores a **fitxers d'intercanvi Arc/Info**. Són fitxers ASCII, **amb extensió .e00**, i no presenten problemes quan es transfereixen entre estacions de treball o a ordinadors personals, on es poden emmagatzemar.

Una última possibilitat, que no he utilitzat en aquest treball, és la creació d'una **llibreria de mapes**. Aquesta és una estructura centralitzada que permet emmagatzemar de manera ordenada grans quantitats de dades, ordenades segons àrees geogràfiques de referència (com fulls de mapes) i segons capes o tipus de cobertores.



⇔ QUALSEVOL OPERACIÓ AMB COBERTORES (COPIAR, RENOMBRAR, ESBORRAR, ...) HA DE REALITZAR-SE DES D'ARC/INFO

Figura 4.3.: Estructuració de l'espai de treball en ArcInfo

#### 4.2.4. Els mòduls d'Arc/Info.

El software d'Arc/Info està distribuït en diversos mòduls d'utilitats o subsistemes que tenen diferents funcionalitats (tot i que a vegades es solapen i hi ha algunes accions que es poden realitzar des de diferents mòduls).

Els mòduls de treball d'Arc/Info són els que s'especifiquen a la taula següent (Taula 4.1)

MODUL:	FUNCIO:
ARC	Conjunt bàsic de funcions S.I.G.: adquisició d'informació, base de dades, creació i manteniment de topologia,...
ARCEDIT	Subsistema per a l'edició interactiva de cobertores i bases de dades tabulars.
ARCPLOT	Subsistema per a consultes a les bases de dades i creació de mapes
TIN	Anàlisi i modelització de superfícies en tres dimensions (integrat en ARC i en ARCPLOT).
COGO	Automatització de dades topogràfiques.
NETWORK	Anàlisi de connectivitat de xarxes.
LIBRARIAN	Manejador de llibreries de mapes
GRID	Anàlisi ràster.
INFO	Subsistema gestor de base de dades.

Taula 4.1: Mòduls de treball d'Arc/Info.

Els mòduls que s'han utilitzat per al present treball són Arc, Info, Arcedit, Arcplot i Tin.

#### 4.2.5. Les toleràncies en Arc/Info.

Arc/Info utilitza una sèrie de "toleràncies", és a dir, una sèrie de distàncies mínimes permeses entre vèrtex, que condicionen la quantitat i la disposició dels punts o coordenades dels elements en una cobertura. N'hi ha que s'apliquen automàticament quan es genera la topologia d'una cobertura, tot i que poden variar-se a voluntat de l'operador, i n'hi ha que s'imposen quan es fan operacions específiques. La resolució de les cobertores depèn de les toleràncies aplicades.



En aquest treball he variat la tolerància fuzzy i he imposat la tolerància weed a les cobertores de topografia per tal de reduir l'espai que ocupen (vegeu apartat 4.3.3.) i, per tant, a continuació comento breument en què consisteixen.

#### **La tolerància fuzzy (difosa)**

En Arc/Info, és una distància, mesurada en unitats de cobertura, que defineix la resolució de les coordenades dels arcs en qualsevol cobertura a la que s'hagi aplicat la operació CLEAN (de generació de topologia), o en qualsevol cobertura que sigui el resultat d'una operació de superposició topològica (com UNION, INTERSECT o CLIP). És la distància més petita possible entre dues coordenades de qualsevol arc i, per tant, determina la resolució d'una cobertura. La tolerància fuzzy és una distància extremadament petita utilitzada per resoldre localitzacions d'interseccions inexactes causades per la precisió aritmètica limitada dels ordinadors. Normalment varia entre valors de 1/10.000 i 1/1.000.000 vegades l'amplada de l'extensió de la cobertura (ESRI, 1987). En cas que es faci l'operació CLEAN, s'aplica automàticament una tolerància fuzzy d'1/10.000 si l'amplada de la cobertura (fitxer.BND; vegeu apartat 4.2.2.) és superior a 100 unitats de cobertura; En el cas d'aquest treball, les unitats de cobertura són metres, i per tant s'aplica automàticament aquesta tolerància a qualsevol cobertura de més de 100 m d'amplada, és a dir, a totes les cobertores (vegeu apartat 4.3.3).

S'aplica tot prenent la tolerància fuzzy com a radi d'una circumferència que té per centre el punt que s'està processant, i es processen tots els punts d'una cobertura. Durant el processament d'una cobertura, dues o més coordenades d'un arc que estiguin més pròximes entre elles de la distància fuzzy establerta són combinades en una de sola, és a dir, esdevenen el mateix punt. No es fa distinció entre vèrtex i nodes, ni si aquests pertanyen al mateix arc o no. Com que la tolerància fuzzy mou vèrtex i nodes té unes conseqüències directes sobre la resolució de la cobertura (E.S.R.I., 1992).

A la figura 4.4 es pot veure l'efecte d'aplicar una tolerància fuzzy a tres arcs pròxims entre si, i a tres arcs que corresponen a isolínies (corbes de nivell).

Quan el valor de la tolerància fuzzy és massa gran es poden col.lapsar polígons o es poden barrejar i combinar arcs que s'haurien de mantenir independents.

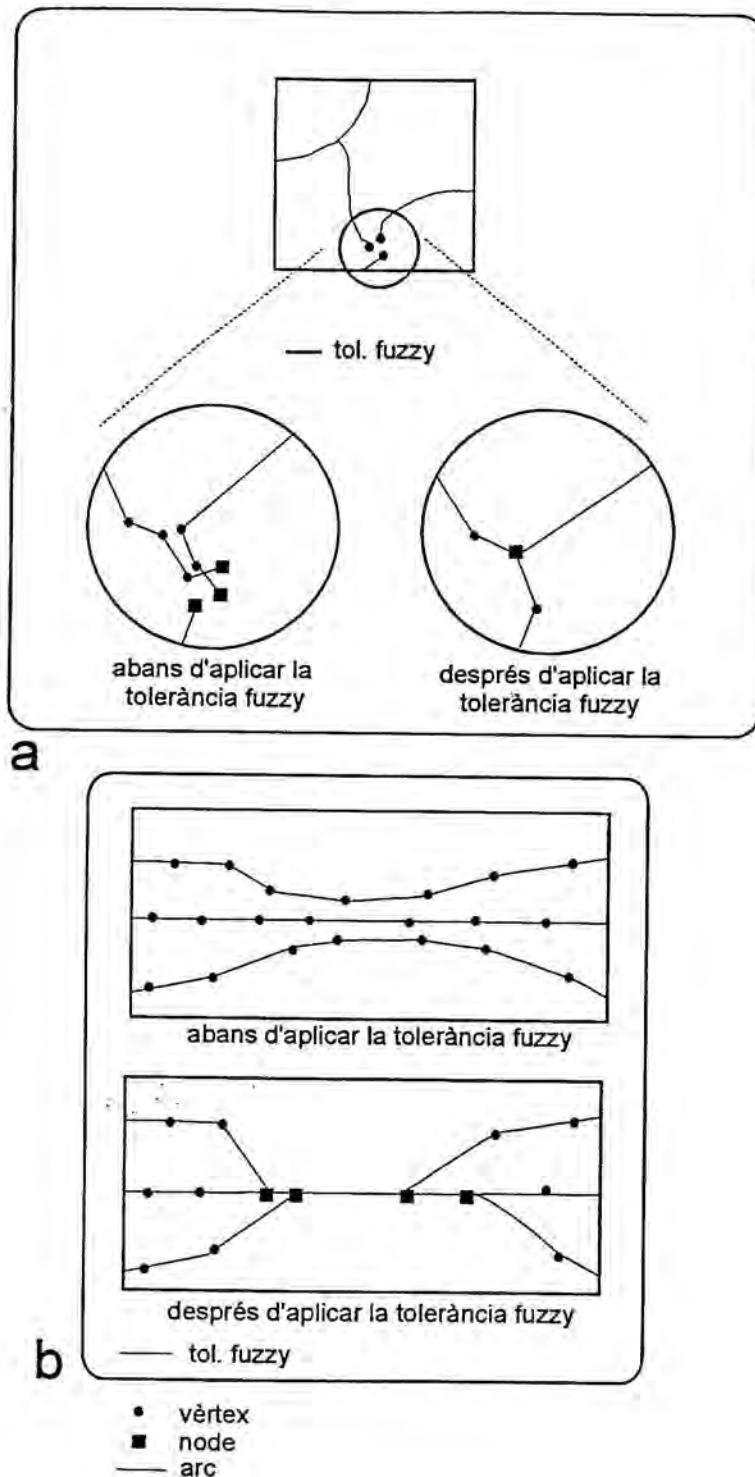


Figura 4.4.: Tolerància fuzzy. a) Quan es realitza l'operació CLEAN de generació de topologia, dues o més coordenades que es trobin dins de la distància de la tolerància fuzzy són automàticament agrupades en una sola. No es fa distinció entre vèrtex ni nodes, ni entre coordenades d'arcs diferents (ESRI, 1987). b) Una conseqüència és que si la tolerància fuzzy que s'imposa és major que la distància entre arcs pròxims, aquests arcs queden simplificats i assimilats a un de sol. Això pot generar errors quan s'aplica a corbes de nivell, ja que pot fusionar les corbes de zones amb pendents acusats (corbes pròximes) i crear confusions en els atributs d'alçada de les corbes afectades.

### La tolerància weed

És la mínima distància permesa (imposada) entre dos vèrtex qualsevol d'un arc, definida en unitats de cobertora. És un paràmetre que pot ser predefinit abans de l'adició de nous arcs en una cobertora. Quan s'adicionen nous arcs, si un vèrtex que s'introdueix es troba dins de la distància weed del vèrtex anterior, és desestimat. Quan la tolerància weed s'aplica a arcs ja existents, és la tolerància usada per l'algorisme de Douglas-Peucker (ESRI, 1987) per eliminar tota una sèrie de vèrtex.

En aquest treball s'ha aplicat la tolerància weed a partir de la comanda **GENERALIZE** d'Arc i per controlar la creació de tins amb la comanda **CREATETIN**, també d'Arc.

En aquest treball he aplicat la tolerància weed a cobertores ja existents, per tal de disminuir el seu nombre de punts i fer-les més manejables (vegeu apartat 4.3.3.). L'algorisme de Douglas-Peucker, inicialment crea una línia de tendència ("trend") entre el node inicial i el node final de cada arc seleccionat (fig. 4.5.). Si la distància perpendicular des de la línia de tendència a cada un dels vèrtex de l'arc és menor que la tolerància weed imposada, els vèrtex són eliminats. Si hi ha vèrtex que estan a una distància perpendicular de la línia de tendència major que la imposada, llavors el vèrtex que està a major distància és retingut. A continuació es creen dues noves línies de tendència entre aquest vèrtex i els dos extrems de l'arc, i el procés continua fins que no hi ha cap més vèrtex més distant de la línia de tendència que la tolerància weed imposada. En essència, l'algorisme construeix un arc nou a partir dels vèrtex que són retinguts al llarg del procés de creació de noves línies de tendència. Per causa de l'algorisme utilitzat, la forma dels arcs pot canviar quan s'aplica aquest procés (ESRI, 1987). Per altra banda, si la tolerància weed és massa gran, arcs contigus poden arribar a intersectar-se (fig. 4.5.).

L'aplicació d'aquesta tolerància de manera correcta i controlada permet eliminar molts punts innecessaris, per exemple de les cobertores de corbes de nivell, amb el què les necessitats d'espai de disc disminueixen i el temps de càlcul en els processos es redueix (vegeu 4.3.3.Simplificació de les cobertores de topografia).

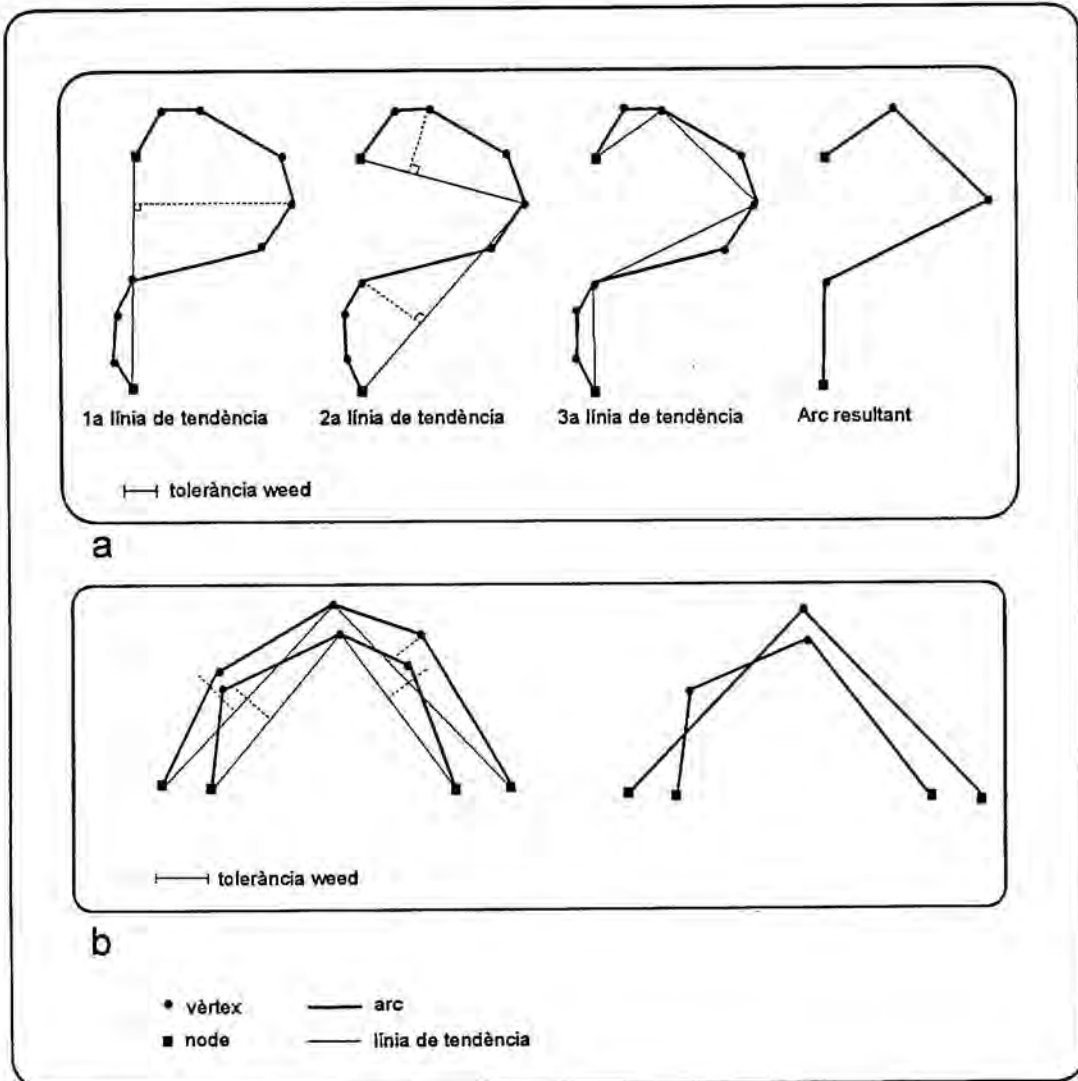


Figura 4.5.: Tolerància weed (ESRI, 1987). a) Aplicació de l'algorisme de Douglas-Peucker a un arc i arc resultant per a una tolerància weed donada. b) si la tolerància weed especificada és massa gran, arcs inicialment adjacents poden intersectar-se; en el cas de corbes de nivell, això resulta en errors greus.

### 4.3. AUTOMATITZACIO I MANEJAMENT DE LES DADES.

En aquest apartat tractaré de l'automatització i maneigament de les dades tant d'allaus com de topografia. Aquests dos tipus de dades han estat introduïts al S.I.G. de maneres diferents: En el cas de les allaus, s'han digitalitzat els mapes, s'han transformat a cobtores i finalment els elements gràfics s'han codificat (allau reconeguda per fotointerpretació, per treball de camp, cornisa, contrapendent, etc.). En el cas de la topografia l'adquisició s'ha fet per processament de fitxers de topografia IGDS.

En primer lloc tractaré l'obtenció de les dades topogràfiques, que han estat utilitzades com base per a la digitalització de les dades d'allaus, així com per a posteriors processos.

#### 4.3.1. La topografia: obtenció de dades gràfiques (corbes de nivell) i descriptives (altituds).

Per a la realització d'aquest treball he tingut la sort de poder comptar amb la base topogràfica numeritzada. Aquesta base prové de l'escanerització dels mapes topogràfics del Servicio Geográfico del Ejército (SGE) a escala 1:50.000, i va ser cedida per a la realització de treballs relacionats amb el Programa d'Estudi del Risc d'Allaus al Pirineu de Catalunya que duen a terme conjuntament el Servei Geològic de Catalunya (I.C.C., Generalitat de Catalunya) i el Dpt. de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la Universitat de Barcelona, on es presenta aquesta Tesi.

La base topogràfica ha estat cedida en forma de fitxers IGDS (.dgn), binaris; cada fitxer té un recobriment que correspon a l'extensió geogràfica d'un full 1:50.000 de la sèrie L. Com he citat anteriorment (vegeu apartat 4.2.2.) aquest ha estat un dels principals motius per emmagatzemar tota la informació referent a les allaus de manera compartimentada i referida a aquests fulls.

El procés de generació de cobtores de topografia a partir dels fitxers IGDS s'il.lustra a la figura 4.6. De tota manera, a continuació poso èmfasi en algunes de les passes del procés per tal d'aclarir la seva rellevància.

El primer que cal fer és convertir el fitxer IGDS en cobtore. Aquesta operació es fa des del mòdul Arc; la comanda **IGDSINFO** llista tot el contingut del fitxer IGDS, de manera que es pot seleccionar quina informació pertany a les corbes de nivell (fig. 4.7.). Amb la comanda **IGDSARC** es pot introduir la informació desitjada i obtenir una cobtore de corbes de nivell (fig. 4.8.). És important especificar les opcions **3D** i **savez** per tal d'obtenir els valors d'altitud de les corbes de nivell. Així, després de generar la topologia d'arcs amb la comanda **CLEAN**, s'obté una cobtore, per exemple **cover1**, amb la seva taula d'atributs **cover1.aat** i un fitxer INFO anomenat **cover1.acode**. Als fitxers interns de la cobtore i al de la taula d'atributs hi ha

totes les característiques topològiques i gràfiques de la cobertura, mentre que al fitxer .acode hi ha tots els altres atributs provinents del fitxer IGDS, com l'altitud, que no han estat inclosos directament a la cobertura. Cal dir que aquest fitxer .acode conté un camp que es correspon amb el camp de l'identificador dels arcs a la taula d'atributs i que permetrà posar en relació els arcs (corbes de nivell) amb el seu atribut d'altitud. Val a dir que aquest fitxer .acode es genera sempre que es fa una transformació d'un fitxer reconeixible per Arc/Info a cobertura. En el cas de transformació de fitxers .dxf d'allaus digitalitzades a cobertores no parlaré d'aquest fitxer .acode perquè la informació que contenen no té cap interès.

Una de les particularitats de les cobertores obtingudes, així com dels valors d'altitud obtinguts, és que les seves unitats són els centímetres. Per raons d'economia d'espai de disc, d'agilitat dels processos i de facilitat de lectura (per exemple, reconeixement més fàcil de les coordenades UTM), cal transformar aquests valors a metres.

Es a dir, hi ha tres processos a fer:

1. Transformar els valors d'altitud a metres.
2. Unir el fitxer .acode a la taula d'atributs .aat per tal de tenir l'altitud com un atribut temàtic més.
3. Transformar el valor de les coordenades x,y dels punts (que constitueixen els vertex i nodes de la cobertura d'arcs, els tics, etc.) a metres.

La transformació dels valors de les altituds pot fer-se abans o després, i no té cap conseqüència problemàtica. En aquest treball, tal i com s'indica a la figura 4.6., s'ha fet com a primer pas. Amb la utilitat **TABLES** s'han seleccionat els ítems corresponents a l'altitud, que són els anomenats **igds-zvalue**, i s'han dividit per cent.

El que sí que és important és unir el fitxer .acode a la taula d'atributs .aat abans de fer la conversió de les unitats de la cobertura a metres. Aquesta conversió comporta un canvi de nom i, com a conseqüència, l'identificador de la taula d'atributs (que canvia de nom com la cobertura) i el del fitxer .acode (que restaria igual) no coincidirien, amb el què caldria fer processos addicionals per solventar aquest problema i poder dur a terme la unió. La incorporació de la informació del fitxer .acode a la taula d'atributs .aat es realitza amb la comanda **JOINITEM** i amb l'opció del nom de l'identificador de la cobertura **cover1-id** com a ítem de relació dels dos fitxers.

La transformació de les unitats de la cobertura de centímetres a metres es realitza amb la comanda **TRANSFORM** d'Arc. En aquest procés es recalculen els valors de les coordenades a partir dels valors dels tics de la cobertura original i dels valors dels tics d'una cobertura buida en les unitats desitjades (els mateixos dividits per cent); de fet, els tics (continguts als fitxers .TIC corresponents, vegeu apartat 4.2.2) actuen com a punts de control i, per tant han de tenir els mateixos Tic-IDs o identificadors de tic i, evidentment, han de correspondre a les mateixes localitzacions en les dues cobertores. En aquesta cobertura buida s'hi gravaran els nous valors de les coordenades i es repararà la topologia convenientment, de manera que es reflecteix la transformació (per ex. es recalculen longituds i àrees) (E.S.R.I., 1992).

### GENERACIO DE COBERTORES DE TOPOGRAFIA

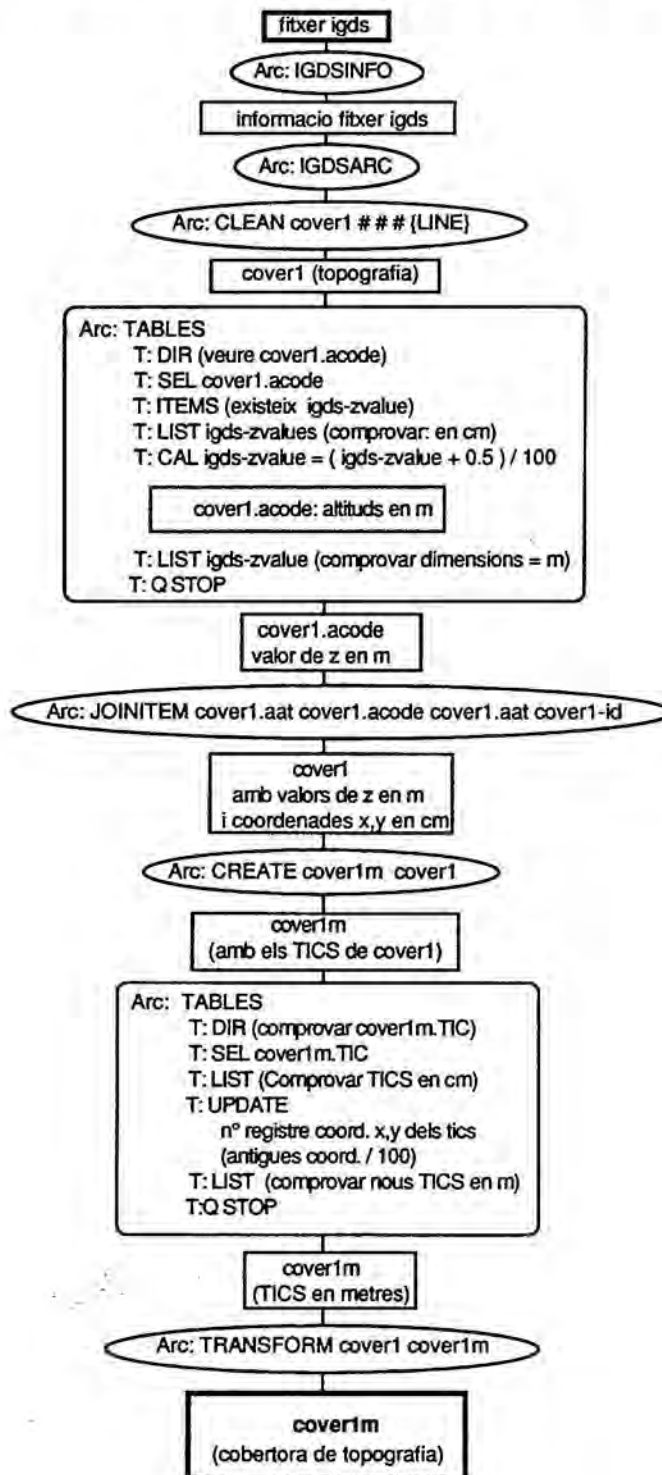
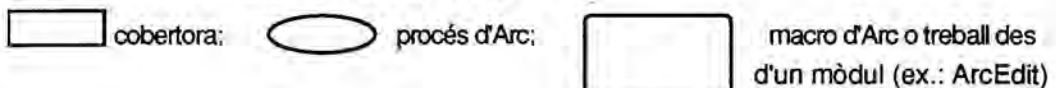


Figura 4.6.: Generació de cobertores de topografia.



```
Arc: igdsinfo a3113207.dgn
Processing /USERS/GEODIN/GLORIA/A3113207.DGN ...
```

5545 elements:

```
Line String: 4899
Group Data Element: 2 -- NOT SUPPORTED
Digitizer Setup Data Element: 1 -- NOT SUPPORTED
Design File Header Element: 2 -- NOT SUPPORTED
Level Symbology Element: 1 -- NOT SUPPORTED
Complex String: 554
Text Element: 84
MicroStation Application Element: 2 -- NOT SUPPORTED
```

Level 17: 5537

```
Color 0: 6
Color 22: 5531
```

```
Style 0: 5527
Style 3: 10
```

```
Weight 0: 4388
Weight 1: 1065
Weight 3: 84
```

Continue? y

Range of translatable elements:

```
(29406793.000,474483687.000) to (32179439.000,476411094.000)
X delta = 2772646.000, Y delta = 1927407.000
```

Master Units of Measure: m

7 unique combinations of level, color, style, weight, and type found:

Level	Color	Style	Weight	Type	Total
17	0	3	0	4	6
17	22	0	0	4	3933
17	22	0	0	12	445
17	22	0	1	4	956
17	22	0	1	12	109
17	22	0	3	17	84
17	22	3	0	4	4

Figura 4.7.: Resultat del procés IGDSINFO: llistat de tot el contingut del fitxer .dgn que permet seleccionar les corbes de nivell desitjades.

```
Arc: igdsarc
Usage: IGDSARC <in igds_file> <out cover> {2D | 3D} {xmin} {ymin} {xmax} {ymax}
{OVERLAP | INSIDE} {text_width}
Arc: igdsarc a3113207.dgn topo 3d
```

Enter layer names and options (type END or \$REST when done)

```
=====
Enter the 1st layer and options : c20 17 22 0 0 4 savez
Enter the 2nd layer and options : c100 17 22 0 1 4 savez
Enter the 3rd layer and options : end
Do you wish to use the above layers and options (Y/N)? y
Processing /USERS/GEODIN/GLORIA/A3113207.DGN ...
```

Figura 4.8.: Procés IGDSARC, que transforma un fitxer.dgn en una cobertura d'ArcInfo amb la informació de corbes de nivell seleccionada.



En resum, l'adquisició tant dels elements gràfics de les cobertores de topografia (traç de les corbes de nivell) com de l'element temàtic de més interès (valors de les altituds) es fa a partir del processament dels fitxers IGDS. La conversió de les corbes a cobertura és automàtica, i la incorporació de les altituds a la taula d'atributs temàtics comporta un procés adicional. Finalment, cal fer una transformació de les unitats de la cobertura.

#### 4.3.2. Simplificació de les cobertores de topografia.

Les cobertores de topografia tenen un gran nombre de punts. De fet, una cobertura amb l'extensió equivalent d'un full topogràfic 1:50.000, amb les corbes de nivell equidistants 20 m. i amb una densitat de les corbes pròpia dels Pirineus, arriba a tenir més d'un milió de punts. Aquests punts, com hem vist, són els que defineixen els nodes i els vèrtex del arcs que configuren les corbes de nivell.

Evidentment, una quantitat de punts tan gran suposa una necessitat d'espai de disc molt gran per emmagatzemar les cobertores i, alhora una ralentització molt gran en fer córrer qualsevol procés on intervingui la topografia. Per tant és lògic pensar en alguna manera de reduir la quantitat de punts sense que això afecti la qualitat de la informació representada.

Aquesta quantitat de punts és tant important per dos motius: l'origen dels fitxers IGDS (.dgn) i les limitacions d'Arc/Info.

Els fitxers.dgn o IGDS provenen de l'escanerització dels originals de les corbes de nivell dels fulls de la sèrie L. Una bona escanerització (d'alta resolució) implica que al transformar el fitxer provinent de l'escanerització (ràster) a un fitxer vectorial, es generaran moltíssims punts, que configuraran les línies de les corbes de nivell (una escanerització d'alta resolució pot implicar una mida de píxel de centèsimes de mil.límetre de costat, el que vol dir que al vectoritzar el fitxer es crearan punts amb una resolució de centèsimes de mil.límetre; a escala 1:50.000 una centèsima de mil.límetre equival a 0,5m). Es a dir, s'introdueix a Arc/Info un fitxer IGDS amb moltíssims punts (la mida d'aquests fitxers IGDS acostuma a superar els 25 Mb).

Arc/Info, però, té unes limitacions d'emmagatzematge de la informació. Una d'elles és la derivada de la tolerància **fuzzy** (vegeu apartat 4.2.5). Aquesta tolerància s'aplica automàticament quan es genera una cobertura. Es a dir, en el procés de transformació del fitxer IGDS en una cobertura de topografia intervé la tolerància fuzzy, que limita el nombre de punts que la podran configurar. Aquesta limitació es produeix segons el següent principi:

La tolerància fuzzy mínima és proporcional a les dimensions de la cobertora; el valor de la tolerància fuzzy és el valor de la distància de l'eix més llarg de la cobertora, dividit per 10.000. Per tant, en una cobertora que té l'extensió geogràfica d'un full 1:50.000, la tolerància fuzzy que s'aplicarà automàticament serà de 2,7 m (fig. 4.9.). Això vol dir que els punts en la cobertora de topografia no podran estar més pròxims de 2,7 metres. Però si tenim en compte l'origen de la cobertora, això també implica que les línies que configuren les corbes de nivell estaran definides per vèrtex espaiats cada 2,7 metres. Evidentment, el resultat són cobertores amb una quantitat de punts que sobrepassa el milió.

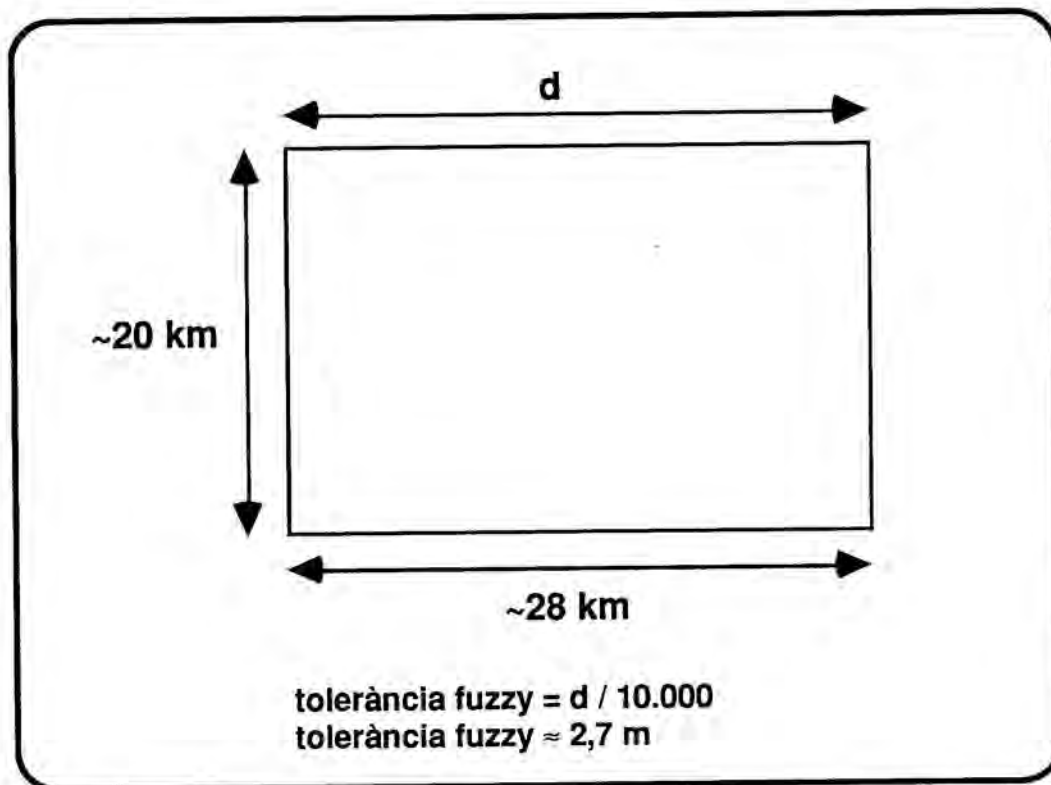


Fig. 4.9.: Càlcul de la tolerància fuzzy mínima per a una cobertora de topografia.

Una possibilitat per reduir els punts d'una cobertora de topografia és canviar les toleràncies. Per aquest treball he fet una sèrie de proves per tal de trobar quina és la reducció de punts més eficaç, i que permet mantenir una bona qualitat de la informació topogràfica. Les toleràncies que he variat són la **fuzzy** i la **weed** (vegeu apartat 4.2.5).

Evidentment, les proves no les he fet amb les cobertores senceres, sinó amb un àrea petita, on la topografia no fos regular. Vaig triar una zona que inclogués un torrent i una carena (que tenen una expressió topogràfica amb inflexions considerables a les corbes de nivell), de manera que fos representativa del conjunt del relleu (fig. 4.10.).

Per obtenir aquesta àrea petita ha calgut fer un procés d'extracció a partir d'una cobertora completa, que s'ha realitzat amb la comanda CLIP d'Arc. Els processos previs de preparació del CLIP estan especificats a la figura 4.12., on s'il·lustra aquest procés.

L'augment del radi de tolerància fuzzy es pot aplicar des de diverses comandes d'Arc. Es pot aplicar amb la comanda CLIP (d'extracció d'una zona d'una cobertora) i des de la comanda CLEAN (de generació de topologia). La variació de la tolerància weed l'he aplicada a partir de la comanda GENERALIZE d'Arc, específica per al tractament d'aquesta tolerància.

Les proves de simplificació són les de la taula 4.2. L'anomenada "cobertora original" és el fragment utilitzat per fer les proves. Cada un dels resultats l'he superposat gràficament a la "cobertora original", bé amb el mòdul ArcEdit, bé amb el mòdul ArcPlot, per veure si la simplificació era bona. **El millor resultat és el de simplificar la cobertora original amb una tolerància weed de 5 m**, ja que és el que permet simplificar més punts (més de la meitat) sense perdre qualitat en la representació gràfica de les corbes de nivell (fig. 4.11.).

Per tant, les cobertores de topografia han estat simplificades per tal de reduir-ne la meitat de punts i, per tant, reduir les necessitats d'espai de disc (estocatge) i temps de processament.

Arribats a aquest punt, cal comentar que aquesta simplificació té conseqüències en la generació de Tins (superfícies funcionals) que s'utilitzen per a la producció de mapes de pendents i perfils topogràfics. Al capítol 5 s'inclou un apartat específic per tractar aquesta problemàtica.

#### PROVES DE SIMPLIFICACIO DE COBERTORES

COBERT. ORIGINAL	SIMPLIFICACIO APLICADA	COBERTORA SIMPLIFICADA	nbre. punts resultants	BONDAT DEL RESULTAT
CDIC (1275 punts)	CLEAN (fuzzy tolerance = 10m)	CDICFZ10	1127	bo (petits defectes)
	CLEAN (fuzzy tolerance = 20m)	CDICFZ20		inacceptable
	GENERALIZE (weed tol. = 1m)	CDICG1	1077	perfecte
	GENERALIZE (weed tol. = 3m)	CDICG3	758	molt bo
	GENERALIZE (weed tol. = 5m)	<b>CDICG5</b>	<b>605</b>	<b>molt bo (*)</b>
	GENERALIZE (weed tol. = 7m)	CDICG7	505	regular
	GENERALIZE (weed tol. = 10m)	CDICG10	426	inacceptable

Taula 4.2.: Proves de simplificació de cobertores.

El millor resultat (\*) es mostra a la fig. 4.11.

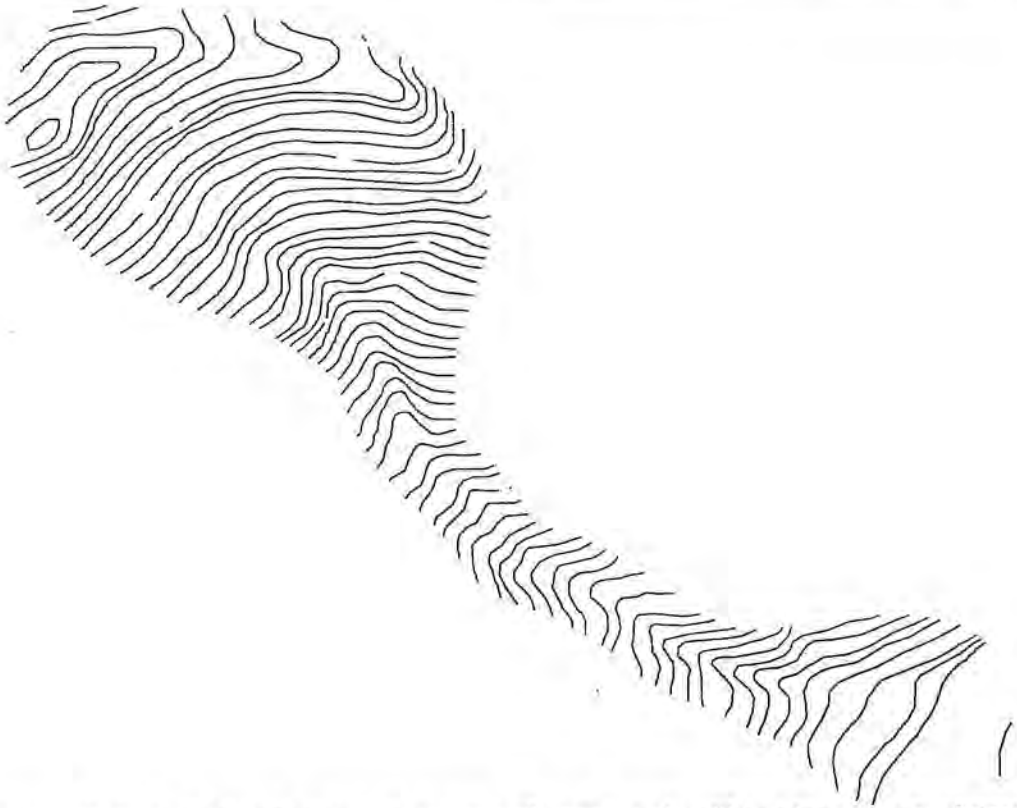


Figura 4.10.: Fragment de cobertura de topografia sense simplificar (aprox. un vèrtex cada 2.7 m). A partir d'aquest fragment he realitzat totes les proves de simplificació (escala aproximada 1: 20 000; equidistància de les corbes 20 m)

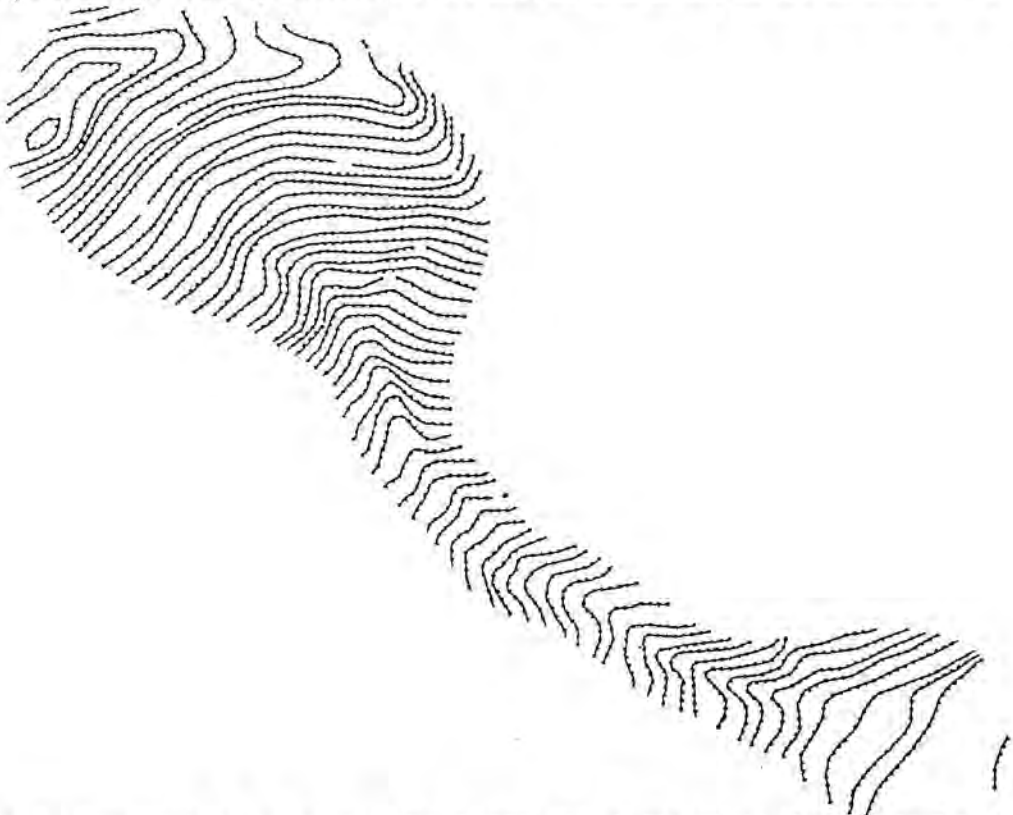


Figura 4.11.: Resultat de la millor simplificació de la cobertura de topografia de prova. En línia contínua es representa la cobertura de topografia original; en línia de punts es representa la cobertura de topografia simplificada (escala aproximada 1:20 000; equidistància de les corbes 20 m).

### EXTRACCIÓ DE COBERTORES PARCIALS D'UNA COBERTORA MÉS EXTENSA

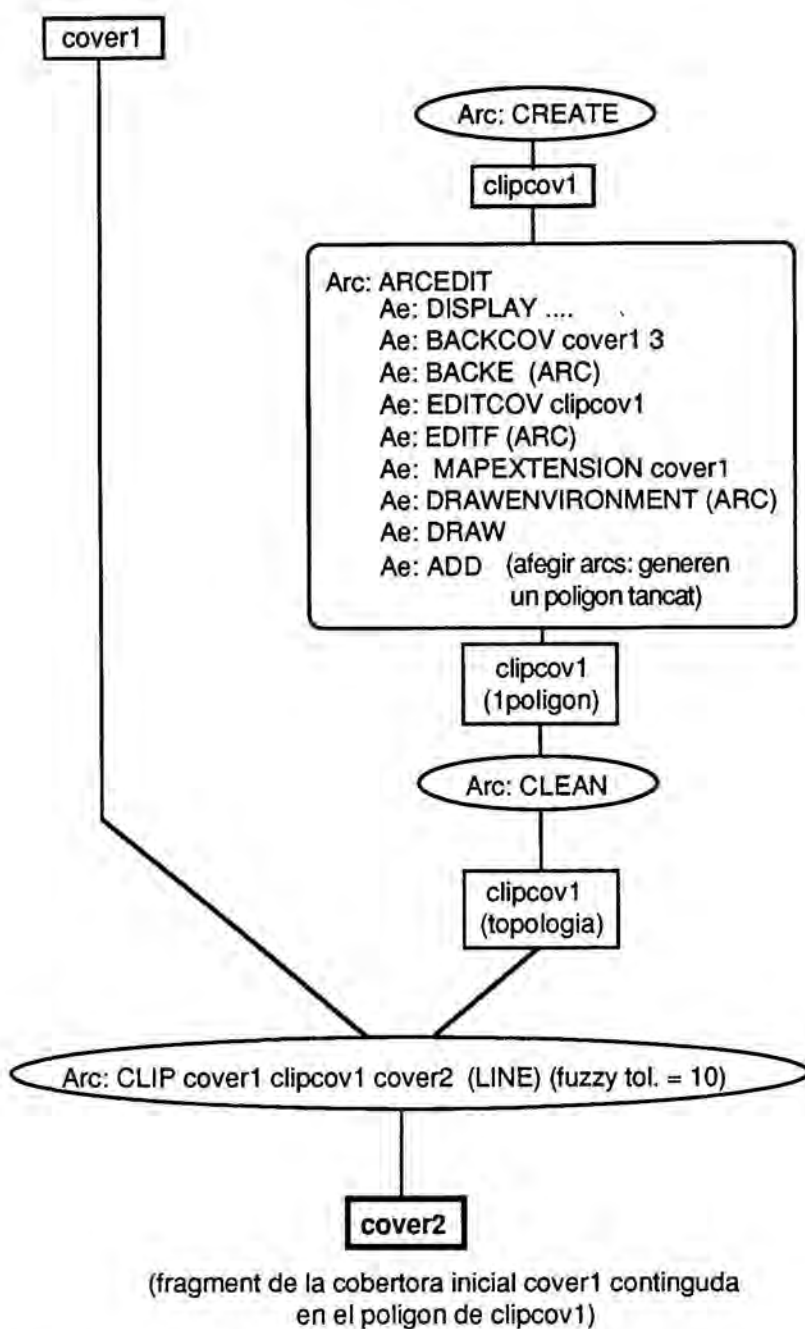
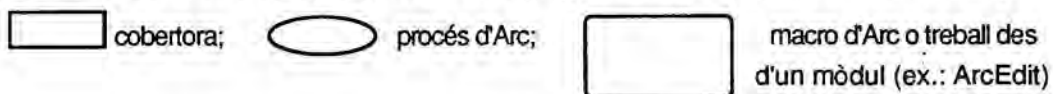


Figura 4.12.: Generació de cobertores parcials (fragments d'una cobertura més extensa)



### **4.3.3. Les dades d'allaus: obtenció de dades gràfiques (allaus) i descriptives (codificació).**

El Mapa de Localització Probable d'Allaus (i, en sentit més ampli, el Cadastre d'Allaus) consta d'elements georeferenciats (zones d'allaus) i d'informació descriptiva. Aquesta informació descriptiva té que veure amb l'origen de la informació, és a dir, si els elements s'han identificat per fotointerpretació o per reconeixement sobre el terreny + enquesta.

Per tant, l'automatització d'aquesta informació comporta un primer pas d'obtenció de les dades gràfiques, que s'ha fet per mitjà de la digitalització dels mapes, i un segon pas consistent en la codificació dels elements gràfics.

#### **Les dades gràfiques**

Els "Mapes d'Allaus" s'han digitalitzat majoritàriament utilitzant l'equipament informàtic disponible al Servei de Cartografia i Dibuix de la Divisió III (U.B.); alguns sectors han estat digitalitzats al Servei Geològic de Catalunya (I.C.C.). Per raons d'eficàcia en la digitalització s'ha utilitzat el software de disseny AUTOCAD (v.12), instal·lat sobre una estació de treball Sun Sparc Station IPX (terra.geo.ub.es) que alhora fa el paper de servidor d'aquest programa als diferents PC de la xarxa local del Servei; l'estació de treball està connectada a una taula de digitalització.

La digitalització consisteix en utilitzar una taula digitalitzadora per automatitzar les localitzacions d'elements geogràfics tot convertint la seva posició sobre un mapa en sèries de coordenades x,y emmagatzemades en fitxers informàtics (ESRI, 1987).

L'obtenció de les dades gràfiques d'allaus es pot desglossar en les següents passes, que explico al llarg d'aquest apartat:

- Digitalització (per fragments de mapa o conques).
- Transformació a cobertura dels fitxers digitalitzats.
- Correcció d'errors de digitalització.
- Unió de diferents fragments de mapa / conques corresponents a un workspace.

Per poder situar acuradament els elements gràfics, la digitalització s'ha dut a terme sempre visualitzant per pantalla la topografia de la zona. Això permet minimitzar els errors que s'introdueixen en resituar el mapa sobre la taula de digitalització cada vegada que s'inicia una sessió de digitalització, així com els errors deguts a les deformacions del paper del mapa (per variacions de la humitat ambiental, etc.) que comporten que les zones d'allau no quedin situades amb precisió sobre la topografia.

Com he comentat a l'apartat anterior, els fitxers de topografia, en el format que sigui, ocupen molt espai (de l'ordre de poques desenes de Mb). Per tant, per fer més àgil la digitalització hem treballat amb fragments dels fulls topogràfics, en general corresponents a conques. Això ha implicat extreure aquests fragments d'una cobertura de topografia (procés de **CLIP** de la figura 4.12.), convertir-los al format d'intercanvi **.dxf** amb el procés **ARCDXF**, i convertir-los al format **.dwg** de disseny d'AUTOCAD, per poder visualitzar la topografia mentre es digitalitza.

En fer la digitalització es "dibuixen" en diferents capes d'AUTOCAD els diferents elements morfològics i/o gràfics que componen el Mapa d>Allaus. Es a dir, es separen per a què puguin ser tractats diferentment, per una banda, els polígons d'allaus i zones amb purgues i petites allaus i, per altra banda, diferenciant-los, tots els elements linials. Es a dir, es crea una capa per a polígons, una per a allaus linials, una per a cornises de neu, etc. (G. Martí, com. pers.) El fet de tenir les dades ben diferenciades d'origen facilita la seva posterior codificació i tractament. La diferenciació de diversos tipus de polígons (liles i carabasses, color ple i trama) al moment de digitalitzar no és immediata, i per tant l'he tractada sobre ArcInfo, com explico a l'apartat 4.3.4.

Com que la digitalització es fa amb AUTOCAD, els fitxers resultants (format **.dwg**) s'han de transformar per a què puguin ser processats per ArcInfo. En primer lloc s'elimina la capa de topografia (que ja existeix sobre ArcInfo) i qualsevol altre defecte que hi pugui haver al fitxer (sovint poden generar-se punts quan es fan les transformacions de fitxers). Seguidament es transforma aquest fitxer a un fitxer d'intercanvi **.dxf**. A partir d'aquest fitxer es generen tantes cobertores d'ArcInfo com capes té el fitxer, tot repetint el procés **DXFARC** tantes vegades com cobertores es generin. Tot aquest procés s'il.lustra a la figura 4.13. En resum, es creen les següents cobertores:

- Polígons (inclou tots el polígons del mapa original)
- Línies que corresponen a allaus i a zones de circulació preferent.
- Línies que corresponen a cornises.
- Línies que corresponen a ressalts.
- Línies que corresponen a contrapendents.
- Línies que corresponen a llindars.
- Línies que corresponen a esperons.

En aquest treball no he fet un recull exhaustiu d'obres de defensa contra les allaus, tot i que les més evidents consten als mapes originals i al recull de fitxes. Crec recomanable que en un futur pròxim s'inclouguin com una o diverses cobertores a part; s'hauria de valorar, per exemple, si obres de l'estil de xarxes de retenció de neu s'han d'introduir com a elements linials o com a àrees cobertes per aquest tipus d'obra.

## GENERACIO DE COBERTORES DE LINIES O DE POLIGONS A PARTIR DE FITXERS .dxf D'AUTOCAD.

### AUTOCAD

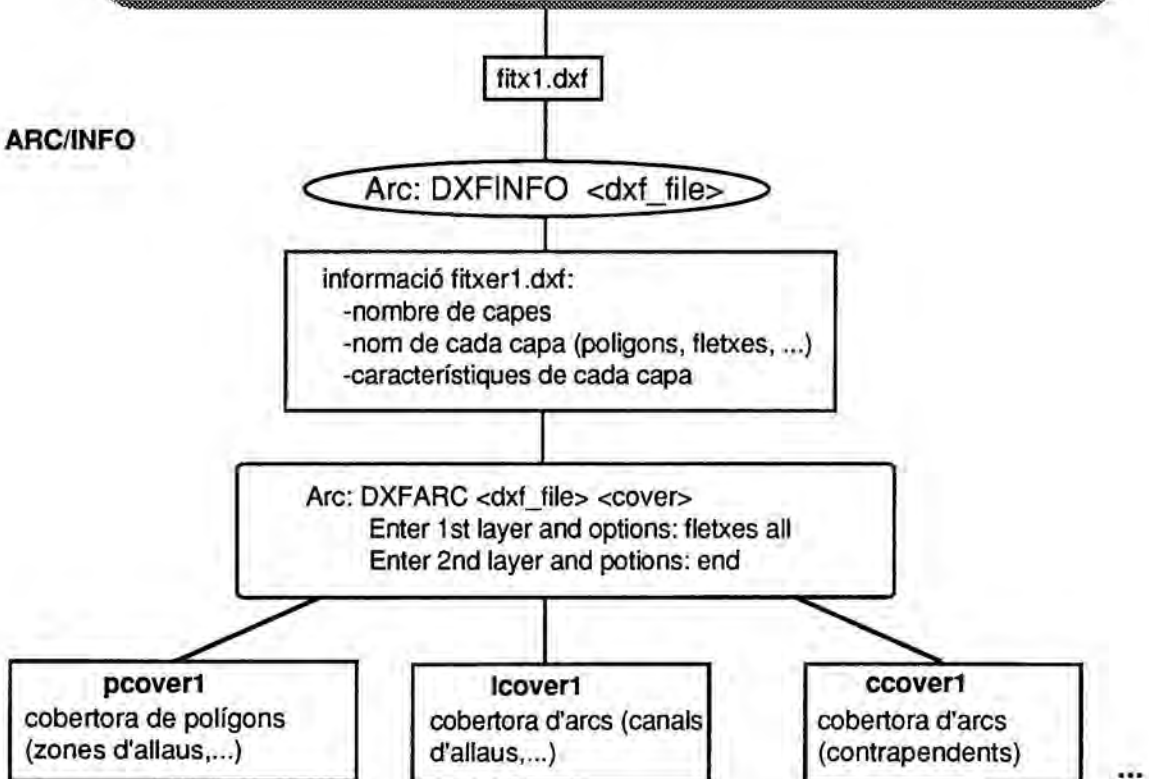
```

command: OPEN fitx1.dwg
command: DDLMODES
        FREEZE capes de poligons i arcs no és possible cap mena d'operació)
        CURRENT LAYER capa de topografia
command: ERASE (opció ALL) (esborra capa topografia i qualsevol altre defecte)
command: DDLMODES
        UNFREEZE capes de poligons i arcs
        CURRENT LAYER qualsevol capa
command: END (sortir d'AUTOCAD i guardar els canvis)

command: OPEN fitx1.dwg
command: PURGE (opció ALL)
command: END (sortir d'AUTOCAD i guardar la neteja) *

command: OPEN fitx1.dwg
command: DXFOUT fitx1.dxf (genera un fitxer d'intercanvi .dxf)
  
```

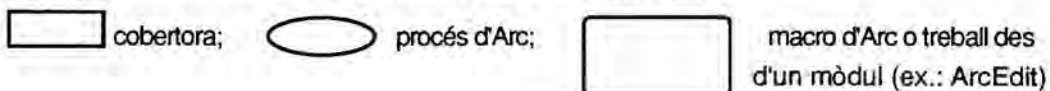
### ARC/INFO



Es generan tantes cobertores com capes té el fitxer .dxf  
(és a dir, una cobertura per a cada element gràfic i/o morfològic)

- \* Totes aquestes passes es poden obviar si en fer DXFINFO el fitxer es ben processat i no s'indica cap missatge d'error

Figura 4.13.: Transformació de fitxers d'AUTOCAD a cobertores d'ArcInfo.





Una vegada s'han obtingut les cobertores cal generar la topologia (comanda **CLEAN**). Llavors s'inicia el procés de correcció d'errors de digitalització, tot utilitzant el mòdul ArcEdit, que permet visualitzar i editar les cobertores. A la taula 4.3. incloc les comandes d'aquest mòdul imprescindibles per a la correcció d'errors de digitalització.

**DISPLAY:** Estableix el dispositiu de representació i posiciona la finestra de representació gràfica

**EDIT (EC):** Especifica la cobertura (o el fitxer INFO) que es vol editar.

**EDITFEATURE (EF):** Especifica el tipus d'element a editar (arcs, nodes, etiquetes, tics,...)

**MAPEXTENT (MAPE):** Especifica l'àrea geogràfica que es dibuixarà a la pantalla gràfica; en iniciar la sessió d'ArcEdit sovint es vol especificar l'extensió geogràfica recoberta per una cobertura determinada, per tant, simplement cal especificar el nom de la cobertura.

**DRAWENVIRONMENT (DE):** Especifica quin tipus d'elements de la cobertura en edició seran representats per pantalla (arcs, nodes, polígons, etiquetes, tics,...).

**DRAW:** Representa per pantalla els elements seleccionats a DRAWENVIRONMENT, els elements seleccionats en "background", les imatges seleccionades i/o els fitxers d'ArcPlot seleccionats.

**SELECT (SEL):** Selecciona elements d'una cobertura o registres d'INFO per a editar-los (sovint per modificar-los).

**UNSPLIT {NONE}:** Combina arcs que contenen un pseudonode tot eliminant-lo. Amb l'opció NONE cada arc resultant passa a tenir un únic identificador.

**INTERSECT {ALL}:** Crea nodes en totes les interseccions dels arcs que s'editen en una cobertura a partir del moment en que s'executa aquesta comanda.

**ADD:** Permet editar interactivament nous elements en una cobertura (nous arcs, noves etiquetes, etc., tot depenent del tipus d'element que s'hagi seleccionat prèviament amb la comanda EF).

**FLIP:** Canvia el sentit d'un arc prèviament seleccionat.

*Taula 4.3.: Comandes bàsiques d'ArcEdit (mòdul editor d'ArcInfo)*

Els arcs o línies tenen un node inicial i un node final (apartat 4.2.1.). Això indica un sentit en l'arc, que en la representació gràfica s'utilitza per situar la punta d'una fletxa al node final o els triangles d'una cornisa a la banda esquerra de l'arc. Aquests arcs poden haver estat digitalitzats en sentit invers, i cal canviar la seva orientació per tal que sigui la correcta; L'orientació es pot visualitzar amb la comanda **DE ARCS ARROWS**d'ArcEdit, que indica els nodes inicials i finals d'un arc, i es pot invertir amb la comanda **FLIP** d'ArcEdit (figura 4.14).

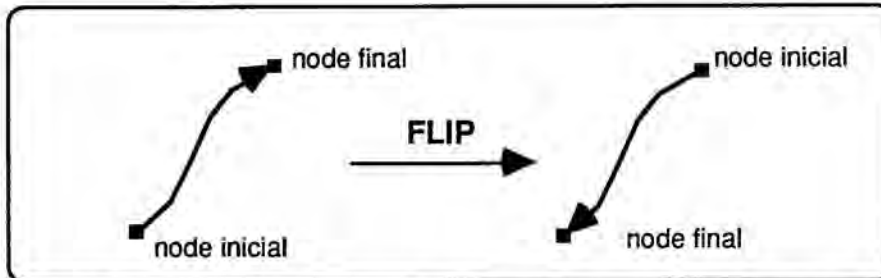


Figura 4.14.: Correcció del sentit dels arcs amb la comanda **FLIP** d'ArcEdit.

La correcció d'errors de digitalització de polígons és més complexa que la correcció d'errors de cobertores d'arcs. Els errors principals són els polígons mal tancats i que, per tant no es poden reconèixer com a tals, els arcs que pengen ("dangle") i no tenen cap funció, i petits polígons erronis que entre dos polígons que no tenen sentit i han de ser eliminats (figura 4.15.)

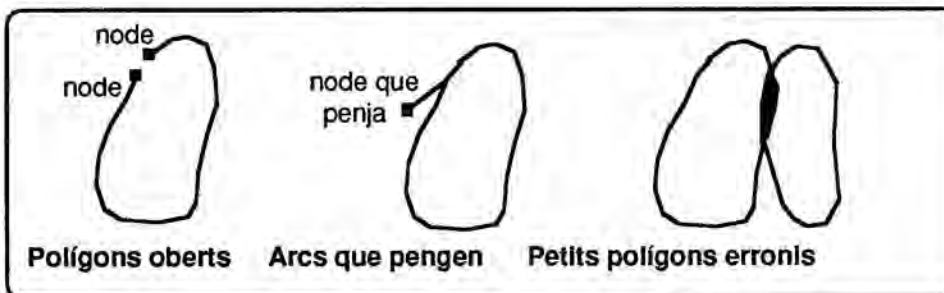


Figura 4.15.: Errors comuns de digitalització de polígons.

La correcció d'aquests errors es pot fer a partir dels arcs i a partir dels nodes. Els arcs que pengen es seleccionen (**SEL**) i s'esborren (**DELETE**); els polígons es poden tancar bé afegint nous arcs (**INTERSECT + ADD**), o bé canviant la posició dels nodes i fent que coincideixin i tanquin el polígon (**MOVE**). El conjunt de processos de correcció d'errors de digitalització es mostren a la figura 4.16.

Una vegada s'ha fet aquesta correcció es regenera la topologia (Arc: **CLEAN**) i es creen les etiquetes dels polígons (Arc: **CREATELABELS**), que permetran la seva codificació i la seva selecció a través de l'identificador d'usuari ("user-id") al que van associades.

Finalment, cal unir els diferents fragments digitalitzats i corregits en cobertores completes (**MAPJOIN**, **APPEND**, figura 4.17.) que es corresponguin amb els workspaces definits (boscan, benasc, isil, esterri). A cada workspace hi ha diverses cobertores d'arcs (6 cobertores: línies d'allaus, cornises, esperons, ressals, contrapendents i llindars), i de polígons (1 cobertura de polígons d'allaus), més les cobertores de topografia i planimetria que calguin.

## CORRECCIO D'ERRORS DE DIGITALITZACIO

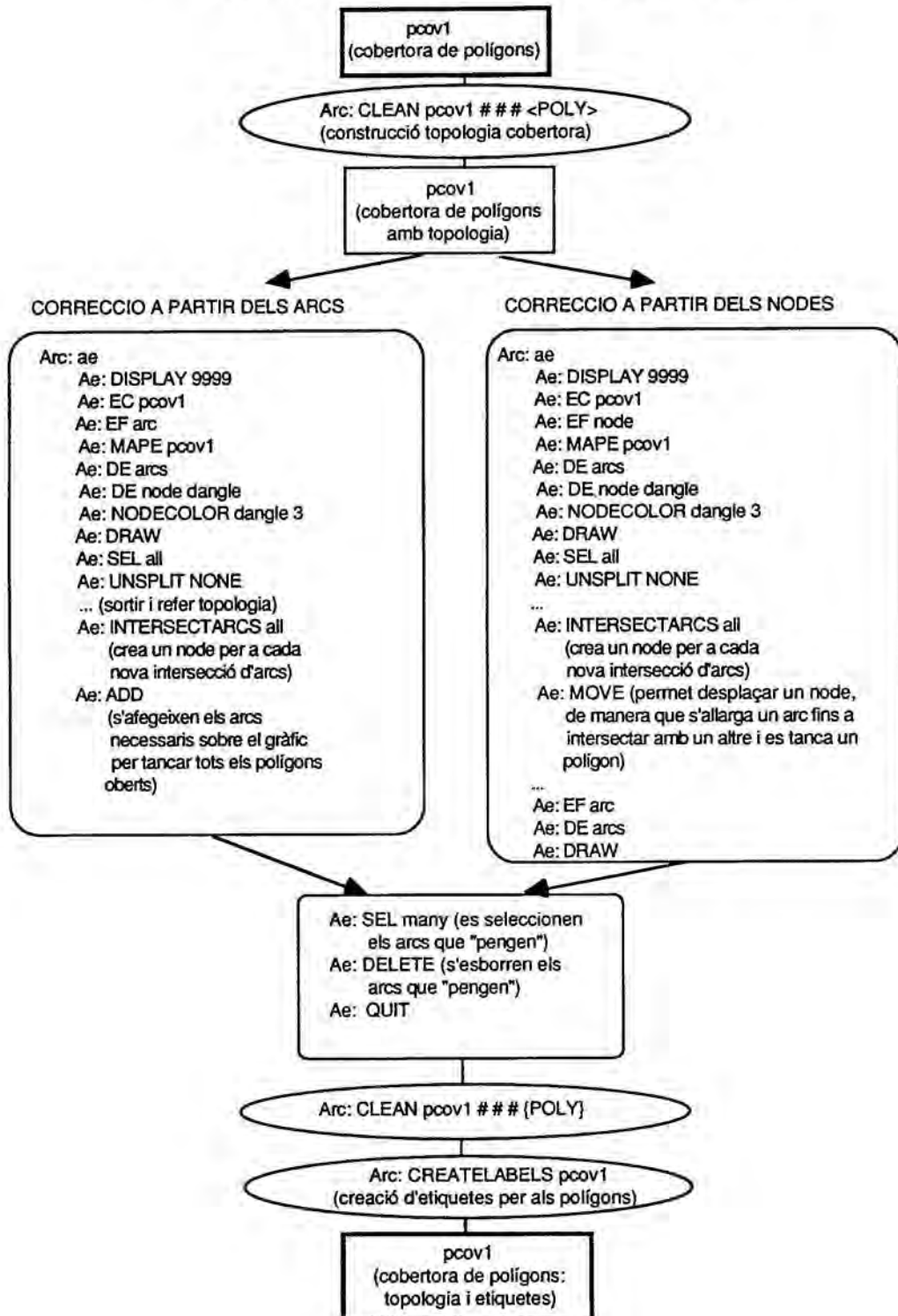
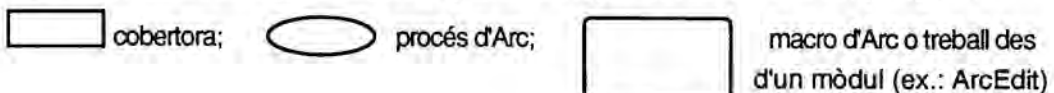


Figura 4.16.: Correcció d'errors de digitalització per a cobertores de polígons.



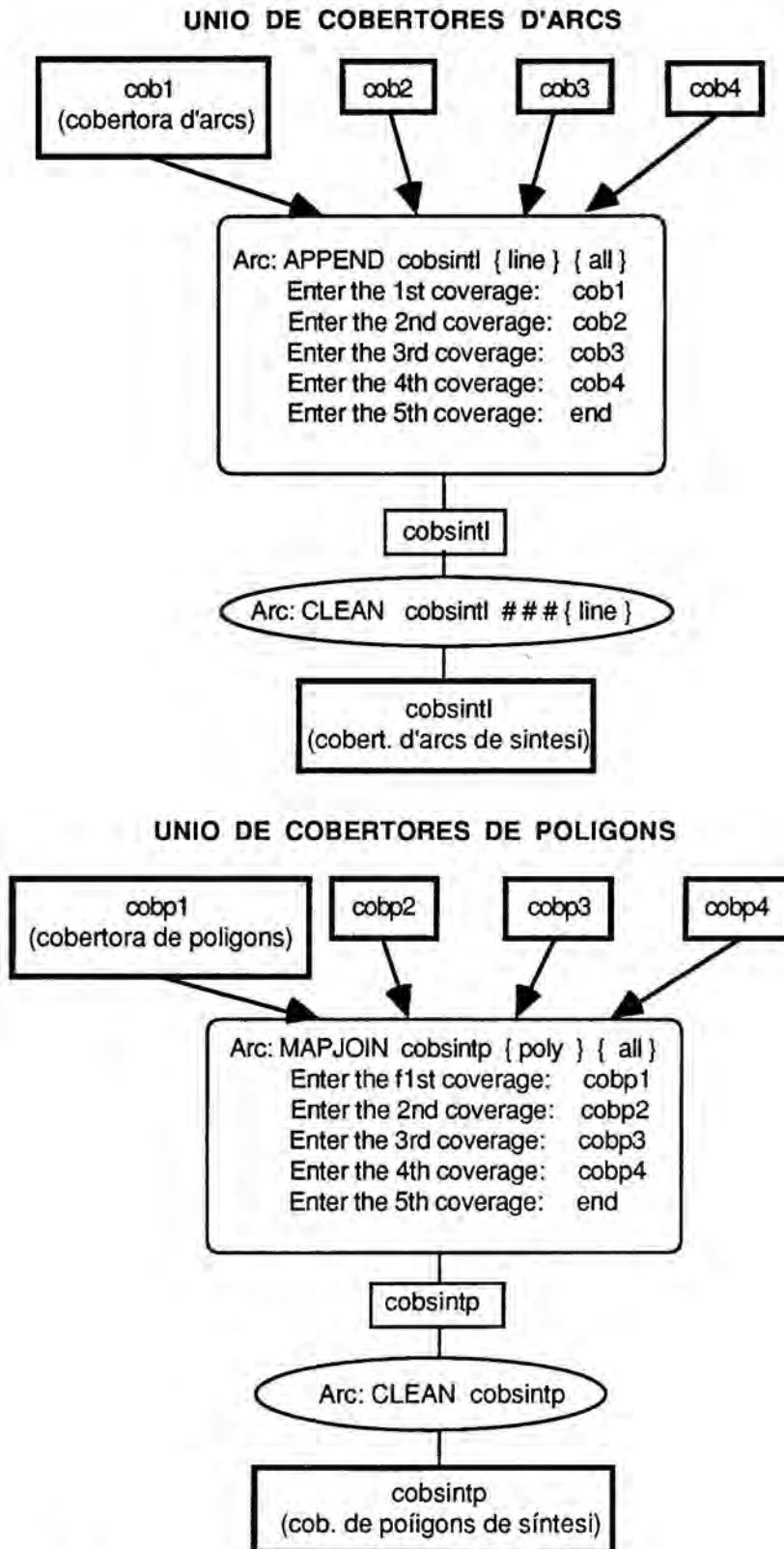
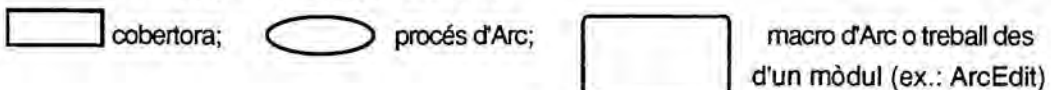


Figura 4.17.: Unió de cobertores d'arcs i de cobertores de polígons fragmentàries per crear cobertores més extenses. En aquest cas s'han creat cobertores que coincideixen amb els fulls topogràfics 1:50.000 (sèrie L).



### Les dades descriptives

Una vegada disposem de les dades gràfiques, cal afegir les dades descriptives que caracteritzen cada arc i cada polígon; això s'anomena codificació. Per tant, a la taula d'atributs de cada cobertora cal afegir-li un o diversos camps o ítems, segons el que calgui codificar. El procés d'afegir camps es realitza amb la comanda **ADDITEM** d'Arc. Els camps afegits a cada cobertora són els de la taula 4.4.

COBERTORA	CAMPS O ÍTEMS AFEGITS
Polígons (tots)	CAMP,FOTO, PURGAC, PURGAF, DEFLA
Arcs (perill localitzat d'allau)	CAMP, FOTO
Arcs cornises neu	SIMBOL
Arcs esperons	SIMBOL
Arcs ressalts	SIMBOL
Arcs contrapendents	SIMBOL
Arcs lliars	SIMBOL

*Taula 4 4.: Cobertores d'allaus i elements topogràfics significatius i els ítems o camps afegits per fer la codificació. A la cobertora de polígons l'ítem CAMP es correspon amb el color lila ple de la llegenda; l'ítem FOTO, amb el color carabassa ple; l'ítem PURGAC, amb el color lila tramat; l'ítem PURGAF, amb el color carabassa tramat; i l'ítem DEFLA, amb els valors de codi 1 i 2, correspon a les zones amb deflació i amb sobreacumulació de neu respectivament. A la cobertora d'arcs de perill localitzat d'allaus, els ítems CAMP i FOTO corresponen a les fletxes lila i carabassa de la llegenda. A la resta de cobertores, els ítems es corresponen amb amb els diferents elements linials de la llegenda.*

La codificació s'ha realitzat des del mòdul ArcEdit, tot utilitzant les comandes **SELECT**, **CACULATE** i **UPDATE** i sovint la representació per pantalla gràfica. La codificació ha consistit en, per a cada element gràfic (per exemple, un polígon), atribuir el valor 1 a un codi quan es dona la condició que aquest codi representa; per exemple, per a un polígon només lila sobre el mapa, s'atribueix el valor 1 a l'ítem CAMP, mentre que es deixa el valor 0 en tots els altres ítems d'aquest polígon (fig. 4.18.).

AREA	=	8	299516.23729	AREA	=	9	687562.94445
PERIMETER	=		4601.11275	PERIMETER	=		3942.07452
PVAL#	=	8		PVAL#	=	9	
PVAL- ID	=	1438		PVAL- ID	=	1455	
CAMP	=	1		CAMP	=	0	
FOTO	=	1		FOTO	=	0	
PURGAC	=	0		PURGAC	=	0	
PURGAF	=	0		PURGAF	=	0	
DEFLA	=	0		DEFLA	=	1	

*Figura 4.18.: Fragment d'una taula d'atributs d'una cobertora de polígons codificada.*

La codificació dels polígons i dels arcs corresponents a allaus s'ha hagut de realitzar interactivament.

El fet que hi hagi una capa per a cada element linial facilita molt la codificació, ja que es pot seleccionar tots els elements d'una cobertura alhora (sense necessitat de rerepresentar-los gràficament) i donar-los-hi el valor del codi corresponent (G. Martí, com. pers.). Aquest procés que pot fer-se automàticament o, si més no, disminueix molt el temps de la codificació.

Aquesta codificació és suficient per poder imprimir mapes amb colors, però la organització de tota aquesta informació pot millorar-se de manera que, com a base de dades estigui més ben estructurada. Com a conseqüència, tots els processos d'actualització i maneament de les dades, així com d'anàlisi i modelització propis del S.I.G. es poden dur millor a terme. A l'apartat següent presento una proposta d'organització de les dades i dels processos d'ArcInfo que he utilitzat per dur-la a terme a la zona pilot de la vall de Valarties.

#### **4.3.4. Organització de les dades d'allaus. Exemple de la vall de Valarties.**

En aquest apartat presento una proposta d'organització de les dades d'allaus i una metodologia per portar a terme aquesta organització.

##### **Proposta d'organització i justificació**

En abordar aquest apartat parteixo de la base de que quant més simplificada i organitzada estigui la informació en origen, més fàcil és poder treballar-hi amb posterioritat. En el cas d'ArcInfo, els processos de selecció i extracció de la informació de les cobertores sempre són més complicats que els d'adició; també quan es realitzen processos d'anàlisi, com els de superposició topològica o d'altres, quants més ítems hi hagi a les taules d'atributs i més complexa sigui la cobertura, més difícil es fa dur a terme l'anàlisi sense que s'introdueixin errors automàticament.

Per altra banda, l'organització en diferents cobertores en lloc d'una única cobertura no fa augmentar sensiblement el tamany de fitxers i directoris, és a dir, de l'espai de disc requerit per al seu emmagatzematge. Per tant, fer simplificacions i diversificar les cobertores de dades gràfiques és, a més de recomanable, viable.

Una opció raonable és organitzar la informació de les allaus segons el seu origen, és a dir, segons si s'ha obtingut per fotointerpretació (carabassa), o per reconeixement de camp i enquesta (lila). A més, es manté l'organització segons el seu caràcter linial o areal.

Això comporta crear una cobertura de línies lila i una de carabassa per a les allaus linials i zones de circulació preferent, i una cobertura lila i una de carabassa per a les zones d'allau i àrees amb petites allaus (polígons) (taula 4.5).

	COBERT. CARABASSA (fotointerpretació)	COBERT. LILA (camp + enquesta)
COBERTORES DE LINIES	lfotodef	lcampdef
COBERT. DE POLIGONS	pfotodef	pcampdef

*Taula 4.5.: Cobertores en les que s'organitza la informació de les allaus de la vall de Valarties. Els noms de les cobertores són els mateixos que els de les cobertores resultants a la figura 4.20. La informació en cobertores s'estructura segons el seu caràcter areal (polígons) o linial (arcs) i segons el seu origen (carabassa o lila).*

Aquesta organització presenta avantatges afegides al que he comentat fins ara. Una vegada establerta la base de dades, la posta al dia de les dades d'allaus està referida pràcticament només a noves observacions, per tant, a la representació en lila. Així, només cal modificar i reprocessar una part de les dades, en lloc de totes, amb el que s'estalvia temps de càlcul.

#### **Complexitats característiques dels Mapes de Localització Probable d'Allaus. Simplificacions possibles.**

Com ja he comentat al capítol 3, les zones d'allau més importants tenen un codi que es correspon amb una fitxa descriptiva. Un dels objectius a mig termini, a desenvolupar pel Servei Geològic de Catalunya (I.C.C.), és integrar les dades d'allaus emmagatzemades en ArcInfo amb les bases de dades que contenen el Registre de Fitxes. Per tant, un objectiu es assignar codis a les allaus automatitzades per a poder-les relacionar amb el Registre de Fitxes.

Per altra banda, des de l'òptica d'un Sistema d'Informació Geogràfica utilitzat com a gestor de banc de dades, cal que es puguin seleccionar les allaus segons el seu codi i cal poder-ne obtenir les seves característiques més elementals, com per exemple l'àrea ocupada per una zona d'allaus.

En el cas que ens ocupa això presenta complicacions per la complexitat de les zones d'allaus. Com ja he comentat, hi ha zones d'allaus que cobreixen una àrea i que, per tant, poden representar-se amb un polígon. N'hi ha d'altres que, per raó d'escala, tenen una representació linial. El problema es dona quan hi ha zones d'allaus en les que es combinen arcs i polígons i quan hi ha superposicions de polígons (fig. 4.19.).

El fet que hi hagi superposicions implica que una única zona d'allaus està composta de diversos polígons (un per a cada zona i un per a la intersecció). Això no és cap inconvenient a l'hora d'imprimir un mapa, però dificulta que tots els polígons que formen part d'una allau siguin reconeguts com a una unitat alhora d'interrogar el S.I.G. sobre les característiques d'aquesta allau. Com es reflecteix a la figura 4.19., cas 1, moltes d'aquestes superposicions es produeixen perquè els polígons carabassa i lila d'una mateixa zona d'allaus no coincideixen exactament i, en separar-los en una cobertura "carabassa" i una de "lila", els polígons resultants reflecteixen el dibuix original. Per tant, una primera simplificació a fer és unificar els polígons que formin part d'una mateixa zona d'allaus i es representin amb el mateix color.

Un altre cas complex es produeix quan arcs i polígons formen part d'una mateixa zona d'allaus (fig. 4.19., cas 2). Tampoc representa un problema de cara a la impressió de mapes, però és convenient que els arcs i els polígons estiguin emmagatzemats en cobertores diferents. Per tant, una solució per simplificar la base de dades és donar una dimensió (amplada) als arcs, que sigui conseqüent amb l'escala de realització del mapa, tot convertint-los en polígons molt allargats. Per exemple, si l'escala del mapa original és 1:25.000, els arcs poden tenir una amplada d'uns 15 metres.

Una vegada els arcs problemàtics han estat transformats en polígons s'unifiquen amb els polígons corresponents a la mateixa zona d'allaus.

El resultat d'aquestes dues simplificacions és un únic polígon amb una única etiqueta a la que es pot assignar un únic codi per a cada zona d'allau, fet que simplifica força la base de dades i totes les operacions que es facin amb ella.

El tercer cas es dona quan hi ha intersecció de dues zones d'allaus diferents, ja que al polígon d'intersecció cal assignar-li els dos codis corresponents a les dues zones d'allau.

Els casos 1 i 2 es resolen amb el mètode que proposo a l'apartat següent. El cas 3 es pot resoldre a partir l'aplicació del concepte de regió en la versió 7 d'ArcInfo, segons G. Martí i B. Bisson (com. pers.)



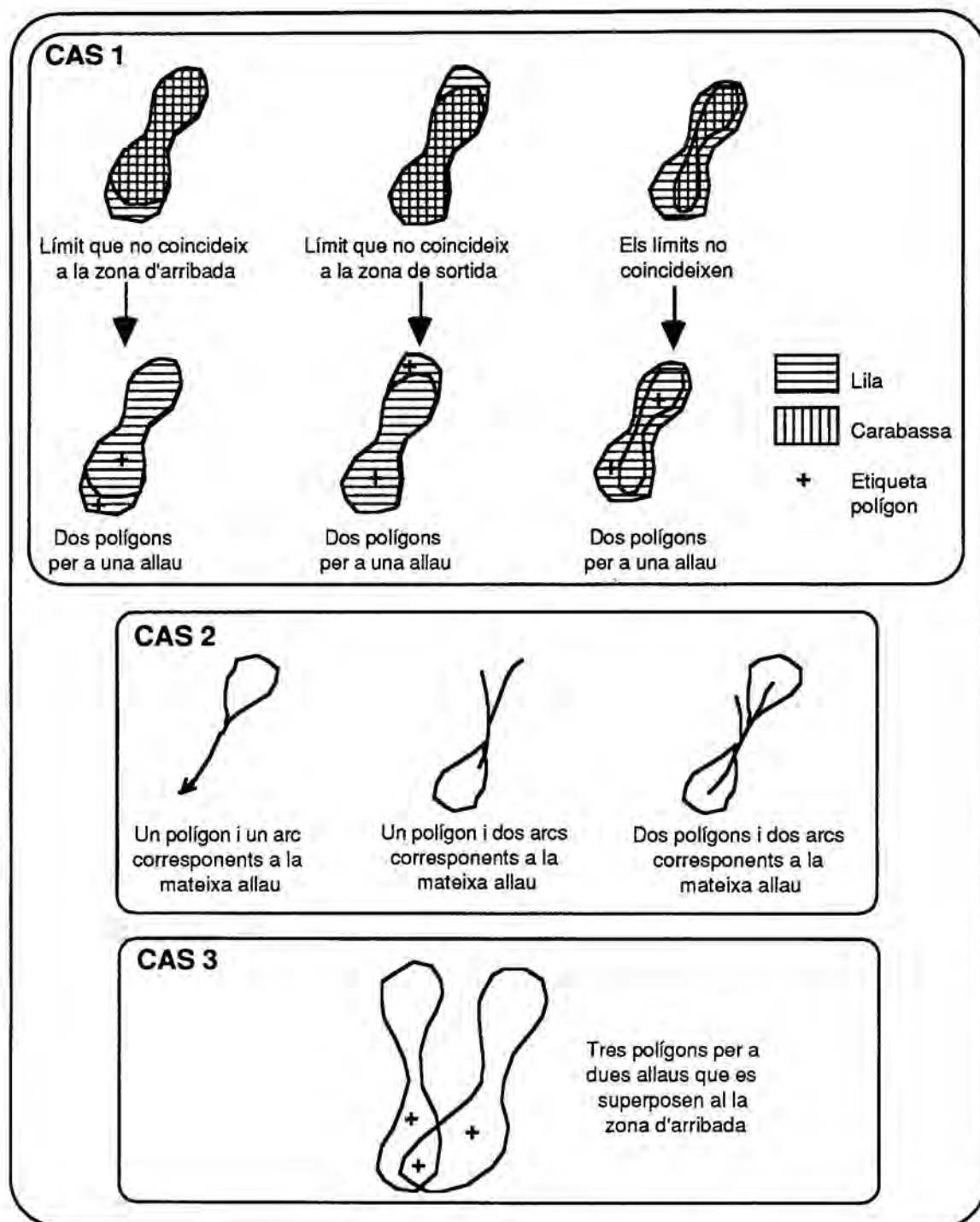


Figura 4.19.: Exemples de les complexitats més freqüents de les zones d'allaus:

*Cas 1: No coincidència dels límits de la zona d'allaus observats per fotointerpretació i els reconeguts sobre el terreny o per enquesta. Això es pot donar tant a les zones de sortida i arribada, com en sectors del trajecte.*

*Cas 2: Una única zona d'allau pot estar representada alhora per un o diversos elements areals i un o diversos elements linials, que es troben en diferents cobertores, una de polígons i una de línies.*

*Cas 3: Dues zones d'allaus presenten una àrea comú (sovint les zones d'arribada).*

### **Metodologia utilitzada en l'organització de les dades.**

Tot i que hi ha altres mètodes possibles, he separat la informació carabassa / lila a partir de la cobertura original digitalitzada i codificada. Aquesta cobertura, de fet, és el "dibuix pintat" del Mapa d'Allaus.

Val a dir que hi ha una primera selecció entre elements lineals i areals (polígons) que ja es fa des de l'inici, durant la digitalització. Per tant, l'objectiu d'aquesta metodologia consisteix, fonamentalment, en organitzar la informació dels polígons.

Fins ara, l'automatització de les dades gràfiques s'ha fet per mitjà de la digitalització. Aquest és un procés lent i farragós. Cal tenir en compte que molts dels contorns dels polígons corresponents a les zones pintades en carabassa i en lila es superposen. Si es fes separatament la digitalització de les zones carabasses i liles, per les inexactituds i imprecisions que comporta el mateix mètode, ben segur que es produirien petits errors que dificultarien enormement la correcta superposició de les zones carabasses i liles; si es sofisticués el procés de digitalització (còpia i redigitalització en diferents capes d'AUTOCAD), l'automatització de dades gràfiques esdevindria extremadament lenta.

En el cas que s'escanneritzessin separatament els mapes carabassa i lila, els punts de control dels dos documents escanneritzats haurien d'estar perfectament posicionats i s'haurien d'evitar al màxim les possibles deformacions del suport per tal que els dos documents, una vegada escanneritzats, fossin perfectament superposables. En cas que s'escanneritzés un sol document amb el conjunt de zones carabassa i lila, el mètode que proposo és igualment vàlid.

Una altra possibilitat és copiar la cobertura original digitalitzada i codificada en dues cobertores, una per als polígons carabassa i una per als liles i, interactivament i amb molta paciència, anar esborrant tots els polígons no corresponents al "color" de la cobertura (això implica esborrar arcs, etiquetes i refer la topologia).

També es pot, a partir de la cobertura original, seleccionar tots els polígons lila i copiar-los en una cobertura i fer el mateix per als carabassa. Això implica un procés posterior de correcció interactiva de tots els polígons en què no es superposa la informació carabassa i lila, que són molts (cas 1a i 1b de l'apartat anterior, en que a la zona de sortida o a la zona d'arribada no coincideix el límit carabassa amb el lila). Per tant, fàcilment es mantindrien errors.

Aquestes dues últimes solucions són prou bones si es tracta un petit volum d'informació, però si s'han de tractar moltes dades (com en el cas del Mapes d'Allaus) esdevé lenta, empipadora, i de ben segur que condueix a errors (com la majoria d'aquestes tasques rutinàries).

A la taula 4.6. exposo tot el seguit de possibles mètodes per seleccionar les dades i alguns dels seus avantatges i inconvenients.

	<b>METODE</b>	<b>AVANTATGES</b>	<b>INCONVENIENTS</b>
<b>SEPARACIO DE LA INFORMACIO DES DEL PRINCIPI</b>	Digitalització per separat de 2 cobertores independents carabassa / lila	-	- Lentitud del procés - Introducció d'errors i imprecisions. - Codificació (ràpida) posterior.
	Digitalització de dues cobs. independents carab./lila (digitalització "sofisticada")	- Bona superposició de les cobertores	- Extrema lentitud del procés. - Codificació (ràpida) posterior.
	Escannerització de dues cobertores independents.	- Rapidesa del procés (exceptuant la feina de dibuix prèvia)	- Cal disposar d'un escàner de gran format. - Feina de dibuix prèvia. - Possibles problemes de superposició: - deformació suport; - posicionament punts control. - Codificació (ràpida) posterior.
<b>SEPARACIO DE LA INFORMACIO PREVIAMENT CODIFICADA</b>	Escannerització d'un únic dibuix incloent carabassa i lila	- Rapidesa del procés (exceptuant la feina de dibuix prèvia) - Bona superposició de les cobertores	- Cal disposar d'un escàner de gran format. - Feina de dibuix prèvia (lenta). - Codificació lenta (interactiva). - Necessitat de selecció de la informació posterior.
	Digitalització d'un únic dibuix incloent carabassa i lila. Selecció informació manual i interactiva	- Bona superposició de les cobertores.	- Codificació lenta (interactiva). - Procés de selecció i organització lent i extremadament pesat. - Introducció d'errors
	<b>Digitalització d'un únic dibuix incloent carabassa i lila. Organització semiautomàtica de la informació</b>	- Bona superposició de les cobertores. - No introducció d'errors nous. - Rapidesa acceptable del procés. - Simplificació de la base de dades (unio de polígons i arcs d'una allau)	- <b>Codificació lenta (interactiva).</b> - <b>Necessitat de selecció de la informació i control del procés.</b>

*Taula 4.6.: Mètodes possibles de selecció de la informació gràfica en dues cobertores, una que contingui la informació en carabassa i una altra, en lila. En negreta indico el mètode que he fet servir en la zona pilot de la vall de Valarties.*

Una vegada avaluades les diferents possibilitats, em sembla força útil el mètode que proposo. Es tracta d'un mètode en gran part automatitzat, i amb algunes passes que s'han de realitzar interactivament. El fet que el mètode sigui en la seva major part automàtic evita la introducció de nous errors i imprecisions, tot i que no soluciona els que puguin existir i no s'hagin detectat durant la correcció i codificació de la cobertura original. El treball interactiu, tot i que pot resultar una mica farragós, disminueix moltíssim el treball rutinari i alhora permet realitzar un control del correcte desenvolupament del procés i, si és necessari, es poden corregir imprecisions.

Alhora, el mètode integra els polígons i arcs que componen una mateixa allau, tot conferint als arcs una representació areal (es converteixen en polígons allargats amb una petita amplada). Per tant, es resolen d'una manera simple dos dels tres problemes presentat a l'apartat anterior (casos 1 i 2).

El mètode que he posat a punt es resumeix a la figura 4.20. i els seus diferents passos s'expliciten a la figura 4.21.

Tot seguit comento breument aquestes figures i faig èmfasi en alguns del seus passos més significatius.

El primer pas consisteix en la codificació, interactiva, de la cobertura de polígons original, digitalitzada i corregida. Al segon pas es separa al màxim tota la informació de polígons d'allaus en cinc cobertores, una per als polígons de color ple lila, una per als tramats en lila, una per als de color ple carabassa i una per als de sobreacumulació i deflació.

En fer aquest pas ja es poden observar polígons superflus provinents de la superposició de polígons carabassa i lila en el dibuix original (Fig. 4.19., cas 1).

Paral·lelament, (tercer pas) es codifica la cobertura original digitalitzada de línies (interactivament) i es seleccionen totes les línies lila i es copien en una cobertura, i amb les carabassa es fa el mateix.

A partir d'aquí comento només com es desenvolupa el procés per als polígons de color ple lila (que també anomenaré de camp) i les línies lila. Als polígons lila tramats només se'ls aplicaran els passos 12 i 13 (d'eliminació de polígons superflus) quan calgui. Per als polígons carabassa el procés és el mateix.

Els passos cinquè i sisè consisteixen a identificar i seleccionar en una cobertura separada totes aquelles línies liles que constitueixen una zona d'allaus conjuntament amb algun polígon lila (fig. 4.19., cas 2). Seguidament es converteixen aquestes línies en polígons, que han de tenir un gruix inferior a uns 20 metres (poc menys d'un mil·límetre al mapa original a escala 1:25.000), ja que si el gruix real de la canal fos superior ja no s'hauria representat linialment. Per altra banda, per aplicar la comanda BUFFER que permet transformar les línies en polígons, cal que 1/2 del gruix del polígon sigui superior a la tolerància fuzzy de la cobertura, ja que si és inferior no es creen els polígons i s'eliminen els arcs originals.

ORGANITZACIO DE LA INFORMACIO

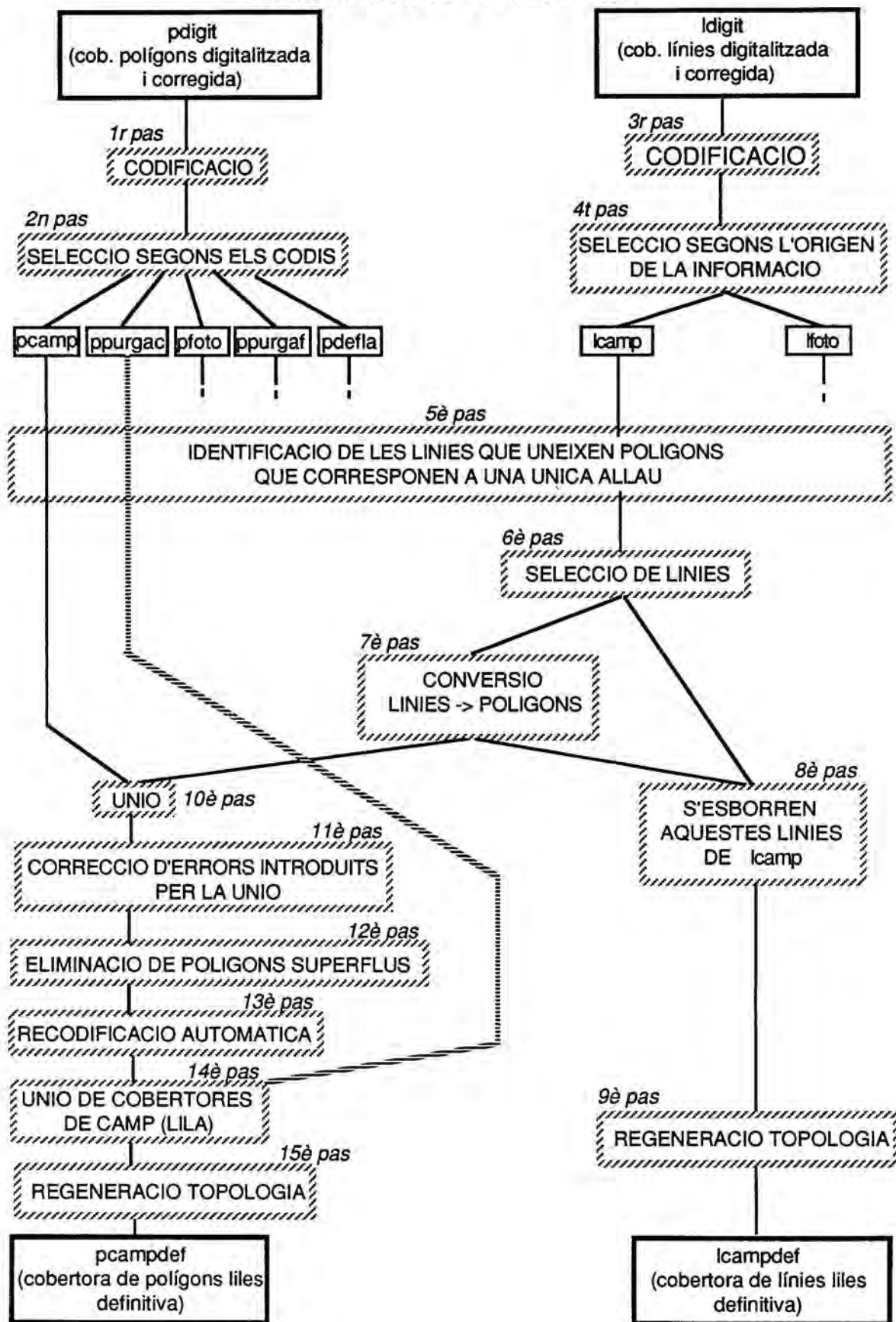
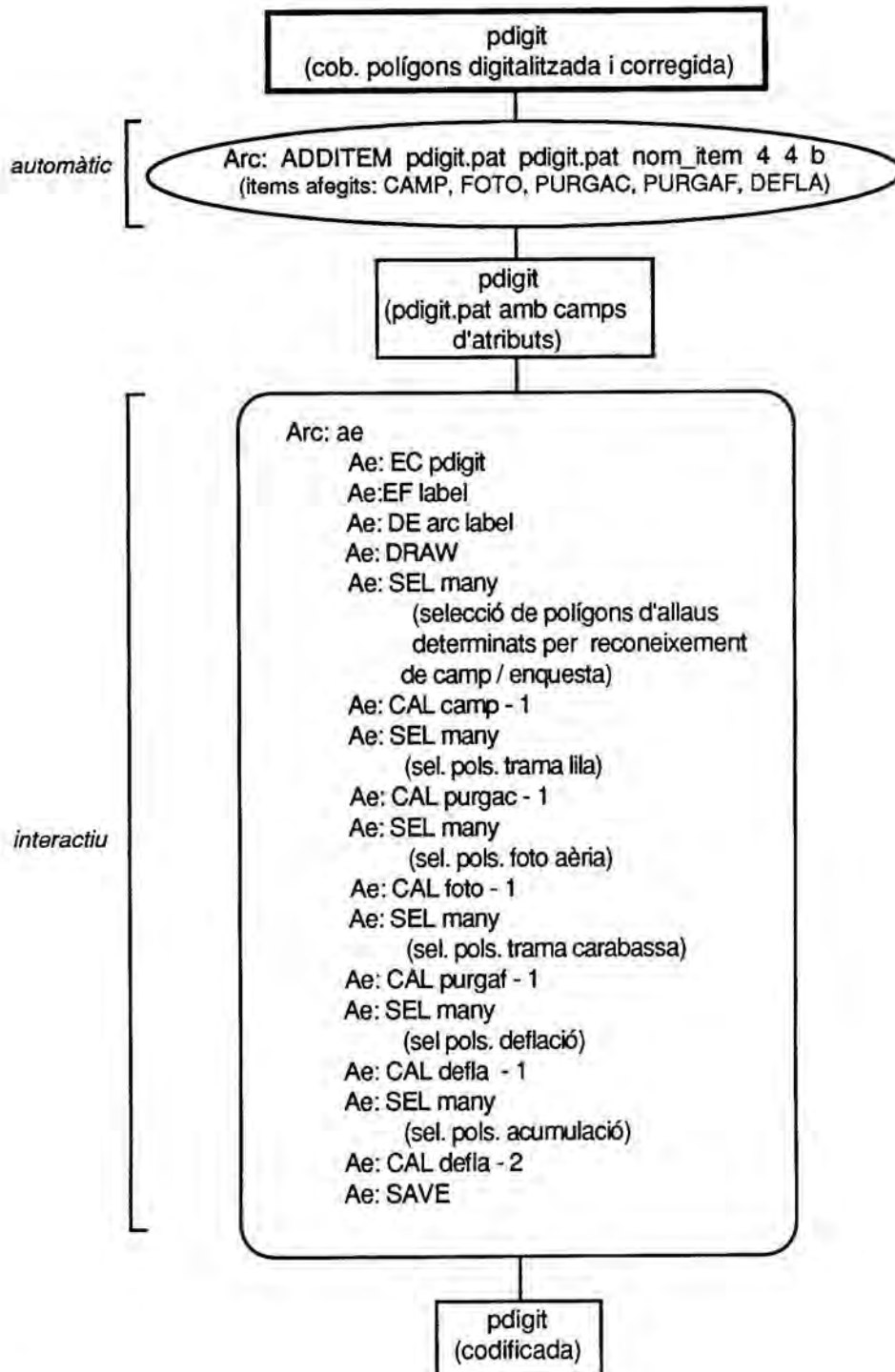


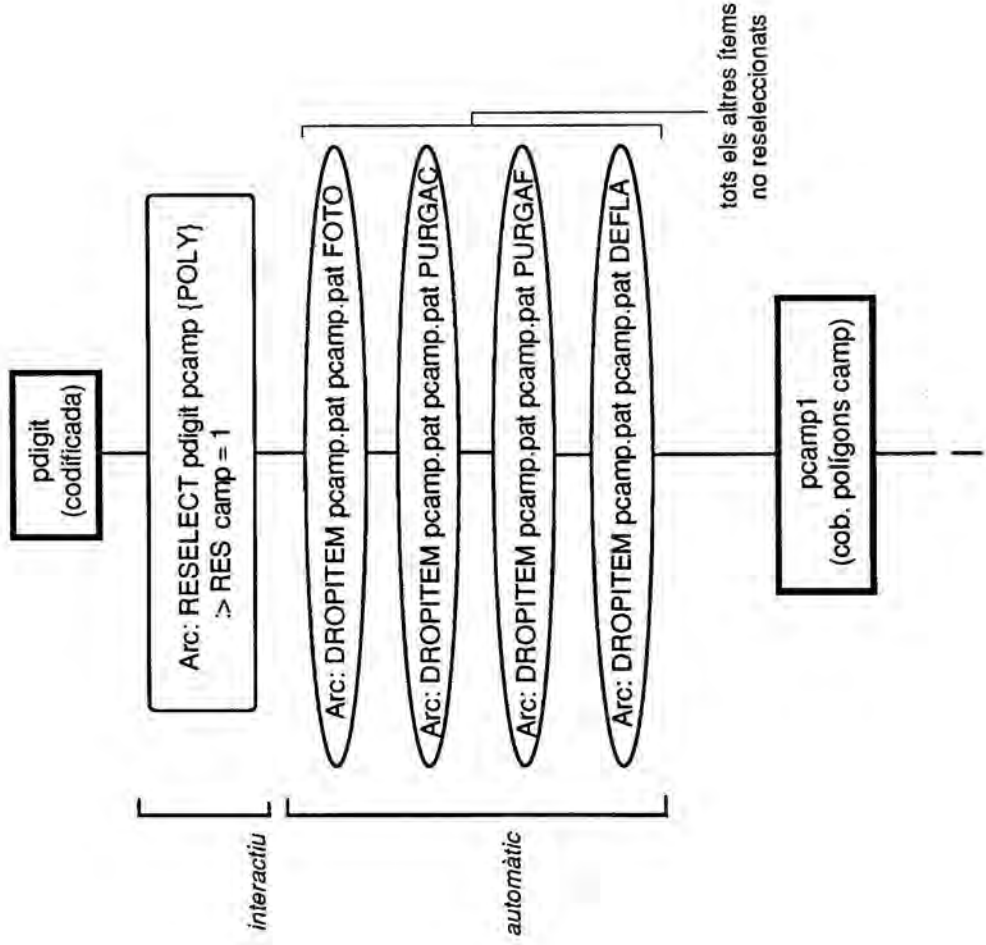
Figura 4.20.: Esquema dels passos (explicitats a la fi.4.21) per a l'organització de la informació en cobertores carabasses i liles, d'arcs i de polígons.

## 1r pas: CODIFICACIO

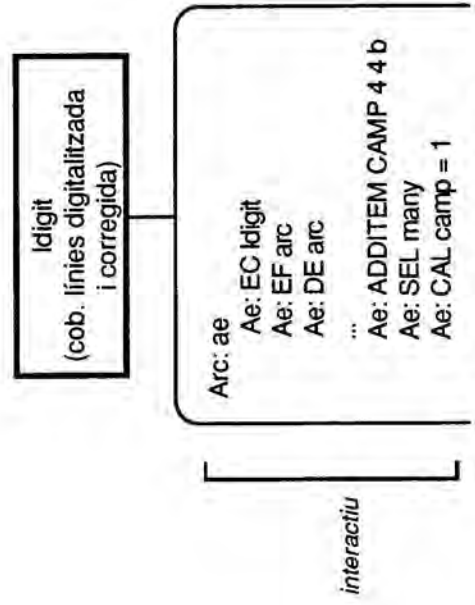


(Figura 4.21)

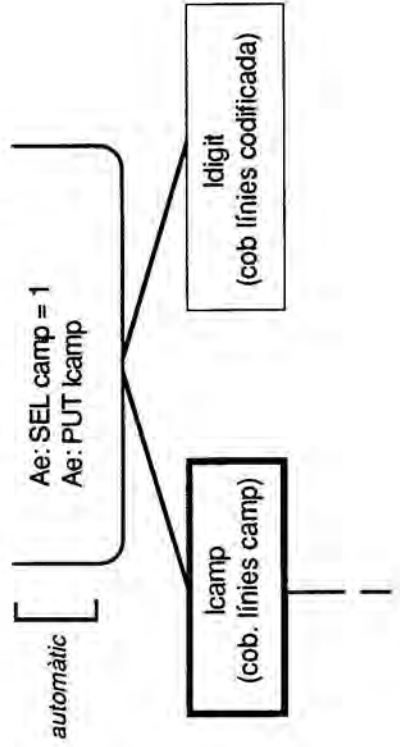
**2n. pas: SELECCIO SEGONS ELS CODIS**



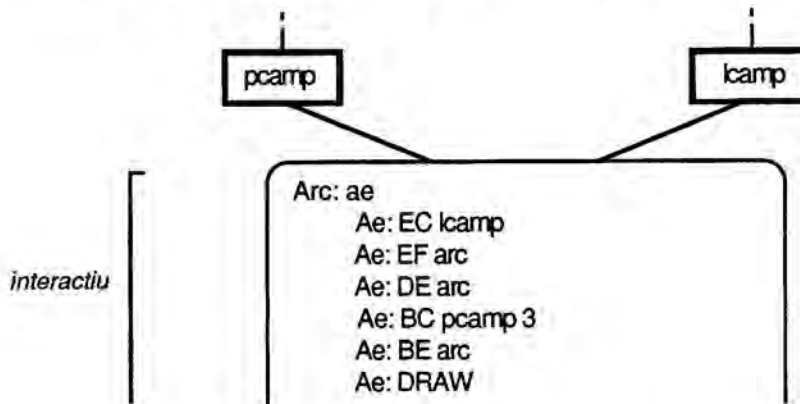
**3r. pas: CODIFICACIO D'ARCS**



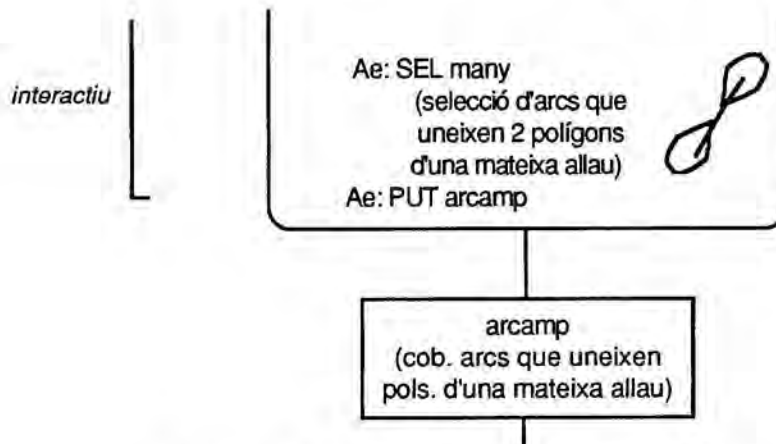
**4t pas: SELECCIO SEGONS ELS CODIS (ORIGEN DE LA INFORMACIO)**



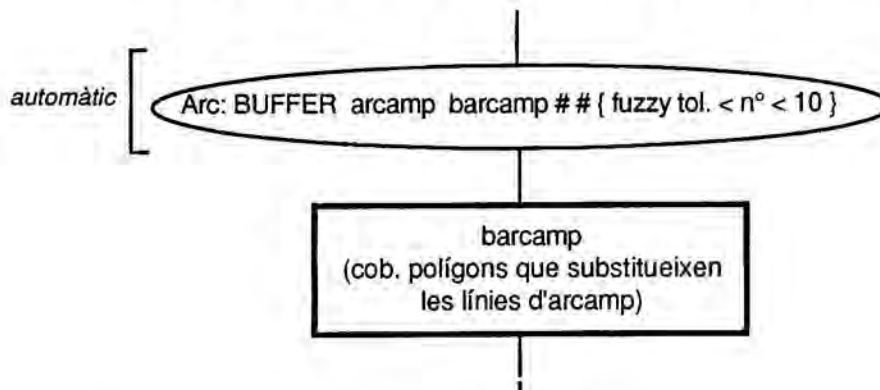
**5è pas: IDENTIFICACIO DE LES LINIES QUE UNEIXEN POLIGONS QUE CORRESPONEN A UNA UNICA ALLAU**



**6è pas: SELECCIO DE LINIES QUE UNEIXEN POLIGONS D'UNA MATEIXA ALLAU**



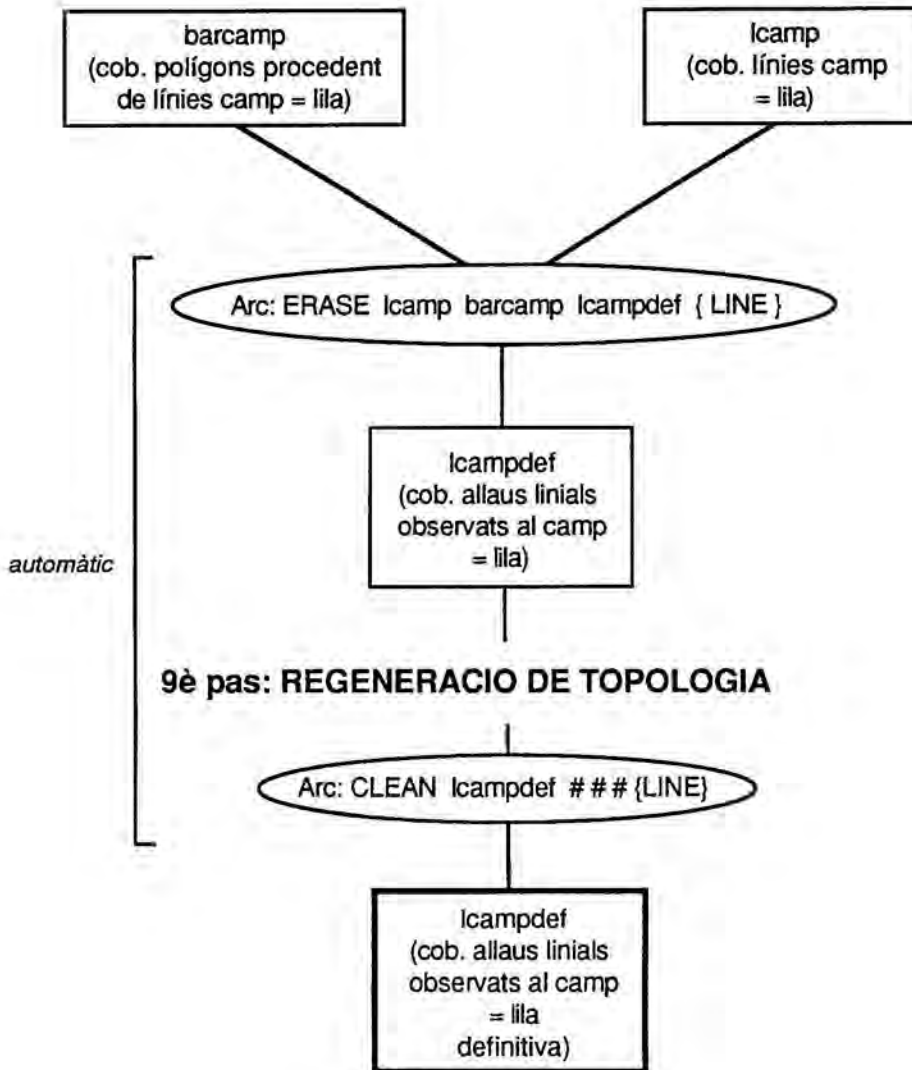
**7è pas: CONVERSIO DE LINIES A POLIGONS**



(Figura 4.21)

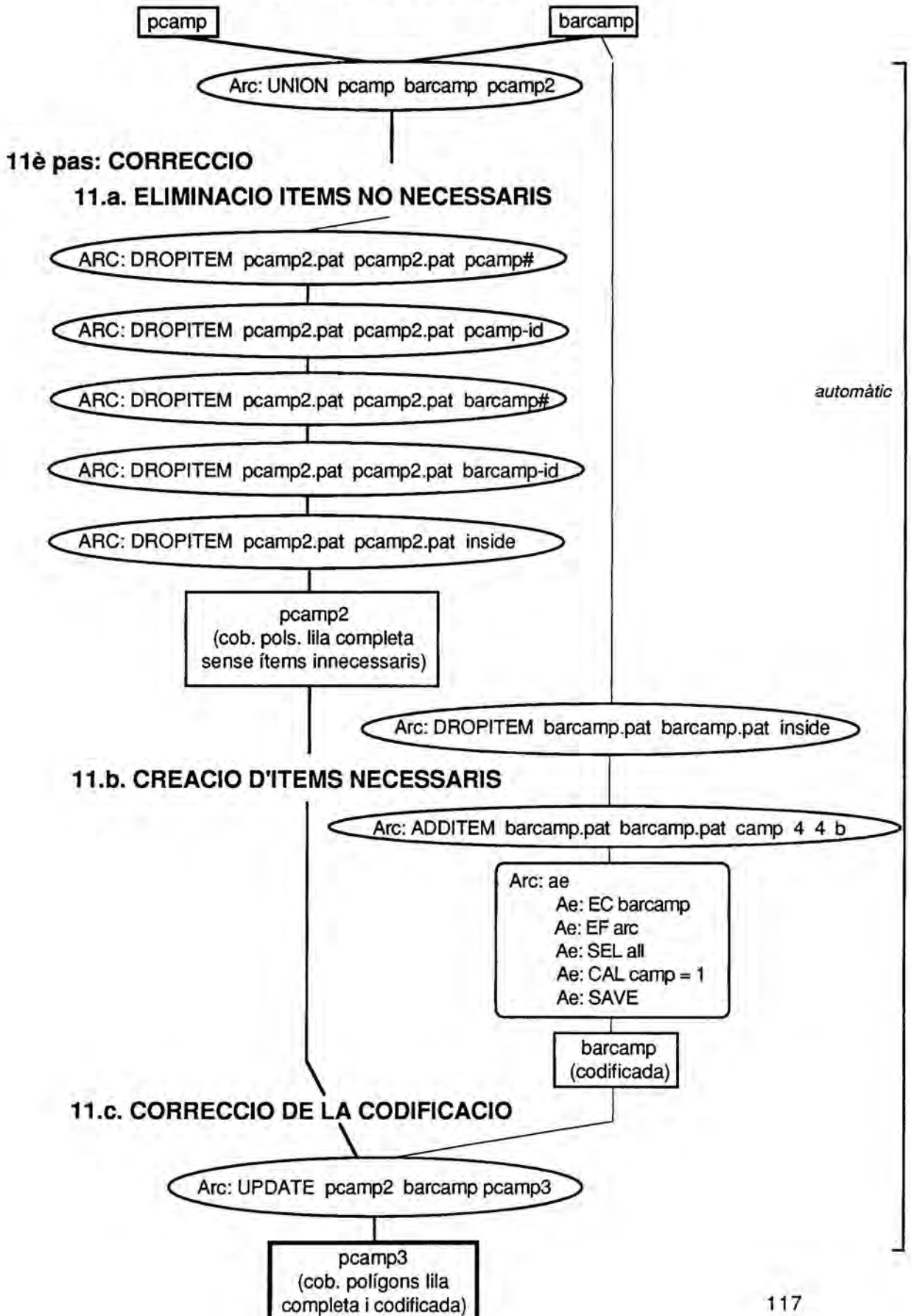


**8è pas: ESBORRAR LES LINIES SELECCIONADES  
(PER EVITAR REPETICIONS) DE LA COBERTORA  
DE LINIES**

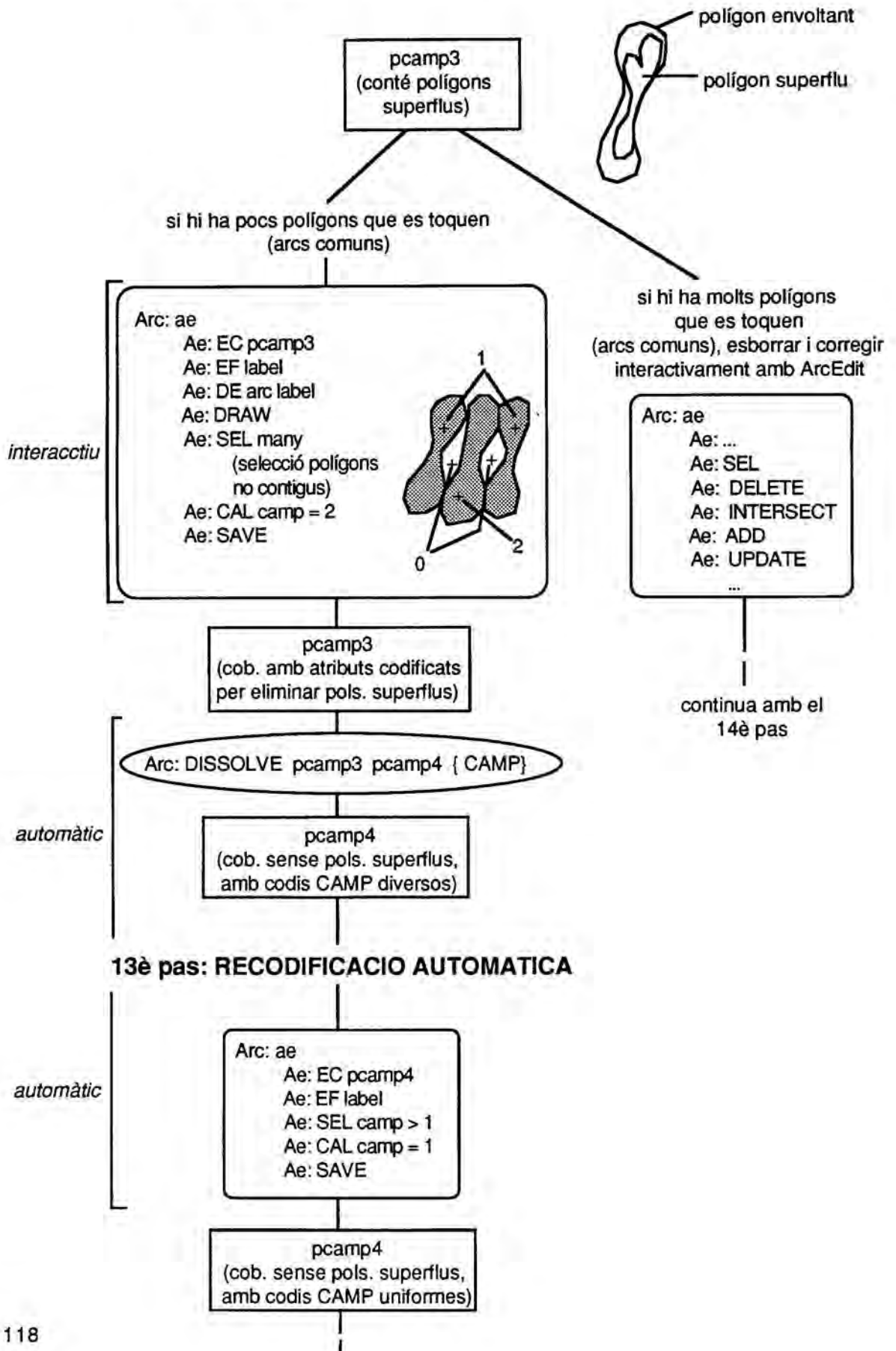


(Figura 4.21)

**10è pas: UNIO DE LA COBERTORA DE POLIGONS D'ALLAUS  
AMB LA COBERTORA DE POLIGONS  
PROCEDENTS DE LINIES**



### 12è pas: ELIMINACIO DE POLIGONS SUPERFLUS



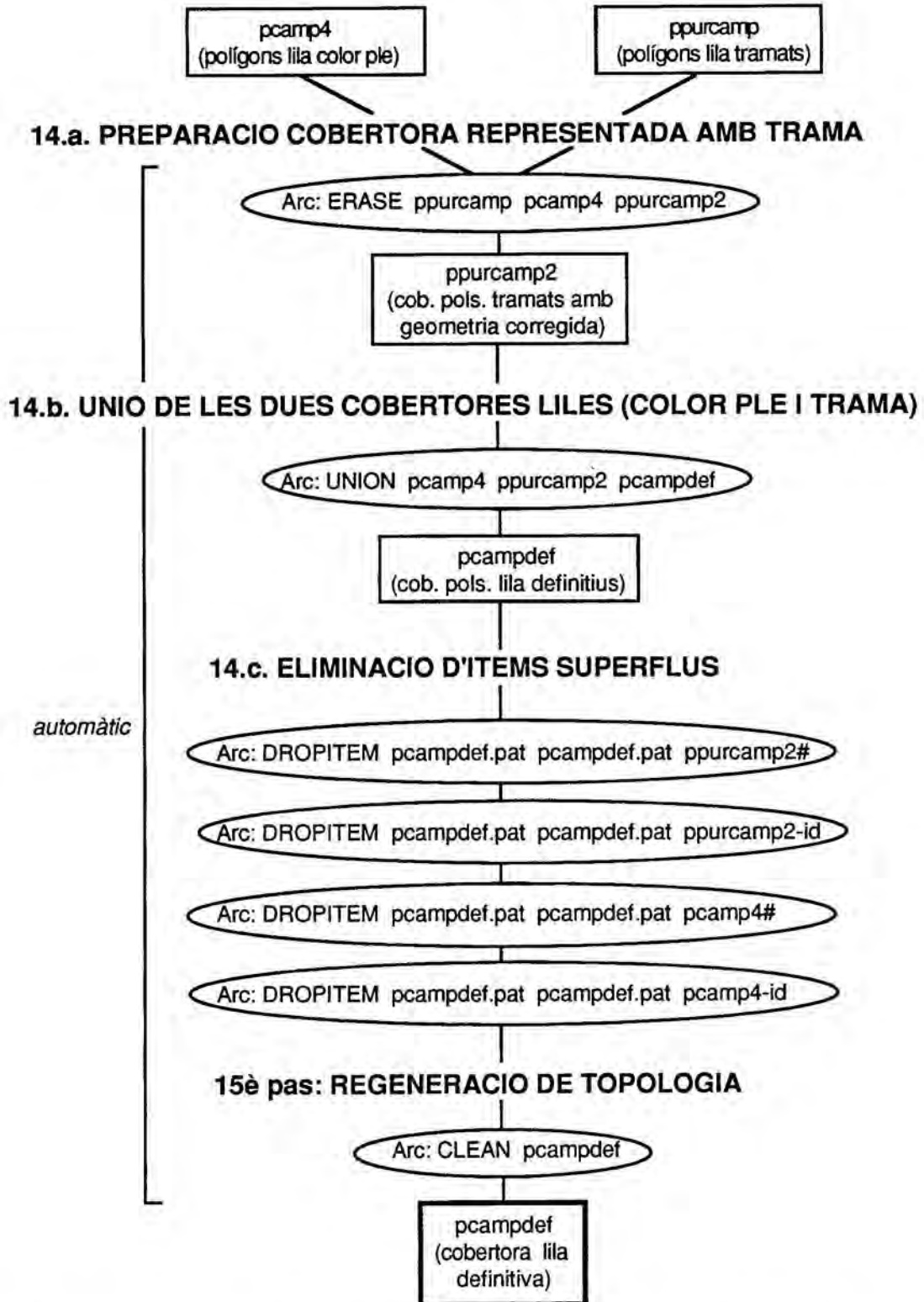
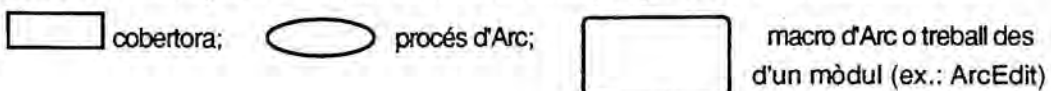
**14è pas: UNIO DE COBERTORES DE CAMP (LILA)**

Figura 4.21: Passos per a l'obtenció de cobertores de polígons i de línies carabassa/lila.



En unir aquests nous polígons als de la zona de sortida i/o arribada de l'allau de la que formen part, el polígon resultant tindrà una superfície que no es correspondrà amb la real, però que s'hi aproximarà més que abans, quan no s'hi sumava cap àrea en considerar un arc per separat.

Els passos 8è i 9è consisteixen en produir la cobertura de línies lila definitiva **lcampdef**. S'esborren automàticament les línies que s'incorporaran als polígons, ja que es duplicaria informació innecessàriament, i es refà la topologia.

El pas 10è consisteix a unir la cobertura de polígons de color ple lila amb la cobertura de polígons allargats lila (provinents d'arcs) en una nova cobertura. En aquest procés es retenen molts ítems o camps innecessaris (com els identificadors de les cobertores d'origen) que es necessari eliminar, tant per reduir el tamany de la cobertura com per a què no es compliquin innecessàriament tots els processos que es puguin fer posteriorment. L'eliminació d'aquests ítems es fa al pas 11.a. Els passos 11.b. i 11.c. consisteixen en codificar els polígons allargats (provinents d'arcs), ja que en el procés d'unió no poden ser codificats automàticament (i la seva codificació prèvia a la unió no serviria, ja que es produeix una pèrdua d'ítems durant el procés).

Al pas 12è es realitza l'eliminació de polígons superflus a partir d'una selecció i recodificació interactiva. Això permet aplicar la comanda DISSOLVE d'unificació de polígons que tenen un atribut comú (camp) sense que s'unifiquin absolutament tots els polígons que estan en contacte (als polígons d'allaus diferents que presenten arcs comuns se'ls canvia el codi); aquesta feina pot reduir-se molt si es fa quan es codifica la cobertura de polígons original -1r pas- i en aquest estadi només es comprova). Amb el pas 13è s'igualen a 1 tots els codis que signifiquen que la informació és lila.

El pas 14è consisteix en adaptar els límits de les zones tramades en lila a la nova geometria que resulta d'haver afegit els polígons allargats (10è pas) i unir les cobertores de color ple i trama. Per acabar, es regenera la topologia de la cobertura de polígons lila definitiva.

Finalment només vull comentar que tot aquest procés s'ha realitzat pas per pas per a les cobertores lila, s'ha integrat en dues macros i s'ha aplicat a les cobertores carabassa, tot donant el bon resultat esperat. A la figura 4.21. s'especifiquen tots els passos que es poden executar automàticament i els que són interactius. La primera macro inclou des del 3r pas a l'11è pas i la segona des del 12è pas fins al 15è pas.

A la cobertura lila s'ha afegit un camp on s'ha donat el número de codi corresponent a la subdivisió en conques de la vall de Valarties (fig. 3.2.) i s'ha imprès el mapa (fig. 3.3.).

#### 4.4. RESTITUCIO DE LES DADES: EL MAPA DE LOCALITZACIO PROBABLE D'ALLAUS.

La restitució de les dades pot consistir tant en la seva representació per pantalla com en la creació de gràfics i mapes sobre suport de paper.

En aquest cas em referiré exclusivament al procés de composició dels Mapes de Localització Probable d'Allaus de cara a l'obtenció de mapes impresos.

La generació i compaginació dels mapes es realitza amb el mòdul ArcPlot, que proveeix de les utilitats cartogràfiques necessàries per al disseny i producció de mapes (ESRI, 1992). Aquest és, doncs, un exemple de la utilització del modul d'interrogació i restitució de dades ArcPlot.

##### 4.4.1. Composició de mapes: Comandes bàsiques d'AP i utilització de les llibreries de símbols.

Per al disseny i producció de mapes amb AP cal seguir les següents passes (taula 4.7.):

#### COMPOSICIO DE MAPES AMB ARCPLOT A PARTIR DE COBERTORES DE CORBES DE NIVELL

	<u>COMANDES D'ARCPLOT</u>
Característiques del full de paper:	WEEDDRAW OFF PAGEUNITS <cm> PAGESIZE <20 25>
Nom de la composició de mapa:	MAP <nom_mapa>
Característiques del mapa:	MAPEXTENT <nom_cobertora1_que_volem_representar> MAPUNITS <meters> MAPSCALE <15000> MAPLIMITS <1 1 19 24>
Dibuix de les corbes de dues cobertores (una sobre l'altra)	ARCS <nom_cobertora1> LINESET <nom_libreria_simbols> (carto.lin) LINESYMBOL <nº_símol_escollit> (251) ARCS <nom_cobertora2>

*Taula 4.7.: Comandes per a la restitució sobre paper de, per exemple, dues cobertores de línies diferents, superposades. (Simplificació, ja que no s'inclouen elements cartogràfics tals com Nord i escala).*

- Assignar les característiques del full de paper on s'imprimirà el mapa (extensió i unitats de mesura).
- Donar nom o crear el mapa o composició de mapa.
- Assignar les característiques del mapa (extensió geogràfica que cobreix, unitats de mesura en què s'han adquirit les dades, escala de sortida, extensió que ocuparà sobre el paper ).
- Representar les dades georeferenciades per mitjà de llibreries o conjunts de símbols (areals, linials o puntuals).
- Afegir els elements cartogràfics necessaris (nord, escala, llegenda, etc.) i els títols.

Per poder reproduir el mapa tantes vegades com calgui és interessant de crear una "macro" (fitxer amb extensió .aml amb totes les comandes necessàries per fer el mapa, ben ordenades). A la macro cal introduir-hi les coordenades de cada element del mapa (enloc de \*), en les unitats del paper (per tant, és recomanable d'anotar-les o d'anar editant la macro a mesura que es va creant el mapa). Als annexos 2 i 3 , a més dels mapes, incloc les macros amb les que els he creat.

La representació de les dades georeferenciades (corbes de nivell, zones d'allaus, etc.) es fa tot assignant símbols. Es pot assignar un únic símbol a una cobertura, o a un subconjunt d'elements de la cobertura (comandes RESELECT, ASELECT i NSELECT).

Els símbols poden ser areals, linials, puntuals o de text, i s'agrupen en llibreries o conjunts de símbols. Cada símbol té un número d'identificació.

AP té diverses llibreries de cada tipus de símbol (areals, linials, etc.). A més, cada usuari pot crear-se els seus propis símbols.

AP considera una llibreria linial, puntual i de text per defecte, i assigna un símbol per defecte per representar arcs, punts i text. Si es vol personalitzar la composició de mapa, s'ha de seleccionar una llibreria, un símbol d'aquesta llibreria i, si s'escau, el seu color el seu gruix, etc. També és possible assignar símbols segons els valors d'un ítem de la taula d'atributs. Les comandes bàsiques per utilitzar les llibreries i símbols per defecte o les llibreries i símbols redefinits les resumeixo a la taula 4.8.

**TAULA-RESUM: UTILITZACIO DELS SIMBOLS EN ARCPLOT**

SELECCIO LLIBRERIES DE SIMBOLS	per defecte (fixer) selecció	POLIGONS	ARCS	PUNTS	TEXT
UTILITZACIO SIMBOLS GENERALS ("CURRENT") (representació habitual per pantalla; ex: símbols utilitzats durant l'edició de cobertores)		PLOTTER.SHD SHADESET <fixer> POLYGONS (dibuixarà els arcs)	PLOTTER.LIN LINESET <fixer> ARCS ...	PLOTTER.MRK MARKERSET <fixer> NODES LABELS POINTS ...	(PLOTTER.TXT) TEXTSET <fixer>
SELECCIO DEL SIMBOL		SHADESYMBOL <codi>	LINESYMBOL <codi>	MARKERSYMBOL <codi>	TEXTSYMBOL <codi>
SELECCIO	COLOR	SHADECOLOR <codi>	LINECOLOR <codi>	MARKERCOLOR <codi>	TEXTCOLOR <codi>
CARACTERISTIQUES DEL SIMBOL	MIDA ...	SHADESIZE <mida> ...	LINESIZE <mida> ...	MARKERSIZE <mida> ...	TEXTSIZE <mida> ...
DIBUIX CARACTERISTIQUES ELEMENTS SELECCIONATS SEGONS ELS SEUS ITEMS (aplica llibreries seleccionades prèviament en fitx.)		POLYGONSHADES...	ARCLINES...	POINTMARKERS... LABELMARKERS... NODEMARKERS...	

**ARGUMENTS I OPCIONS DE LES COMANDES QUE APLIQUEN LLIBRERIES PREDEFINIDES SEGONS UN ITEM:**

POLYGONSHADES <cover> <item l symbol> {lookup\_table} {angle\_item l angle}  
 POLYGONTEXT <cover> <item l symbol> {lookup\_table}  
 ARCLINES <cover> <item l symbol> {lookup\_table}  
 ARCTEXT <cover> <item l symbol> {lookup\_table}  
 POINTMARKERS <cover> <item l symbol> {lookup\_table}

Taula 4.8.: Utilització de símbols en ArcPlot. Indico com utilitzar les llibreries i símbols per defecte, i quines comandes cal utilitzar per seleccionar llibreries, símbol i característiques dels símbols. A més, indico algunes comandes que permeten assignar símbols en funció del valor d'un item de la taula d'atributs.



#### 4.4.2. La composició del Mapa de Localització Probable d'allaus.

Per a la composició dels mapes de Localització Probable d'Allaus he seguit les següents passes:

- Desactivar la simplificació automàtica de les línies (WEEDDRAW OFF).
- Donar nom al mapa.
- Assignar les característiques del full de paper (unitats de mesura i extensió del paper).
- Crear el requadre en el que s'emmarca el mapa.
- Dibuixar les coordenades de referència (UTM)
- Crear la llegenda. Consta de tres cobtores (allaus, pics i altres referències) i una sèrie de fitxers i línies de text. Cal indicar on es situarà cada cobertura i cada fitxer i línia de text, així com les llibreries de símbols, els símbols, les llibreries de text, les fonts, la mida de la lletra i la seva qualitat per a cada element de la llegenda. En cas que no hi hagi una especificació concreta, el programa assigna l'última de les llibreries, símbols i característiques dels símbols definits.
- Dibuixar l'escala amb les unitats de pàgina (o del paper) adequades, tot definint-la com un únic element del mapa (inici amb MBEGIN i finalització amb MEND).
- Insertar l'esquema de situació. Consta d'una cobertura (que s'ha d'insertar a una escala adequada) i línies de text amb els noms dels fulls topogràfics de referència. S'ha de definir com un únic element del mapa i situar la posició de cada element.
- Dibuixar el "Nord" i definir-lo com un únic element del mapa.
- Insertar els crèdits. Són dos fiters de text i una cobertura amb l'anagrama de la UB). Tot s'ha de posicionar i s'ha de representar l'anagrama de la UB a una escala adequada.
- Crear els títols, amb les mides de lletra corresponents.
- Crear el mapa pròpiament dit, com un únic element:
  - Definir els colors i les característiques de les línies de la cobertura de topografia i insertar-la.
  - Definir el símbol dels pics i insertar la cobertura dels pics. Afegir els topònims.
  - Definir els colors i les característiques de les línies de la cobertura dels rius i insertar-la.
  - Definir els colors i les característiques dels polígons de la cobertura de llacs i insertar-la.

Definir els colors i les característiques dels polígons de la cobertura de poblacions i insertar-la. Afegir els topònims.

Definir els colors i les característiques de les línies de la cobertura de les carreteres i insertar-la.

Afegir la informació sobre polígons d'allaus: seleccionar un tipus de polígons, assignar-li la llibreria, el símbol, el color, etc. adequat i representar-lo; repetir l'operació per a cada tipus de polígon (color ple lila, trama lila, etc.)

Afegir la informació sobre línies d'allaus: seleccionar un tipus de línia, assignar-li la llibreria, el símbol, el color, etc. adequat i representar-la; repetir l'operació per a cada tipus de línia (carabasses, liles, cornises, esperons, etc.). La selecció es fa entre diferents elements d'una cobertura o, simplement seleccionant la cobertura, per exemple, de línies-cornisa.

- Seleccionar l'element mapa (no tota la composició, sinó només el dibuix del mapa) i generar una rotació per tal de donar-li la orientació correcta cap al nord (com la dels fulls topogràfics 1: 50 000).

-Acabar formalment la composició de mapa (comanda MAP END).

Com es pot veure, es tracta d'un procés llarg i complex, i que demana un tractament molt metòdic. A l'apartat següent faig una valoració de les funcions de restitució de mapes sobre paper d'aquest mòdul d'ArcInfo.

#### 4.4.3. Valoració del mòdul ArcPlot en les funcions de generació de mapes.

La composició de mapes amb ArcPlot presenta una sèrie d'avantatges i de desavantatges. Abans que res, cal dir que ArcInfo no es un programa de disseny gràfic sinó un S.I.G., i per tant, presenta una sèrie de dificultats quan ha de ser utilitzat amb finalitats de disseny i composició.

Els avantatges fonamentals són els següents:

- Com a fet fonamental i molt important, permet **escollir i mantenir l'escala** de representació dels mapes desitjada, i permet fer reduccions i ampliacions tot controlant exactament l'escala de sortida del mapa final. En molts programes de disseny això resulta molt difícil.
- Les llibreries de símbols són força completes, i permeten una bona representació dels mapes. Si no són suficients, l'usuari pot crear-se els seus símbols personalitzats. També permet la representació de polígons amb trama o amb color ple (cosa que no permeten altres programes de dibuix com AUTOCAD).

- Per a un mateix polígon es pot assignar un tipus i color de línia per al seu contorn i un tipus de color o trama per a la seva àrea.
- Es pot representar automàticament els atributs associats a línies o a etiquetes de polígons (per exemple, noms de rius, altituds de corbes de nivell, codi de polígons d'allaus, etc.)

Per altra banda, presenta tota una sèrie de desavantatges, comparat amb altres programes de disseny, que fan el seu ús molt pesat i farragós:

- Cal entrar pel teclat **totes** les comandes, des de les que permeten posicionar un element, fins a les que permeten seleccionar-lo, moure'l o esborrar-lo. Això fa que tot el procés de composició es ralentitzi molt i sigui molt poc àgil. (En això, el mòdul ArcEdit presenta els mateixos problemes: resulta un mòdul d'edició pesat i farragós; per aquest motiu sovint les digitalitzacions es fan amb altres programes més àgils com AUTOCAD).
- Les llibreries de símbols, el símbol concret i les seves característiques també cal assignar-los a través de comandes. Això fa que, per exemple per a una línia de text o un títol calguin, com a mínim cinc comandes per definir la lletra, més una comanda per posicionar-lo, més la comanda en la què s'incorpora el text.
- Cal donar les coordenades exactes en unitats del paper per a cada element que es vol situar al mapa, i per tant, si la composició és una mica complexa, cal fer un disseny acurat sobre paper mil·límetrat de la disposició i la mida dels elements abans d'iniciar la composició. Qualsevol error inicial o mal càlcul en la longitud, per exemple, d'un títol comporta, com a mínim, l'escriptura de dues comandes per reposicionar-lo.

Per altra banda, per a elements com l'escala gràfica, cal donar les coordenades inicials i finals de cada una de les línies que la componen, que han d'estar calculades prèviament, i les coordenades per posicionar cada un dels números, a més dels números. Això esdevé una feina molt pesada.

- No es pot "arrossegar" cal element per pantalla i resituar-lo. Cal seleccionar-lo i, per mitjà d'una altra comanda, donar-li les coordenades "antigues" i les "noves" coordenades a on es vol moure per mitjà d'una altra comanda.
- Les cobertores que contenen les corbes de nivell, les zones d'allaus, etc., tot i que sempre queden ben superposades entre elles, sovint no queden ben situades a l'espai de la composició de mapa que se'ls assigna (possiblement per algun detall en els fitxers .BND o .TIC), i sempre s'han de reposicionar.

- Com ja he dit, es pot representar automàticament un atribut, com per exemple les cotes de les corbes de nivell. En aquest exemple, la cota es representa automàticament al punt mig de cada arc, i no es pot canviar si no és anant sobre el mòdul d'edició ArcEdit i tallant i unint els arcs convenientment per a què el seu punt mig caigui on ens interessa. Això implica fer còpies sobre paper per identificar què interessa canviar, i editar cada cobertura i modificar-la tantes vegades com calgui i fer tantes proves sobre paper com calgui per tal que el resultat final sigui impecable.

Evidentment, és una feina pesadíssima, que implica entrar i sortir dels diferents mòduls ArcEdit i ArcPlot. Tot plegat, pot representar un cost en còpies sobre paper i en temps molt elevat per a molts usuaris.

Crear una composició de mapa esdevé, doncs una feina molt metòdica i pesadíssima.

La justificació de la utilització d'ArcPlot és, fonamentalment, el control de l'escala, i el convenciment de que s'eviten problemes no havent de transformar les cobertores a fitxers amb altres formats importables des de programes de disseny gràfic.

No pel fet de ser tant farragós deixa de ser una eina potent. La seva utilització també és perfectament justificable si de la composició de mapa creada es pot utilitzar altra vegada si hi ha alguna modificació en una cobertura (per exemple, l'engrandiment d'una zona d'arribada d'allau). En aquest cas només cal tornar a fer córrer la macro i s'obté fàcilment el mapa modificat.

També és justificable, des del punt de vista d'un organisme cartogràfic, si el mateix format de composició de mapa serveix per a diversos fulls d'una sèrie, i només cal variar els fitxers de text dels títols i els continguts dels mapes (si tots els fulls tinguessin la mateixa mida).

De tota manera, crec que és necessària la incorporació d'altres programes (com ArcView, ja al mercat, que genera representacions de mapes a partir de cobertores d'ArcInfo, entre d'altres). Aquests nous programes, que equivalen a un únic mòdul d'ArcInfo, molt més ergonòmics, basats en sistemes de menús i molt més automatitzats, faciliten molt la feina de l'usuari, i poden ser un alicient en l'ús del S.I.G., ja que faciliten enormement la presentació de resultats.

## **5. ANALISI DE SUPERFÍCIES AMB EL MODUL TIN D'ARC/INFO**

Una vegada es disposa de les dades topogràfiques, de zones d'allaus degudament organitzades, i d'una planimetria bàsica, el pas següent consisteix en l'explotació de totes aquestes dades.

En aquest treball no pretenc fer una explotació exhaustiva de les dades, sinó apuntar unes línies en les que un S.I.G. esdevé una eina més que útil, tant en la gestió de grans bases de dades que cobreixen territoris extensos, com si és utilitzat com a eina per obtenir dades per a posteriors usos més específics. Els capítols 6. i 7. són dos exemples d'això.

En l'explotació de les bases de dades, la possibilitat de realitzar anàlisis i obtenir dades a partir de superfícies tridimensionals significa disposar d'una eina molt potent i suposa una millora considerable en comparació amb l'ús de mapes bidimensionals clàssics.

He considerat que el tractament de les dades topogràfiques amb el mòdul TIN per obtenir "mapes" tridimensionals té prou entitat com per constituir un capítol per ell sol en aquest treball.

Així doncs, en aquest capítol es presenten els principis que regeixen la modelització i l'anàlisi de superfícies en el S.I.G. Arc/Info (és a dir, el mòdul TIN), les proves de resolució dels tins que ha estat necessari realitzar per trobar el model de superfície més adequat per a aquest treball, i l'obtenció de dades a partir d'aquest model o anàlisi de superfícies (en el sentit utilitzat per ESRI).

L'explotació de les dades obtingudes en l'anàlisi de superfícies la presento als capítols següents.

### **5.1. PRINCIPIS DE LA MODELITZACIO DE SUPERFÍCIES AMB TIN.**

TIN és un paquet de modelització de superfícies utilitzat per crear, emmagatzemar, analitzar i representar informació de superfícies tridimensionals. TIN vol dir "Triangulated Irregular Network" (xarxa irregular triangulada), és a dir, conjunt de triangles adjacents que no es

solapen, computats a partir de punts irregularment situats a l'espai, amb coordenades  $x,y$  i valors de  $z$  (ESRI, 1987), que en aquest treball corresponen a altituds topogràfiques.

El model TIN emmagatzema les relacions topològiques entre els triangles i els seus adjacents. Aquesta estructuració de les dades permet una generació eficaç de **models de superfície** per a l'anàlisi i representació de superfícies del terreny i d'altres tipus (ESRI, 1987).

El paquet de software TIN consisteix en comandes especialitzades d'ARC i ARCPLOT, així com de macros completament integrades en el S.I.G. ARC/INFO.

Aquest paquet de software suporta dos models de dades per representar superfícies: TINS i LATTICES. Ambdues estructures de dades són abstraccions digitals o aproximacions a les superfícies del món real (ESRI, 1987). Per aquest treball s'ha utilitzat el model TIN. Les raons les comento a l'apartat 5.2. que fa referència a les proves de resolució dels tins. L'estructura de les dades d'un tin està basada en dades de polígons, línies i punts espaiades irregularment, interpretades com a *punts de massa* ("mass points") i *línies de ruptura* ("breaklines") (ESRI, 1987), que comento amb detall més endavant .

En principi no existeix un límit per a la dimensió o grandària de les superfícies tin generades; l'únic límit és l'espai de disc disponible per als fitxers temporals necessaris per a la construcció del tin, i per a l'estocatge del tin una vegada construït. Per executar la comanda d'Arc "CREATETIN", que és la utilitzada en aquest treball per crear superfícies, calen aproximadament 100 bytes d'espai per a fitxers temporals per a cada punt introduït per crear el tin, i uns 68 bytes per emmagatzemar cada punt del tin resultant (ESRI España, com. pers.).

### 5.1.1. Concepte de superfície i superfície funcional.

Com ja he comentat a l'apartat 4.1.1., la major part d'aplicacions d'ARC/INFO usen informació geogràfica *discreta*, com ara classificacions de sòls, zonacions, ús de sòl, tipus de litologia, zones d'allaus, etc. En canvi TIN treballa amb dades contínues, com ara elevacions, pluges, concentració de pol·lució, etc. Les dades contínues poden ser representades com a superfícies contínues, en general sense canvis bruscos o abruptes.

En general, la transició entre possibles valors en una superfície contínua es produeix sense canvis abruptes o ben definits entre els valors. L'atribut de la superfície (en aquest cas l'altitud) és emmagatzemat com a **valor de  $z$** , una única variable en la dimensió vertical, amb una localització donada per  $x,y$ . Així, els valors d'elevació per a una superfície són continus al llarg de tota la superfície, i qualsevol representació de la superfície és merament una mostra o subconjunt dels valors totals d'aquesta (ESRI, 1987).

TIN representa superfícies com a **superfícies funcionals**. Les **superfícies funcionals** tenen la característica d'emmagatzemar **un únic valor de  $z$**  (com a oposat a diversos valors de  $z$ ) per a cada localització  $x,y$ . L'exemple més comú és la superfície terrestre,

batimetries,... (Les superfícies funcionals també poden ser utilitzades per representar *superfícies estadístiques* que descriguin dades climàtiques, demogràfiques, de concentració de recursos, o altres tipus de dades biològiques, i també per representar *superfícies matemàtiques* basades en expressions aritmètiques com  $Z=a+bX+cY$ ). Sovint, les **superfícies funcionals** són denominades com **superfícies de 2,5 dimensions** (ESRI, 1987).

Les superfícies funcionals són considerades **contínues**. Això vol dir que en aproximar-se a un punt  $x,y$  donat, des de qualsevol direcció, es troba sempre un únic valor de  $z$  per a aquest punt. Això pot contrastar-se amb una superfície discontinua, on el valor de  $z$  depèn de la direcció d'aproximació (fig. 5.1.)

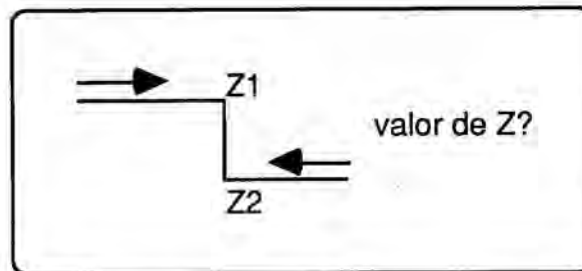


Figura 5.1.: Exemple de superfície amb una discontinuïtat vertical (el valor de  $z$  depèn de la direcció d'aproximació). Aquest és un exemple del que no es pot donar en una superfície funcional, contínua per definició. (Segons ESRI, 1987).

Els tins, doncs, són superfícies funcionals compostes per triangles adjacents.

### 5.1.2. La triangulació i el criteri de Delaunay

L'estructura de dades de TIN està basada en dos elements: punts o nodes amb valors d' $x,y,z$  i sèries d'arestes que enllacen aquests punts per formar triangles. Aquest mosaic triangular forma una superfície facetada contínua. El mètode de triangulació tin satisfà el criteri de Delaunay.

La *Triangulació Delaunay* és un mètode proximal que satisfà el requeriment de que un cercle dibuixat a través dels tres nodes d'un triangle no contindrà cap altre punt (fig. 5.2). Això implica que cada un dels punts està connectat amb els seus dos veïns més pròxims per formar els triangles. La *Triangulació Delaunay* presenta una sèrie d'avantatges respecte a altres mètodes de triangulació:

- Els triangles són tan equiangulars com és possible, i això redueix els problemes de precisió numèrica potencials derivats de triangles molt llargs i estrets.
- Assegura que cada punt de la superfície se situa tan pròxim com és possible a un node (punt amb valors d' $x, y$  i  $z$ ).
- La triangulació és independent de l'ordre en què són processats els punts.

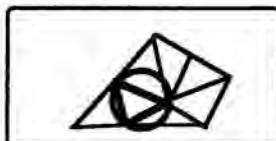


Figura 5.2.: Triangulació de Delaunay (Segons ESRI, 1987).

### 5.1.3. Les línies de ruptura.

Les **línies de ruptura** defineixen i controlen el comportament de la superfície en termes de suavitat (vegeu apartat següent, 5.1.4.) i continuïtat. Com el seu nom indica, les línies de ruptura són elements linials. Els valors de  $z$  al llarg d'una línia de ruptura poden ser constants o poden variar al llarg d'ella (ESRI, 1987).

Per descriure el comportament d'una superfície es poden utilitzar tres tipus de línies de ruptura (ESRI, 1987):

- línies de ruptura toves
- línies de ruptura dures**
- falles

Les **línies de ruptura dures**, que són les que s'han utilitzat en aquest treball, defineixen interrupcions en la suavitat de la superfície. Poden ser usades per produir un canvi abrupte en el comportament de la superfície, com en els casos del límit d'un cos d'aigua, un canvi de material o una carretera i, per tant, s'utilitzen típicament per definir torrents, crestes, línies de costa, preses i altres localitzacions de canvi bruscat en la superfície (ESRI, 1987).

En el cas d'una línia de ruptura dura que defineixi un estany (que és el cas d'aquest treball), els valors de  $z$  no varien al llarg de la línia de ruptura. La superfície presenta un comportament suau als vessants i a la superfície de l'estany (horitzontal), però les normals al pendent varien bruscament d'un costat a l'altre de la línia de ruptura.



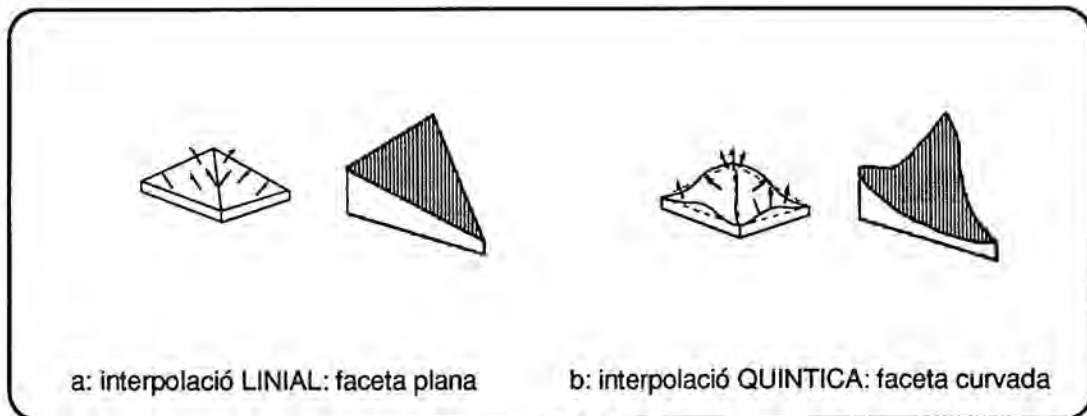
#### 5.1.4. Els tipus d'interpolació.

Com que és impossible emmagatzemar la totalitat dels valors de  $z$  per a tots els punts d'una superfície, TIN utilitza diferents sistemes d'interpolació per calcular els valors de  $z$  en els diferents punts de la superfície per als quals no s'han introduït dades (ESRI, 1987). Per exemple, es realitza interpolació quan es genera un mapa d'isolínies (corbes de nivell) a partir d'un tin o quan es generen perfil topogràfics.

Els dos interpoladors utilitzats pels models de superfície tin són el LINIAL ("LINEAR") i el "QUINTIC". En aquest treball han estat utilitzats en les proves de resolució de perfils topogràfics.

La interpolació LINIAL considera la superfície com una superfície contínua facetada formada per triangles plans (que no horitzontals) (la normal a la superfície és la mateixa per a tota la superfície coberta per un triangle) (fig. 5.3.a.). El valor d'un punt interpolat es calcula únicament a partir dels valors dels nodes del triangle en què el punt interpolat queda inclòs (ESRI, 1987).

La interpolació QUINTICA també considera la superfície com a contínua; però a més, considera que el model, en lloc de ser facetat, és suau (les normals de la superfície varien contínuament dins d'un mateix triangle) (fig. 5.3.b.). Aquesta interpolació es posa de manifest sobretot quan s'han utilitzat línies de ruptura dures en la construcció del tin.



*Figura 5.3.: Característiques dels models de superfície tin quan s'utilitzen els interpoladors LINIAL i QUINTIC; les fletxes representen les normals a la superfície en els triangles tin. a: amb interpolació LINIAL la faceta d'un triangle tin és plana; b: amb interpolació QUINTICA la faceta d'un triangle tin és corbada i pot ser còncava o convexa segons sigui el comportament dels triangles adjacents (Segons ESRI, 1987).*

**5.1.5. Fonts de dades.**

Els models de superfície tin poden ser creats a partir d'una àmplia varietat de fonts de dades (ESRI, 1987) (fig. 5.4):

- 1.- Cobertores d'ARC/INFO de punts, línies o polígons.
- 2.- Mapes de corbes de nivell / Isolínies.
- 3.- Dades d'estereoploter.
- 4.- Punts distribuïts a l'atzar emmagatzemats en fitxers ASCII.
- 5.- Dades de línies de ruptura en fitxers ASCII.
- 6.- Lattices.
- 7.- Tins existents.

En negreta he ressaltat les fonts de dades utilitzades per TIN en aquest treball.

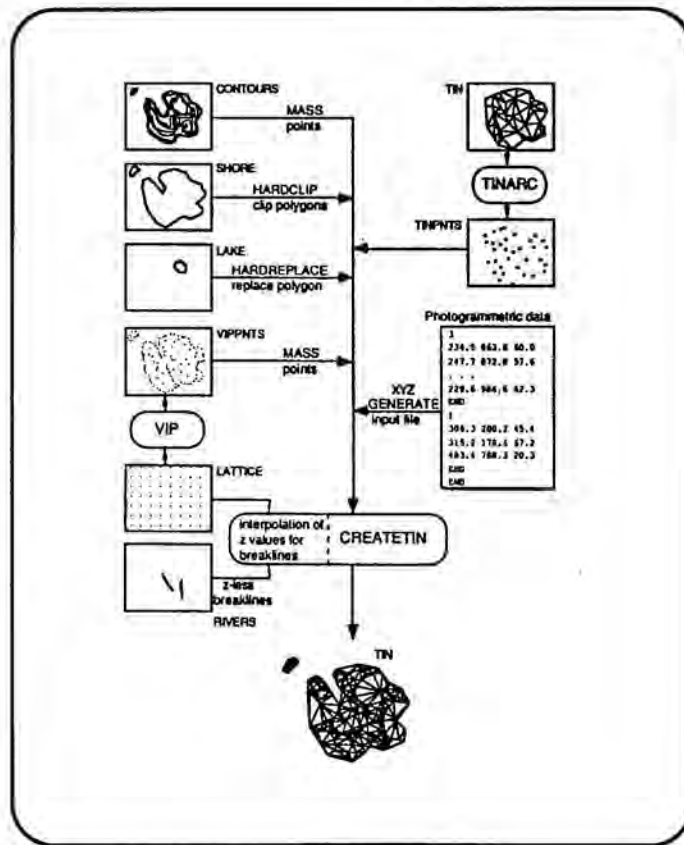


Figura 5.4.: La macro CREATETIN permet de combinar dades de molt diverses fonts per crear un model de superfície (Segons ESRI, 1987).

Per exemple, es pot introduir una cobertura de línies que contingui isolínies que representin corbes de nivell, i una cobertura de polígons que contingui llacs o altres superfícies planes que vulguin mantenir-se com a tals en el model de superfície, que és el que s'ha fet en aquest treball.

### 5.1.6. Capacitat d'anàlisi de superfícies

Quan un model de superfície ha estat creat pot ser analitzat, representat en vistes panoràmiques o amb perspectiva. Els models de superfície poden ser convertits a qualsevol dels altres models suportats per ARC/INFO, cosa que permet un processament S.I.G. adicional, com he fet al capítol 6, d'explotació de la cartografia numeritzada. Les capacitats de modelització de superfícies TIN inclouen (ESRI, 1987):

- Interpolació de valors de z de la superfície.**
- Generació d'isolínies.**
- Càlcul de pendents, orientació, àrea i longitud de superfícies.**
- Generació de polígons proximals Thiessen.
- Anàlisi volumètrique i de "cut-fill".
- Extracció d'elements importants de les superfícies.
- Generació de perfils sobre una o més superfícies.**
- Determinació d'intervisibilitat entre dos punts.
- Anàlisi de visibilitat sofisticada.
- Projecció d'ombres ("hillshading") analítica.

En negreta he ressaltat les capacitats de TIN utilitzades en el present treball.

## 5.2. PROVES DE RESOLUCIO DE TINS I VERIFICACIO DE LA BONDAT DELS MODELS OBTINGUTS.

Per a obtenir el tin més adequat per als objectius d'aquest treball he fet una sèrie de proves, força sistemàtiques, sobre una petita àrea preseleccionada.

Les capacitats de representació planimètrica de les superfícies són de gran ajuda alhora d'avaluar la qualitat d'aquestes superfícies.

Les capacitats de representació de les superfícies tin estan incorporades en l'entorn de representació d'ARCPLOT (ESRI, 1987). Aquestes capacitats inclouen, entre altres, les representacions en 2D següents, que han estat utilitzades per a la verificació de la bondat dels tins en aquest treball:

- Dibuix dels triangles del tin, dels seus nodes, envoltant ("hull"), i arestes, classificades per tipus d'arestes diferents.
- Coloració dels triangles del tin basada en pendents, orientacions i valors de z,
- Representació d'isolinies segons intervals especificats.

Als apartats següents presento la zona seleccionada, els mètodes de verificació dels models tin, el mètode seguit per a la realització de les proves, i l'avaluació i construcció del millor model per a aquest cas.

### **5.2.1. Selecció de l'àrea de prova.**

L'àrea seleccionada per a les proves de resolució dels tins és la mateixa amb la que he fet les proves de simplificació de cobertores de topografia (capítol 4.3.3., fig. 4.10.). Aquesta àrea inclou un torrent i una carena, amb inflexions considerables en les corbes de nivell, de manera que és força representativa dels accidents del relleu de tota la zona estudiada.

Una altra característica és que aquesta zona, amb morfologia de conca nivo-torrencial, és afectada pràcticament en la seva totalitat per una zona d'allaus, sobre el poble de Bossost (full de Bossost/Canejan).

En aquest treball, en àrees molt extenses (fulls topogràfics a escala original 1:50.000) es localitzen objectes relativament molt petits (zones d'allaus).

En la construcció de superfícies, el sistema Arc/Info efectua una sèrie de simplificacions automàtiques de punts tot aplicant fonamentalment la tolerància weed (capítol 4.2.5.) en funció de l'extensió de l'àrea a tractar. Per tant, si aquestes simplificacions es fan sense control, la superfície resultant serà representativa del conjunt de l'àrea coberta (equivalent a cada un dels fulls tractats, que tenen extensions diferents), les superfícies tindran resolucions diferents i totes les dades derivades no seran comparables. A més, els triangles resultants seran massa grans per a representar les característiques de les relativament petites zones d'allaus i els seus perfils longitudinals amb detall.

Les toleràncies, com en el cas de la simplificació de les cobertores de topografia, poden ser fixades en el procés de generació dels tins de manera que s'impedeixi una simplificació excessiva de punts. Per això és important efectuar les proves de resolució amb una àrea que sigui representativa de les dimensions dels objectes a tractar. Per tant, he escollit una àrea que representa una zona d'allaus.

### 5.2.2. Mètodes de verificació de la bondat dels models tin.

Els mètodes de verificació dels models de superfície tin són diversos i complementaris. A continuació descriu els que he fet servir per a la validació de la petita superfície seleccionada, tot exposant breument els principis en els que es basen.

#### Identificació de triangles plans.

Els triangles plans (horizontals) es formen a partir de tres nodes que tenen el mateix valor de *z*. Cal considerar si es lògica i correcta o no l'existència de zones amb triangles plans en el context objecte d'estudi.

Els triangles plans vàlids acostumen a produir-se en zones realment planes, com cossos d'aigua.

Sovint es produeixen triangles plans invàlids quan es creen tins a partir d'isolínies o corbes de nivell, i especialment en zones de tàlvegs i de crestes. Típicament, les corbes de nivell contenen més vèrtex dels que són necessaris per representar acuradament una superfície. Els triangles plans es generen al llarg de les corbes de nivell quan els vèrtex d'una corba estan més pròxims entre ells que amb els vèrtex de la corba adjacent. Quan es dona aquesta condició, el triangulador Delanuy descobreix que els punts de mostreig més pròxims estan sobre la mateixa corba i genera triangles plans (horizontals) (fig. 5.5.) (ESRI, 1987).

Hi ha diferents solucions a aquest problema. Per un costat, la distància entre els vèrtex d'un mateix arc pot ser augmentada tot utilitzant els arguments de `CREATETIN {weed_tolerance}` o `{proximal_tolerance}`, o la comanda `GENERALIZE` d'Arc (que també estableix un valor de tolerància `weed`) a les cobertores font de dades per al tin. Una altra opció és afegir punts de mostreig addicionals entre les corbes de nivell per tal d'afegir informació de línies de ruptura, però aquesta opció és viable quan l'àrea a tractar és relativament petita i els punts a afegir no són excessius (aquesta no és una bona solució en el cas d'aquest treball).

El primer pas en la verificació d'un tin és usar la comanda `DESCRIBETIN` amb les opcions `{display}` i `FLAT`. Es genera un llistat que descriu la superfície tin, i tot seguit una representació gràfica per pantalla del tin. L'opció `FLAT` il·lumina tots els triangles plans i és útil per diagnosticar la validesa del tin (ESRI, 1987).

Tambe es convenient examinar els triangles plans amb l'opció `TINERRORS` d' `ArcPlot`, que alhora permet la seva restitució en forma de mapa sobre paper.

### **Identificació de triangles llargs i prims.**

Les millors triangulacions són aquelles en les que els triangles són el més equiangulars possible. Un bon tin no ha de tenir un nombre de triangles llargs i prims excessiu. Aquests triangles poden causar problemes de precisió numèrica quan es treballa amb algunes comandes d'anàlisi de superfície, com TINCONTOUR (utilitzada per crear isolínies a partir d'un tin). Cal verificar sempre la presència d'aquests triangles llargs i prims (ESRI, 1987).

En les proves de resolució de tins, els triangles llargs i prims només s'han creat a les zones on l'envoltant de l'àrea de partida no és convexa (figs. 5.6., 5.7., 5.8. i 5.9.). Això no ha suposat cap problema ni en el cas de les proves, ni en el dels tins definitius, ja que amb posterioritat s'ha aplicat un procés de CLIP per eliminar tots els triangles situats fora de l'àrea específica d'estudi (fig. 5.14.). Per aquets motiu no en comento res més d'ara en endavant, però he volgut deixar constància de la realització del control d'aquest possible error.

### **Generació de mapes de corbes de nivell a partir de tins.**

Amb la comanda TINCONTOUR d'Arc es poden generar cobtores de corbes de nivell a partir de qualsevol tin. Evidentment, quant més bona sigui la resolució del tin, més correctes seran les corbes de nivell.

En el cas d'aquest treball, com que per generar el tin es parteix de corbes de nivell, comparant les originals amb les obtingudes a partir de les diferents proves de tins es pot verificar si la resolució dels tins és bona o no.

De tota manera, TINCONTOUR crea les corbes de nivell tot considerant que poden haver-hi triangles plans, sobretot a les zones de tàlvegs, i dibuixa les isolínies tot respectant al màxim la hipotètica xarxa de drenatge (fig. 5.5). Això fa que els triangles plans existents en tàlvegs no es puguin detectar amb la creació de cobtores de corbes de nivell.

És per això que es fa imprescindible utilitzar els dos mètodes de verificació dels tins: la comprovació de la no existència de triangles plans (o que, almenys, siguin els mínims possible), i la generació de corbes de nivell a partir dels tins per comprovar-ne la resolució.

Aquestes verificacions es poden fer a partir de restitucions per pantalla i, si cal, es poden imprimir. A l'apartat següent es presenten els exemples més significatius a les figures 5.6., 5.7., 5.8., 5.9., 5.10., 5.11. i 5.12.

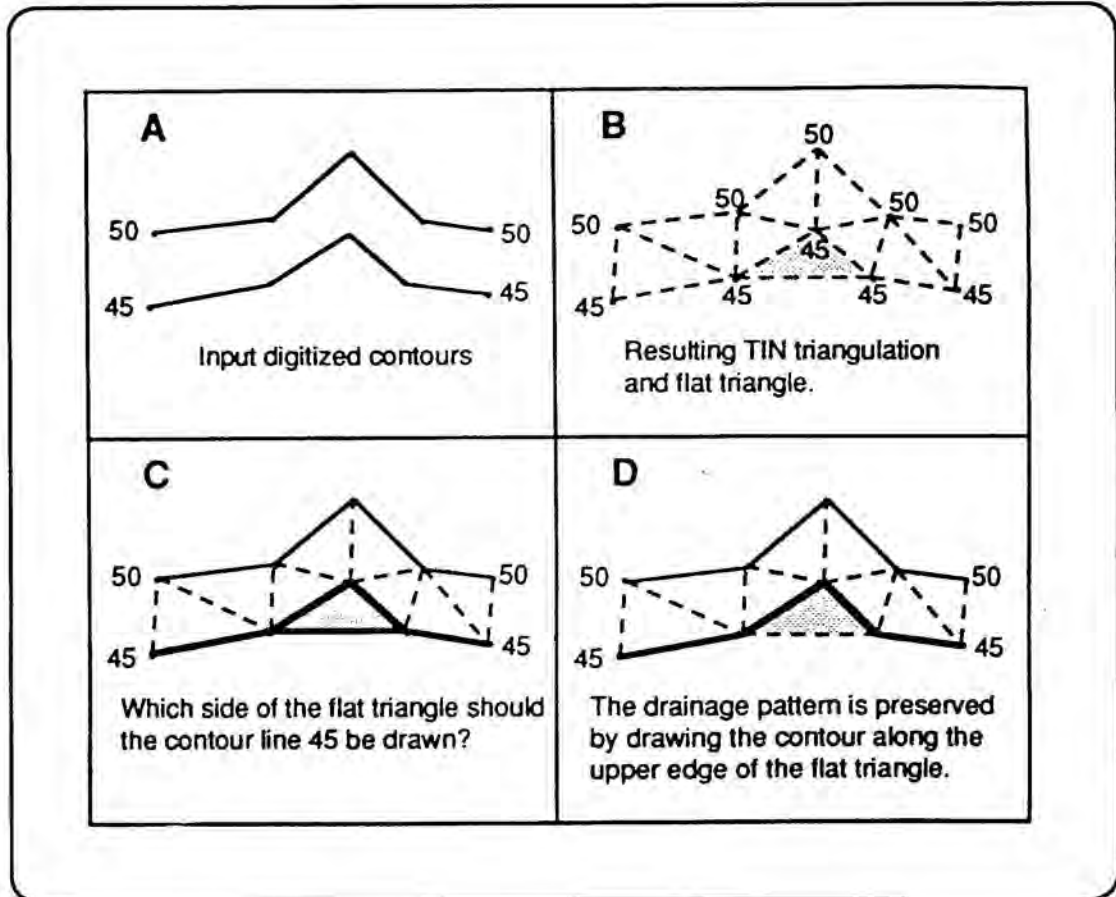


Figura 5.5.: En la generació d'una cobertura de corbes de nivell a partir d'un tin es preserva la xarxa de drenatge, de manera que si el tin no es visualitza no es poden identificar els triangles plans erronis existents en la superfície tin. (Segons ESRI, 1987).

### 5.2.3. Proves de resolució de tins: mètode I resultats.

Per fer les diferents proves de resolució de tins he considerat que havia de seguir el següent mètode, força sistemàtic, que es reflecteix a la taula 5.1.:

COB. D'ORIGEN	CREATETIN (opcions seleccionades)	TIN RESULTANT	COB. CORBES (TINCONTOUR)	(figs.)
CDIC	Sense seleccionar cap opció	TINDIC	—————>	5.6.
			2CTINDIC	5.10.
	punts de CDIC+Hardline (talveg)	TINDICLR	—————>	5.8.
			CDICLR	–
	weed_tol. = 5m	TINDICW5	—————>	–
CTINDIW5			5.11.	
CDICG5	Sense seleccionar cap opció	TINDICG5	—————>	5.7.
			CTINDIG5	5.12.
	punts CDICG5+Hardline (talveg)	TINDICG5LR		5.9.
			CDICG5LR	–

*Taula 5.1.: Taula - Resum de les proves de resolució de tins efectuades i figures presentades en aquest capítol que s'hi corresponen. Indico les opcions seleccionades en generar el tin, el nom del tin resultant, el nom de la cobertura de corbes de nivell generada a partir del tin i si al tin o a la cobertura de corbes de nivell li correspon alguna figura (representació planimètrica) en aquest capítol.*

- **Partir de cobertores de corbes de nivell amb resolució diferent:** He fet proves a partir de la cobertura de topografia original (figs. 4.10) i de la cobertura amb la topografia simplificada (després d'aplicar-li una tolerància weed de 5 m; vegeu capítol 4.3.2.) (fig. 4.11). Això permet veure si és suficient partir de les cobertores simplifiades, amb menys punts per processar, de manera que s'estalviï temps de càlcul i espai de disc per emmagatzamar els tins resultants.

- **Crear tins sense línies de ruptura i amb una línia de ruptura coincident amb el talveg.** Per aplicar la línia de ruptura he superposat una cobertura que conté aquesta línia, però sense valors d'altitud (concepte NODATA; vegeu ESRI, 1987: Surface Modeling with TIN: 2.). He considerat que amb l'extensió de l'àrea a estudiar i la quantitat de tàlvegs i carenes existents no és viable afegir punts amb cotes per a tots els tàlvegs i carenes. Aquesta prova permet veure si el tin resultant millora perquè s'eliminen triangles plans als tàlvegs i carenes.



Val a dir que amb aquestes proves d'introducció de línies de ruptura s'han detectat problemes de software, tant perquè es creen molts més triangles plans que sense línia de ruptura (fig. 5.8. i 5.9.), com perquè crea artefactes en la generació de corbes de nivell (amb molts errors als tàlvegues).

- **Crear tins amb toleràncies diferents.** Entre altres proves, amb la cobertura original també he fet la prova de fixar la tolerància weed = 5 m a partir de la comanda CREATETIN de generació del tin. Entre altres proves, he aplicat la mateixa tolerància que per a la simplificació de cobertores de topografia, ja que, inesperadament, el nombre de punts (vèrtex) resultants de la simplificació de la cobertora de topografia no és el mateix que el nombre de punts resultant de l'aplicació d'aquesta mateixa tolerància durant l'execució de la comanda CREATETIN de generació del tin. He volgut comprovar, doncs, les diferències.

- **Aplicar els mètodes de verificació exposats a l'apartat anterior.** Les figures 5.6., 5.7., 5.8. i 5.9. són les representacions planimètriques (bidimensionals) més significatives dels resultats de les triangulacions, que s'han representat segons els processos reflectits a la taula 5.2. Les figures 5.10., 5.11. i 5.12. són les representacions més significatives de les corbes de nivell generades a partir dels diferents tins, representats segons els processos reflectits a la taula 5.3.

#### COMPOSICIO DE MAPES AMB ARC PLOT A PARTIR DE VISUALITZACIONS DELS TRIANGLES DELS TINS

	<b>COMANDES D'ARC PLOT</b>
Característiques del full de paper:	WEEDDRAW OFF PAGEUNITS <cm> PAGESIZE <20 25>
Nom de la composició de mapa:	MAP <nom_mapa>
Característiques del mapa:	MAPEXTENT <nom_cobertura1_que_volem_representar> MAPUNITS <meters> MAPSCALE <15000> MAPLIMITS <1 1 19 24>
Dibuix dels triangles del tin	TINLINES <nom_tin1> SHADESET <nom_libreria_símbols> (carto.shd) SHADESYMBOL <nº_símol_escollit> (303) TINERRORS <nom_tin1>

Taula 5.2.: Comandes per a la restitució sobre paper dels triangles i els triangles plans dels tins, per mitjà de la utilització d'ArcPlot

## COMPOSICIO DE MAPES AMB ARC PLOT A PARTIR DE COBERTORES DE CORBES DE NIVELL

<u>COMANDES D'ARC PLOT</u>	
Característiques del full de paper:	WEEDDRAW OFF PAGEUNITS <cm> PAGESIZE <20 25>
Nom de la composició de mapa:	MAP <nom_mapa>
Característiques del mapa:	MAPEXTENT <nom_cobertura1_que_volem_representar> MAPUNITS <meters> MAPSCALE <15000> MAPLIMITS <1 1 19 24>
Dibuix de les corbes d'una cobertura	ARCS <nom_cobertura1>

*Taula 5.3.: Comandes per a la restitució sobre paper dels mapes de corbes de nivell generats a partir dels tins, per mitjà de la utilització d'ArcPlot.*

Com es pot observar i com es comenta a l'apartat següent d'avaluació dels resultats, resulta difícil determinar quin és el més bo entre alguns dels resultats. Per això vaig efectuar una tercera prova consistent en crear mapes de pendents dels millors resultats (vegeu apartat 5.3.1.), i compara-los per veure si presentaven diferències significatives (fig. 5.13.)

Arribats a aquest punt, crec que cal que comentis que no he utilitzat el model de superfície LATTICE. Aquest model, basat en cel·les rectangulars, sempre cobreix superfícies rectangulars (considerades en 2D). De manera que si es parteix d'una àrea amb límits irregulars, com és el cas, en generar-se la lattice (a partir d'un tin previ) es creen tots els punts necessaris, espaiats regularment, per a crear totes les cel·les que cobreixin una superfície rectangular que inclogui l'àrea estudiada.

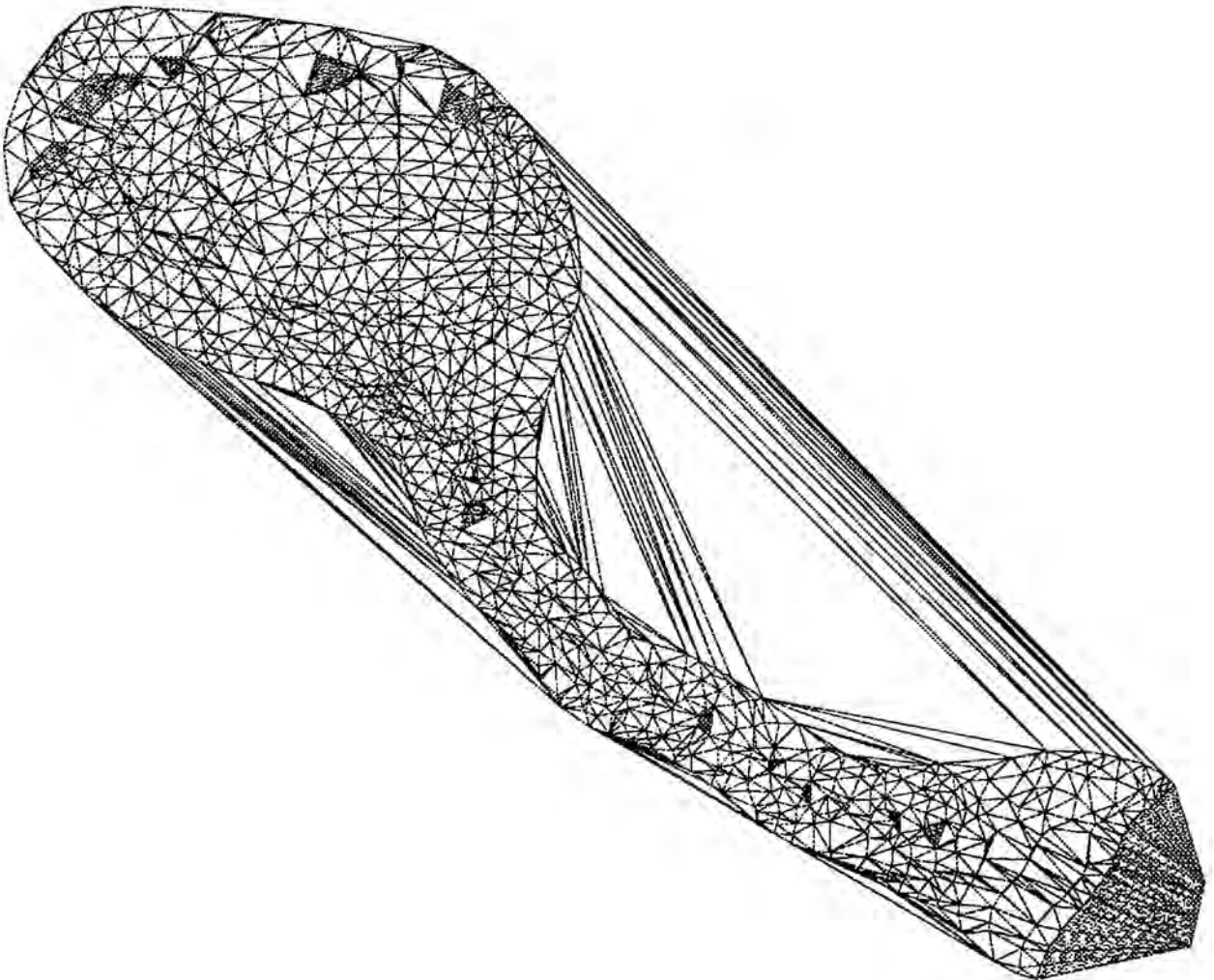
Vaig fer una prova de generació d'una lattice a partir d'una superfície irregular, però el nombre de punts i l'espai de disc necessari per emmagatzemar les lattices i per processar-les feia inviable la seva utilització sistemàtica en el cas d'aquest treball.

Per aquest motiu, els mapes de pendents que es presenten (vegeu apartat 5.3.1. i annex 3) no estan constituïts pels característics rectangles habituals, sinó per triangles irregulars provinents directament dels tins.

# TRIANGLES TIN

*Cobertura sense simplificar*

*escala 1:15.000*



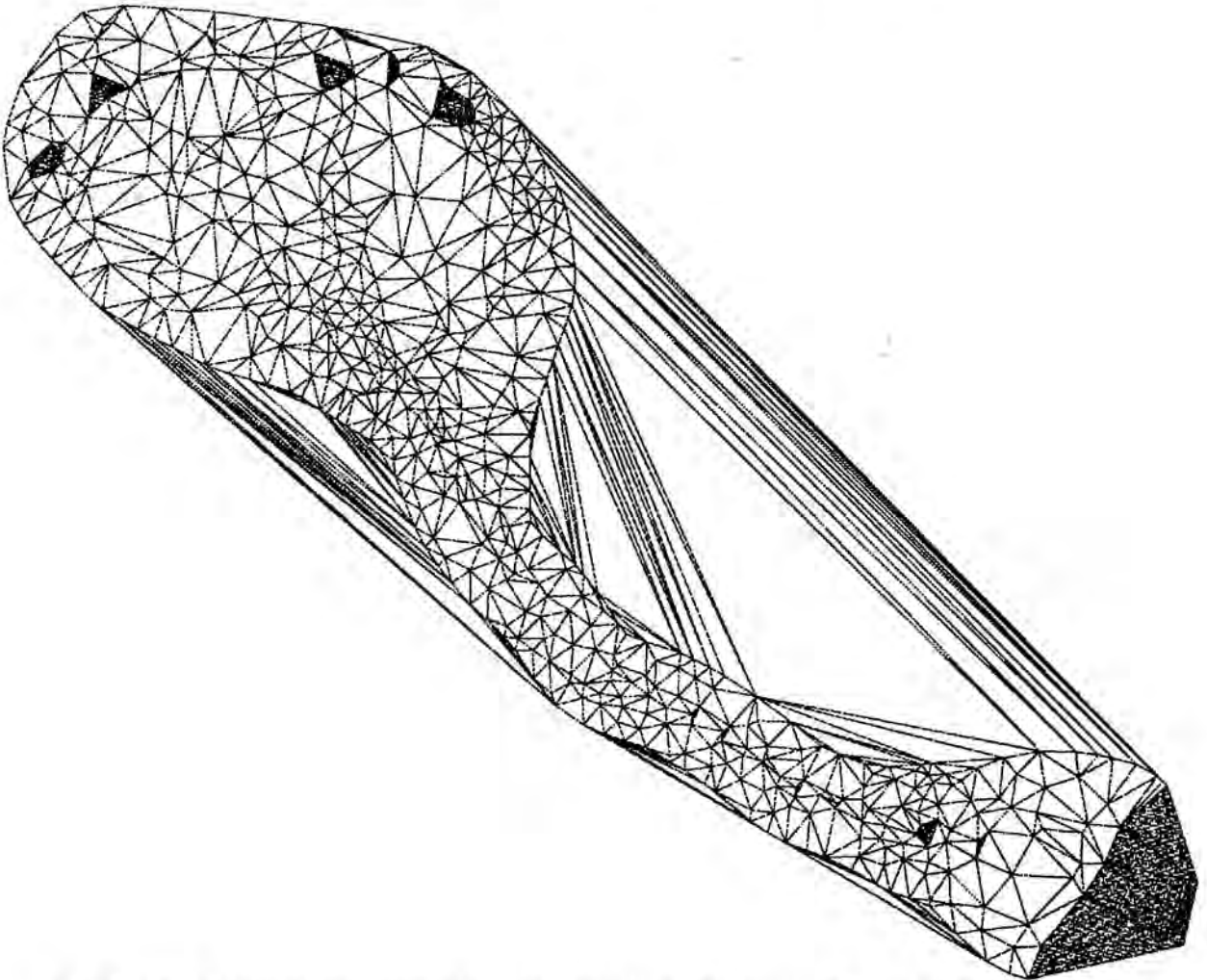
*Figura 5.6.: Representació planimètrica dels triangles del tin generat a partir de la cobertura de topografia sense simplificar. Amb trama fosca es representen els triangles plans d'error.*

# TRIANGLES TIN

*A partir de cobertora simplificada (generalize 5m)*

*Triangles plans error*

*escala 1:15.000*



*Figura 5.7.: Representació planimètrica dels triangles del tin generat a partir de la cobertora de topografia simplificada (tot aplicant una tolerància weed = 5 m). Amb trama fosca es representen els triangles plans d'error.*

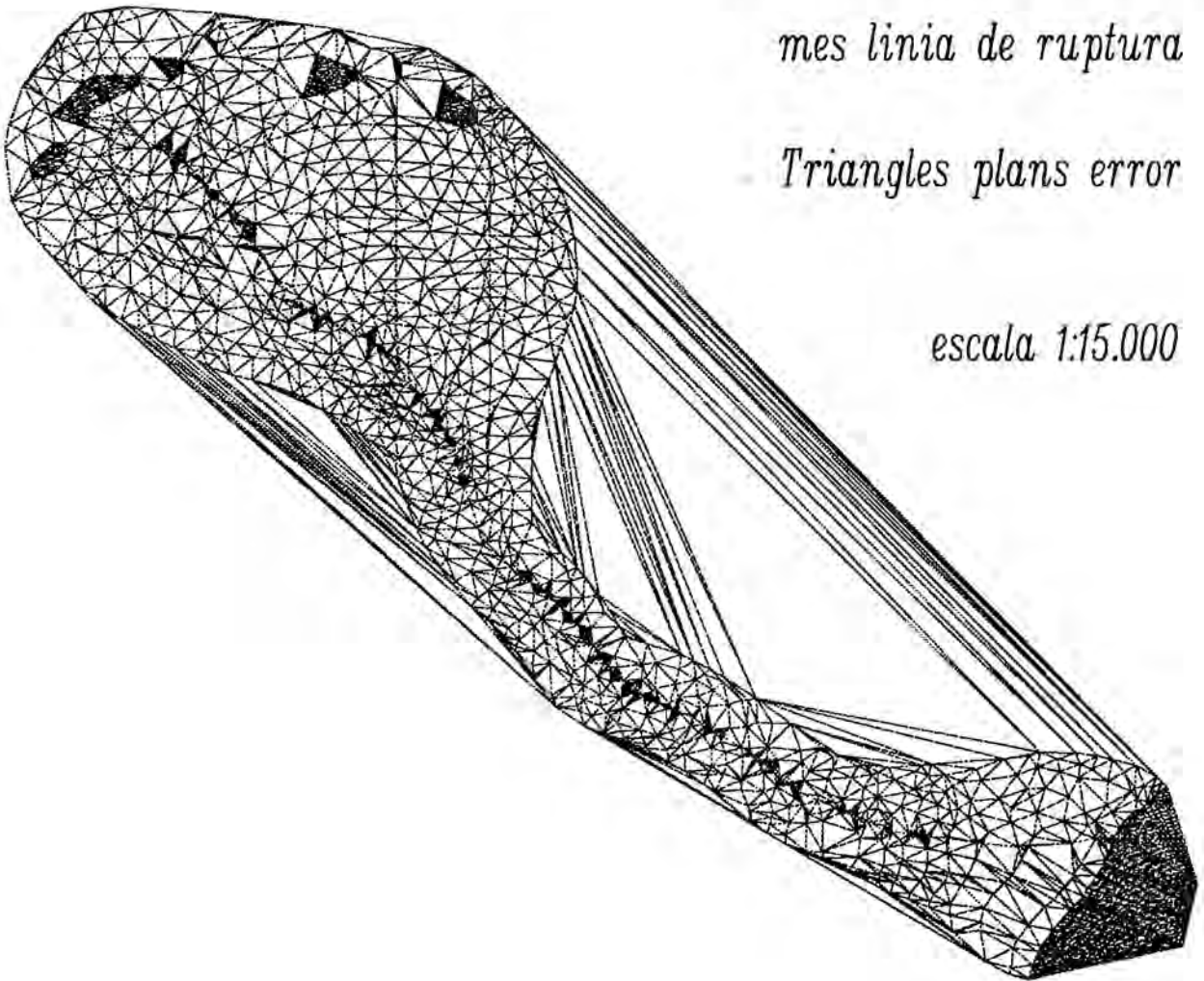
# TRIANGLES TIN

*Cobertura sense simplificar*

*mes linia de ruptura*

*Triangles plans error*

*escala 1:15.000*



*Figura 5.8.: Representació planimètrica dels triangles del tin generat a partir de la cobertura de topografia sense simplificar i d'una línia de ruptura representativa del tàlveg (sense valors d'altituds). Amb trama fosca es representen els triangles plans d'error. Cal fer notar que en aquesta prova es generen molts triangles plans d'error relacionats amb a línia de ruptura.*

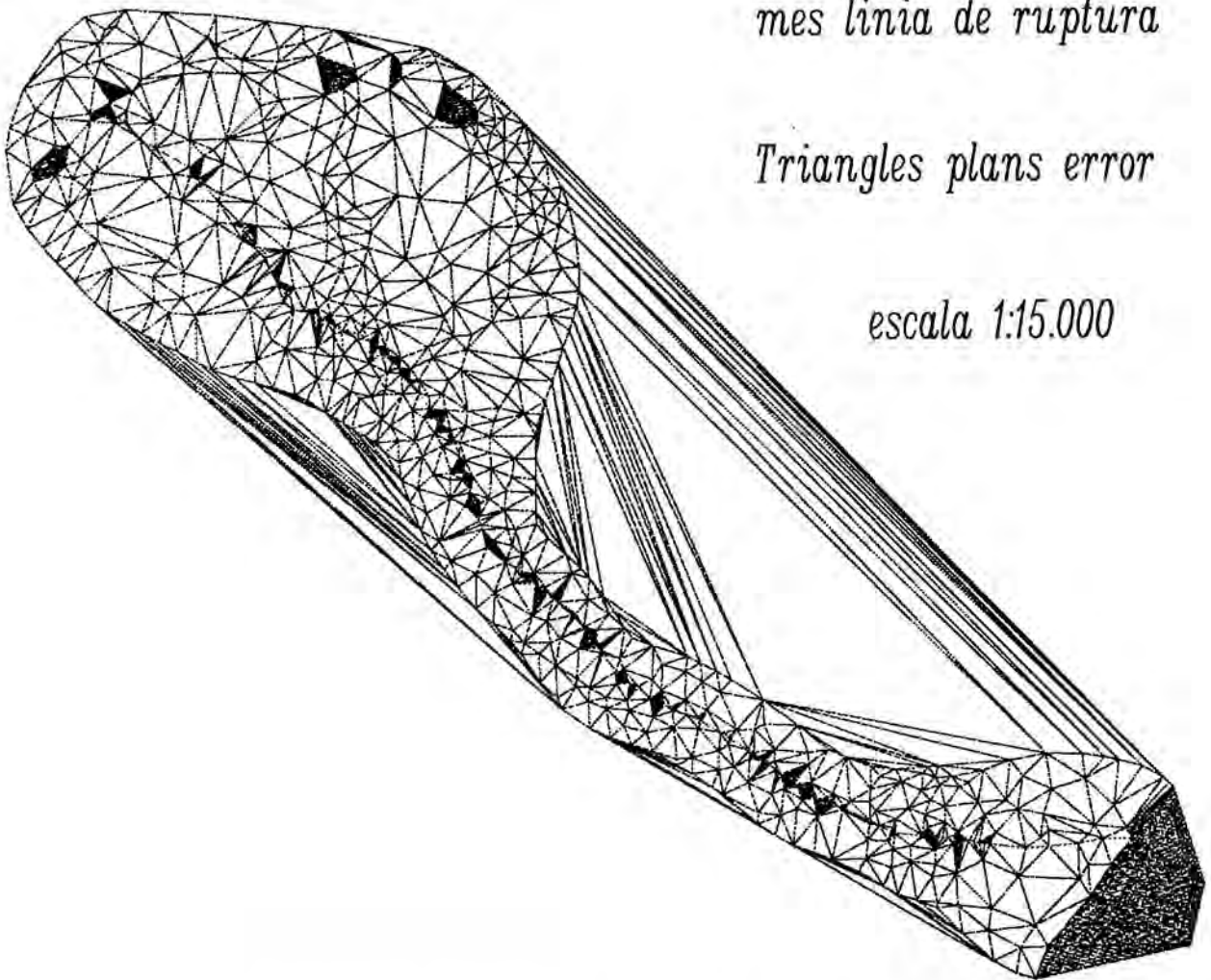
# TRIANGLES TIN

*Cobertura simplificada (generalize 5m)*

*mes línia de ruptura*

*Triangles plans error*

*escala 1:15.000*



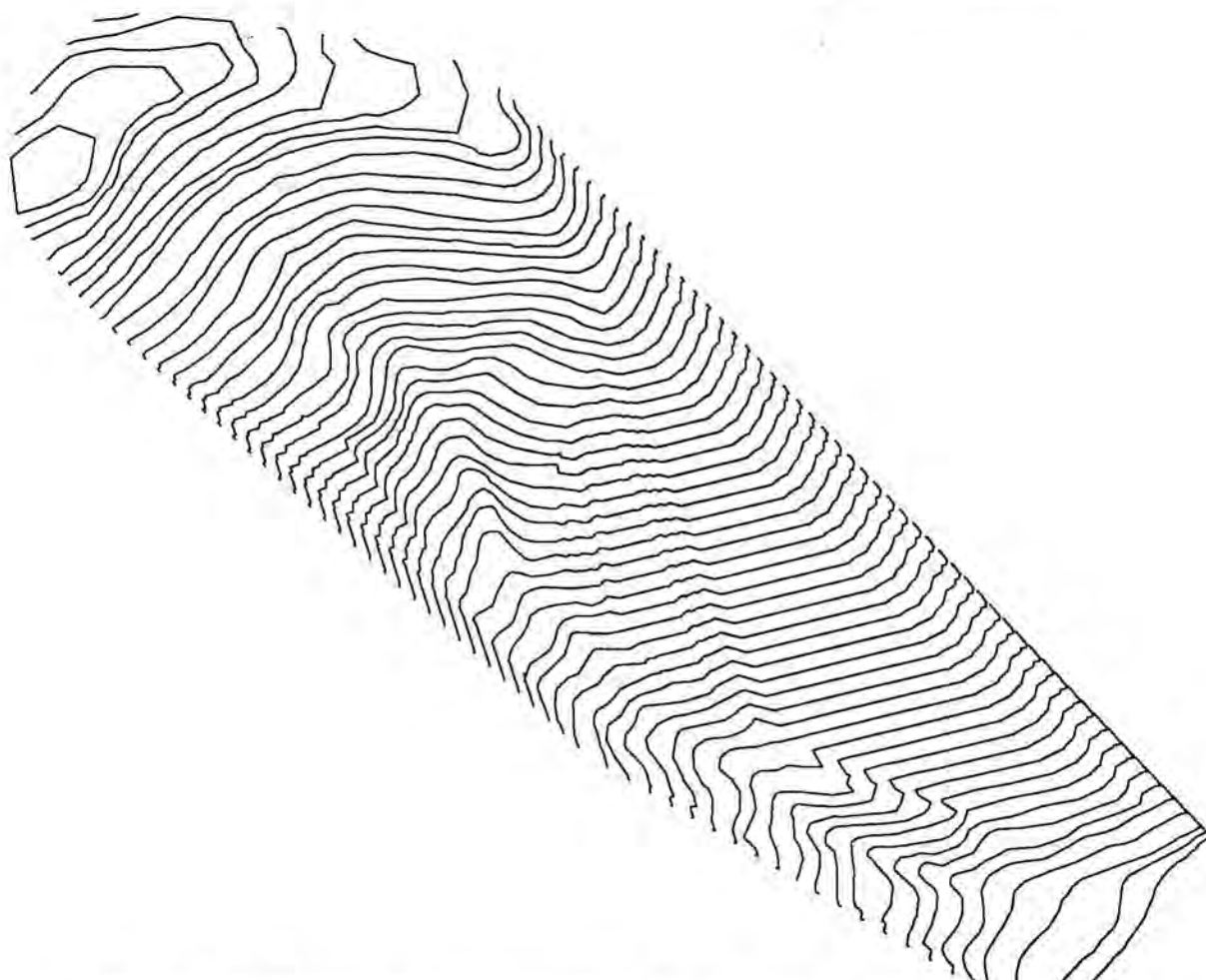
*Figura 5.9.: Representació planimètrica dels triangles del tin generat a partir de la cobertura de topografia simplificada (tolerància weed = 5 m) i d'una línia de ruptura representativa del tàlveg (sense valors d'altituds). Amb trama fosca es representen els triangles plans d'error. Cal fer notar que en aquesta prova es generen molts triangles plans d'error relacionats amb a línia de ruptura.*

# CORBES DE NIVELL

*PROVINENTS DE TIN:*

*Tin generat de cobertora sense simplificar  
(sense modificar toleràncies)*

*escala 1:15.000*



*Figura 5.10.: Representació planimètrica de les corbes de nivell provinents del tin generat a partir de la cobertura de topografia sense simplificar. Les corbes rectilínies dels laterals corresponen a zones externes a la conca nivo-torrencial i no s'han de considerar.*

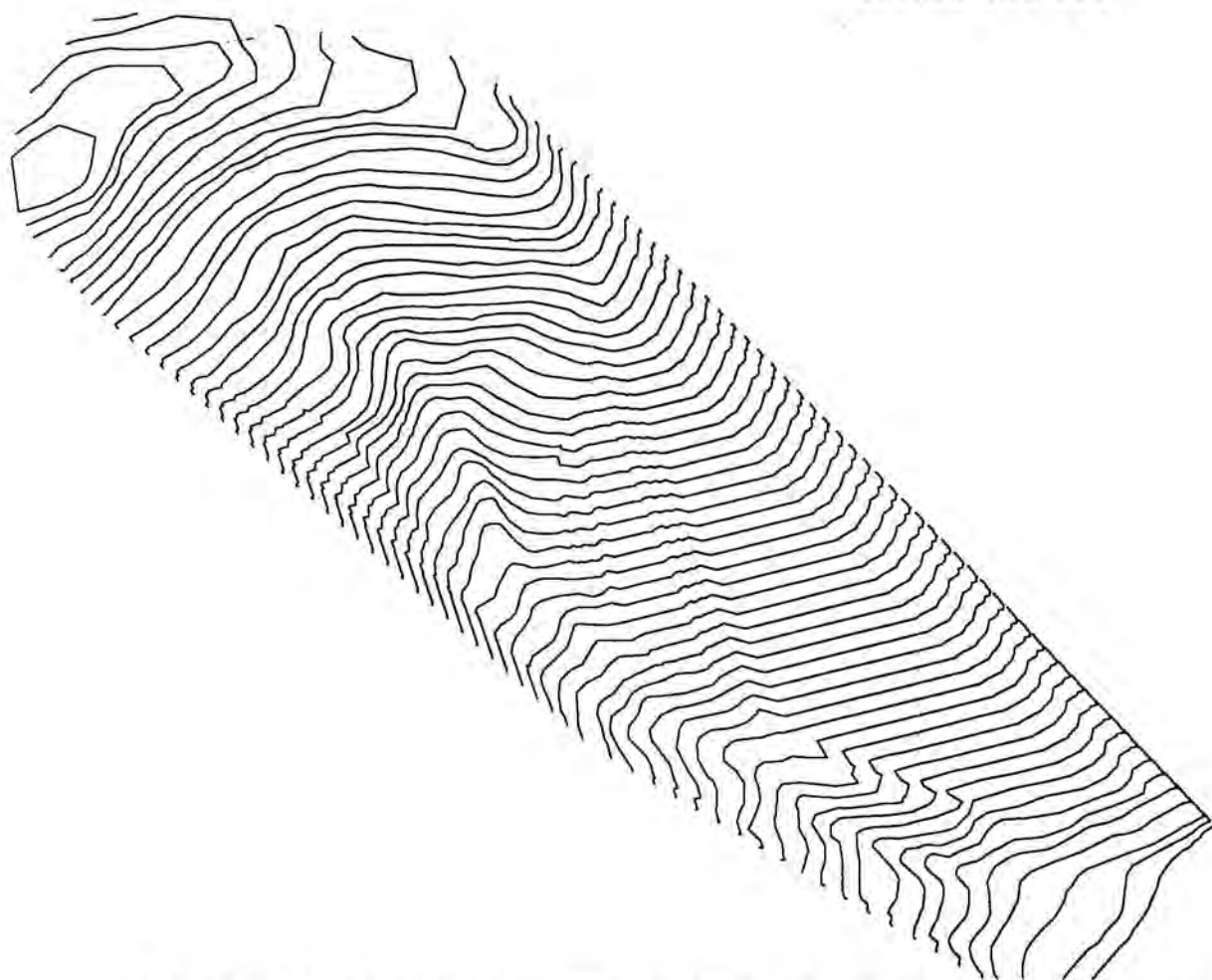
# CORBES DE NIVELL

PROVINENTS DE TIN:

*Tin generat de cobertura sense simplificar*

*(Createtin: weed tol. 5m)*

*escala 1:15.000*



*Figura 5.11.: Representació planimètrica de les corbes de nivell provinents del tin generat a partir de la cobertura de topografia sense simplificar. En el procés de generació del tin s'ha aplicat una tolerància weed = 5 m per simplificar el número de punts que s'utilitzen per al càlcul del tin. Les corbes rectilínies dels laterals corresponen a zones externes a la conca nivo-torrencial i no s'han de considerar.*

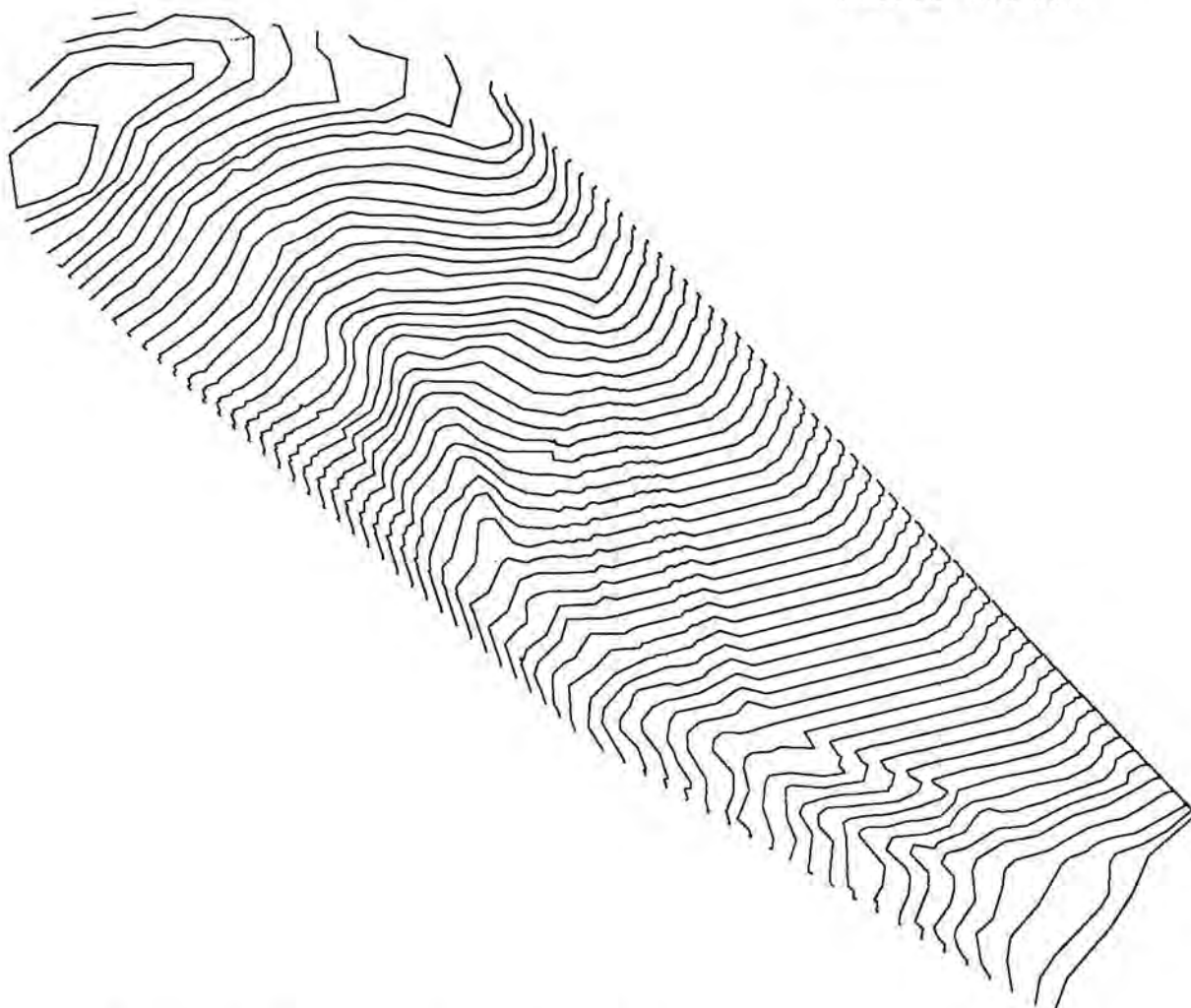


# CORBES DE NIVELL

PROVINENTS DE TIN:

*tin generat de cobertora simplificada  
(generalize 5m)*

*escala 1:15.000*



*Figura 5.12.: Representació planimètrica de les corbes de nivell provinents del tin generat a partir de la cobertora de topografia simplificada (tolerància weed = 5m). Les corbes rectilínies dels laterals corresponen a zones externes a la conca nivo-torrencial i no s'han de considerar.*

#### 5.2.4. Avaluació i construcció del millor model tin.

El millor model de tin per a aquest treball és el que mantingui la resolució més fina tot partint i mantenint el menor nombre de punts possible. Això ha de permetre obtenir una bona representació de les zones d'allaus i, especialment, ha de permetre obtenir uns perfils topogràfics acurats, amb el mínim indispensable de temps de càlcul i, sobretot, d'espai de disc necessari.

D'un primer examen de les figures 5.6., 5.7., 5.8. i 5.9. es desprèn que, en tots els casos, el resultat dels tins quan s'ha introduït una línia de ruptura al talveg és pitjor que si aquesta línia no s'introduïx: les figures 5.8. i 5.9., representatives de les proves amb línia de ruptura, presenten molts més triangles plans al talveg que les altres. Si a això li afegim els errors que es creen en generar corbes de nivell a partir d'aquests tins, podem descartar totalment l'opció de treballar amb línies de ruptura als talwegs i carenes.

No es pot decidir d'entrada quin és el millor dels resultats que representen les figures 5.6. i 5.7. (tin creat a partir de la cobertura de corbes de nivell sense simplificar o simplificada: el nombre de triangles plans és un mica superior en el tin provinent de la cobertura no simplificada, però la mida dels triangles és superior en el provinent de la simplificada (el que pot indicar menor resolució). Cal, doncs, veure quin és el resultat de la prova de generació de corbes de nivell.

A les figures 5.10., 5.11. i 5.12. es presenta el resultat de la generació de corbes de nivell a partir de diferents tins. Com es pot veure, tots tres resultats són prou bons (compareu amb la topografia original de la figura 4.10): tant el que parteix de la cobertura de corbes de nivell sense simplificar, com si es simplifica en generar el tin, com si es parteix de la cobertura de corbes de nivell simplificada.

Per tant, és suficient si es treballa a partir de la cobertura de corbes de nivell simplificada, el que vol dir processar menys punts (menys nodes i menys vèrtex a la cobertura d'arcs de les corbes de nivell) i obtenir tins amb menys triangles (menys nodes i menys arestes en el tin).

Tot i així, com ja he comentat abans, he volgut comprovar encara d'una altra manera que la representació del terreny és prou bona en cas de treballar amb la cobertura simplificada. He realitzat els mapes de pendents d'aquests tres tins que han donat un bon resultat i he comprovat que entre el tres mapes no hi ha diferències significatives, com a mínim pel que fa als intervals de pendents significatius per a les allaus (0°-10°, 10°-28°, 28°-40°, 40°-50° i 50°-90°).

**Per tant, l'opció que he considerat millor i que he seleccionat és la de treballar a partir de la cobertura de corbes de nivell simplificades (tolerància weed = 5 m.), i sense línies de ruptura als tàlvegs i carenes.**

El procés de creació dels tins de tota l'àrea d'aquest treball ha estat el següent, i s'il·lustra a la primera part de la figura 5.14:

En primer lloc, he seleccionat, per a cada full, l'àrea a partir de la qual es crea el tin. És a dir, he seleccionat l'àrea cartografiada que es reflecteix als mapes de l'annex 1, tot excloent les vores i marges que no corresponen a les conques cartografiades. Això es fa tot creant un polígon que inclogui l'àrea d'interès i fent un CLIP sobre la cobertura de topografia.

En principi, hauria de ser possible seleccionar de l'àrea d'interès amb el polígon que la delimita tot incorporant-lo directament en la comanda CREATETIN. Això evitaria el procés previ de CLIP per seleccionar l'àrea, i un procés posterior de CLIP per eliminar falsos triangles creats en zones on l'envoltant de l'àrea d'interès no és convexa. No he utilitzat aquesta possibilitat de la comanda CREATETIN perquè sembla que no acaba de funcionar bé i crea errors en el tin.

També cal codificar la cobertura d'estanys que s'introdueixen com a línies de ruptura dures (opció hardreplace = 5 en CREATETIN), per conservar els cossos d'aigua plans, sense pendent ni orientació. Cal afegir l'altitud a cada estany en un camp de la taula d'atributs (que he anomenat cota).

Una vegada les cobertores estan a punt, es crea el tin segons els criteris obtinguts de les proves de resolució exposades anteriorment (he fixat la tolerància weed = 1m, inferior als 5 m de la cobertura introduïda, per tal que no es simplifiquin punts automàticament en funció de l'extensió de la cobertura). Cal dir que la incorporació del estanys com a línies de ruptura dures amb cota no crea problemes en la generació del tin, dóna un millor resultat en l'obtenció de mapes de pendents i orientacions, i no té efectes en la generació dels perfils (no se n'han escollit que finalitzin en llacs).

A partir dels tins dels fulls estudiats es pot realitzar el que s'anomena "anàlisi de superfícies", que es descriu al pròxim apartat.

### **5.3. ANALISIS DE SUPERFÍCIES REALITZATS.**

Una vegada el model de superfície tin ha estat creat, les comandes d'anàlisi de superfícies TIN es poden utilitzar per obtenir informació que no es deriva de l'anàlisi dels mapes bidimensionals (ESRI, 1987). La incorporació de la tercera dimensió permet, per exemple, el càlcul de pendents i orientacions i l'obtenció de perfils topogràfics.

Les cobtores amb dades de pendents i orientacions han estat la base de l'explotació de la cartografia presentada al capítol 6 i dels mapes de pendents i orientacions presentats a l'annex 3.

Els perfils topogràfics són l'element imprescindible de la predicció estadística de màximes zones d'arribada d'allaus que es presenta al capítol 7.

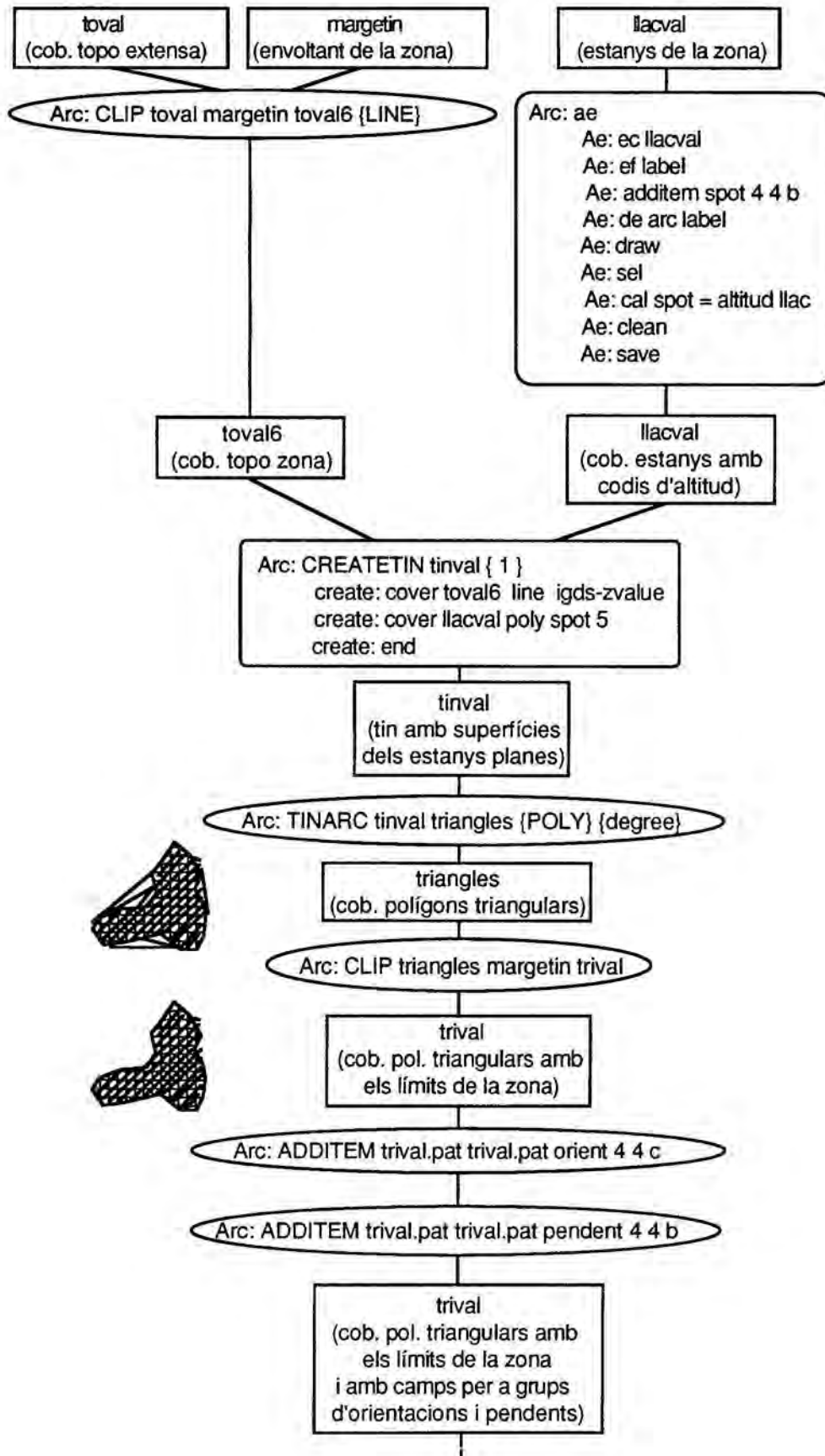
En els dos pròxims apartats es detalla el procés de generació dels mapes i dels perfils per a l'àrea d'estudi d'aquesta Tesi.

#### **5.3.1. Mapes de pendents i d'orientacions.**

Per a l'obtenció de cobtores amb dades de pendents i orientacions i per a la restitució gràfica dels mapes de pendents i orientacions he seguit les passes que es detallen a continuació i que s'il.lustren a la segona part de la figura 5.14.

A partir de cada tin s'ha creat una cobtore de polígons triangulars amb les dades d'orientacion, pendent, superfície planimètrica i superfície real de cada triangle, entre altres (comanda TINARC)..

Amb un procés de CLIP (en el què la cobtore de clip és la mateixa que havia servit per a delimitar l'àrea d'interès per crear el tin), s'eliminen els triangles superflus (i erronis) que es creen en les zones on l'envoltant del tin no es convexa (és a dir, que queden a fora de l'àrea d'interès), i que perduren en el pas de tin a cobtore de polígons triangulars.



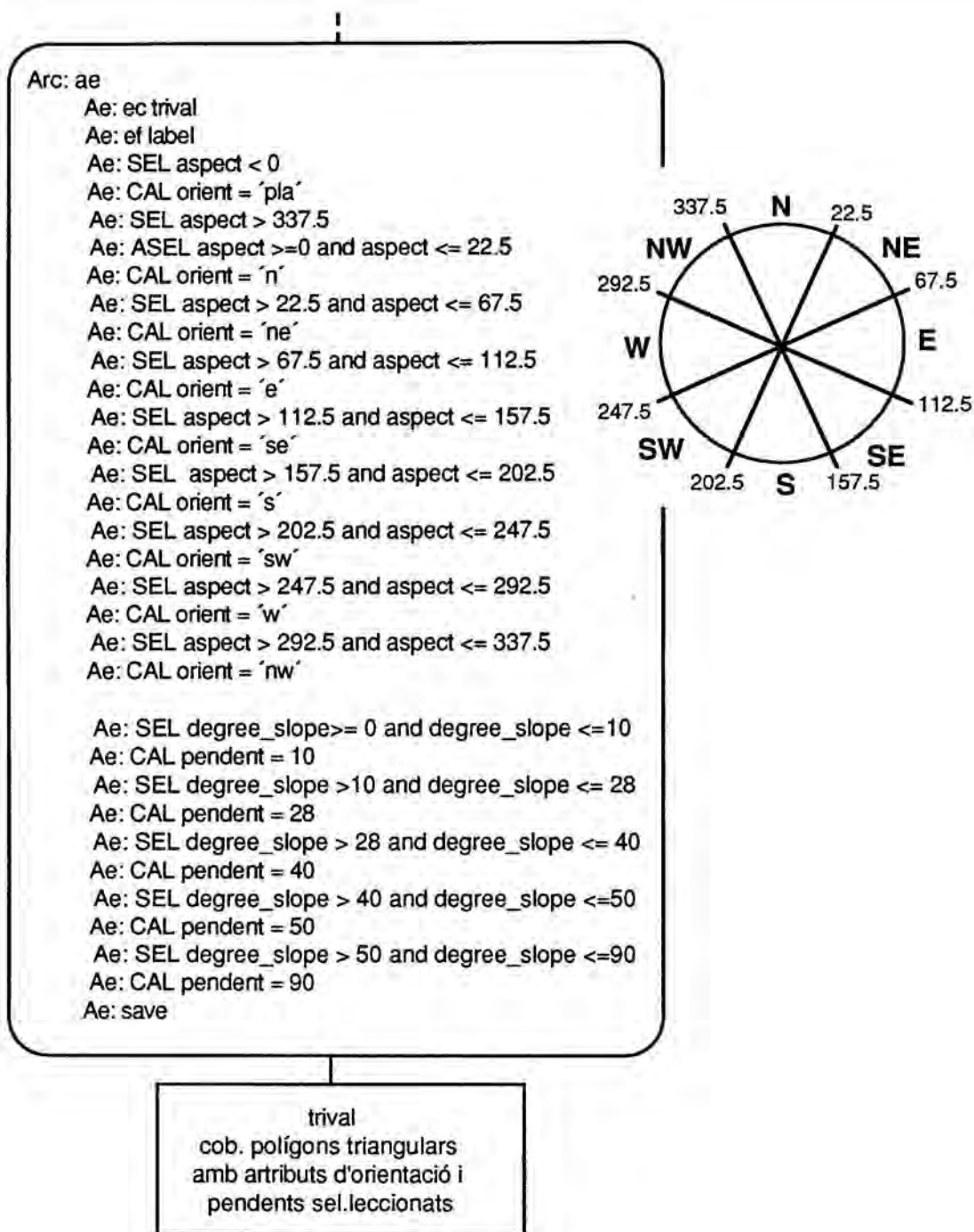
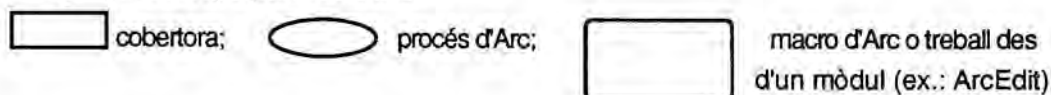


Figura 5.14.: Creació de tins i de cobertores amb dades de pendents i dades d'orientacions (simplificades) a partir dels tins.



Finalment, a la cobertura de polígons triangulars es crea d'un camp d'orientacions simplificades i d'un camp de pendents simplificats, que facilitaran els càlculs posteriors i la representació gràfica. Aquests camps corresponen a les orientacions bàsiques de la rosa dels vents (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW i pla per als triangles horitzontals) i a uns intervals de pendents que ténen significació en la dinàmica de les allaus.

Els intervals de pendents són els següents:

0°-10°: Pot considerar-se, molt a grans trets, que al voltant del punt on el vessant té un pendent de 10° hi ha la zona de transició entre la zona de trajecte i la d'arribada de les grans allaus amb llargs períodes de retorn (de Quervain, 1972; Buser i Frutiger, 1980; Bakkehoi et al., 1983); és l'equivalent, a *grosso modo*, de l'inici de la zona d'arribada.

10°-28°: És l'equivalent de la zona de trajecte de les allaus.

28°-40°: A partir d'un pendent de 28° poden començar desencadenar-se allaus als Alps Suïssos (IFENA, 1970); he considerat que aquest pendent és aplicable als Pirineus. Fins a uns 40° les allaus es desencadenaran poc freqüentment (Bakkehoi et al., 1983) (quant menys pendent, més difícilment s'assoleix l'angle de fricció estàtica de la neu).

40°-50°: A partir d'uns 40° i fins a uns 50° les allaus es poden produir amb bastant freqüència (Bakkehoi et al., 1983).

50°-90°: A partir dels 50° s'assoleix molt fàcilment l'angle de fricció estàtica de la neu, i aquesta es purga dels vessants pràcticament al moment de dipositar-se, de manera que, si no és en condicions especials (per exemple, d'elevada rugositat), mai s'acumula prou neu com per a que es puguin desenvolupar allaus a partir d'aquest pendent al Pirineu.

A l'annex 3, com a exemple, presento el mapa d'orientacions i el mapa de pendents de la vall de Valarties. No he cregut necessari presentar els dels quatre fulls, reduïts. De tota manera, les cobertores amb les dades d'orientacions i pendents estan disponibles sobre suport de cinta hexabyte per a qui les vulgui consultar.

### 5.3.2. Perfils.

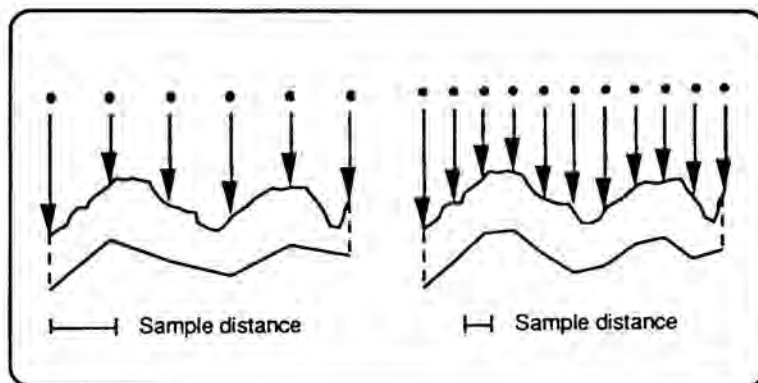
Els perfils topogràfics s'han realitzat per a poder-los utilitzar al capítol 7, en què s'estudia la màxima zona d'arribada de les allaus en funció de paràmetres topogràfics extrets d'aquests perfils.

La resolució dels documents topogràfics inicials correspon a l'escala 1:50.000. Per altra banda, el recorregut i l'extensió de les allaus es pot veure significativament afectat per petites irregularitats topogràfiques (Bolmont, 1992), sobretot a les zones d'arribada (Burkard, com. pers.).

D'això es desprèn que sigui necessari no perdre resolució en la generació dels perfils ja que, en cas contrari, es poden obviar les característiques topogràfiques necessàries per a la interpretació correcta de les zones d'arribada d'allaus. Val a dir que l'escala 1:50.000 de partida ja està vora el límit de la resolució necessària per a l'obtenció de dades topogràfiques útils en aquest tipus d'estudi.

He fet una sèrie de proves de perfils tot utilitzant els mètodes d'interpolació Linial i Quíntica per veure si la utilització del segon, més complex, introdueix millores significatives en els perfils. A més, per si el tin creat no fos prou bo per donar perfils amb prou resolució, he fet proves a partir de la cobertura de topografia original i de la simplificada. En principi, el model de tin escollit a l'apartat precedent ha de ser suficientment bo, però he preferit fer les proves per si hi hagués algun paràmetre que m'hagués passat per alt.

Per altra banda, he considerat diferents intervals de mostreig sobre el tin. En la generació de perfils, com en la de superfícies, s'aplica un interval de mostreig automàtic en funció de les dimensions del tin del que s'extreu el perfil. Aquest interval de mostreig es considera en unitats (en aquest cas metres) mesurades en la horitzontal, i determina la resolució del perfil (fig. 5.15).



*Figura 5.15.: La distància de mostreig sobre una superfície afecta la resolució del perfil resultant. Si es redueix la distància de mostreig ({sample\_distance}) la superfície és mostrejada amb més freqüència, de manera que el perfil s'aproxima molt més al tin i, per tant, a la superfície real. Per altra banda, quant més petita és la distància de mostreig, més espai de disc es requereix per emmagatzemar els fitxers dels perfils obtinguts (ESRI, 1987).*



Les distàncies de mostreig seleccionades han estat 10 m i aproximadament uns 30 m (distància per defecte en aquesta zona de prova, equivalent a l'extensió diagonal màxima del tin / 100). Les corbes de nivell de les cobertores d'origen dels tins presenten una equidistància de 20 m i, per tant, entre els nodes dels triangles dels tins també hi haurà aquest desnivell. Per a un pendent de 45° la distància horitzontal corresponent a aquesta distància vertical és també de 20 m. Per tant, he pres la distància de mostreig = 10 m, que és la meitat, per tal que es puguin detectar bé pendents superiors a 45° i no es pugui perdre resolució.

Les proves les he realitzat amb un únic perfil, que correspon al perfil longitudinal de la zona d'allaus utilitzada per a les proves de resolució del tins. He creat una cobertura amb un únic arc que correspon a aquest perfil, que ha estat digitalitzat directament sobre pantalla. De cada perfil s'obtenen 2 fitxers info ("perfil" i "perfil.SEC") a partir dels quals es poden generar dos gràfics del perfil.

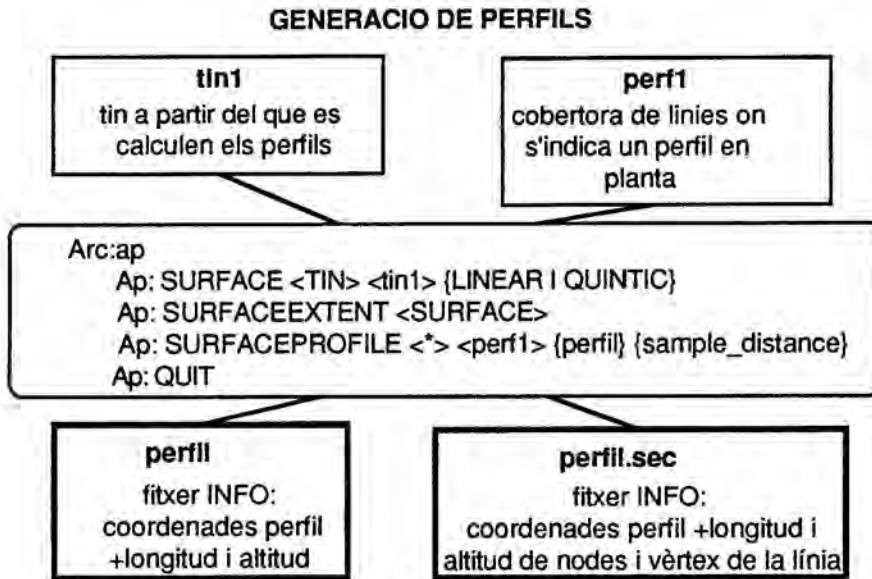
El fitxer "perfil" conté informació del perfil en tots els punts corresponents a l'interval de mostreig, i el fitxer "perfil.SEC" conté informació del perfil només en els punts corresponents als nodes i vèrtex de l'arc de la cobertura corresponent al perfil en planta.

A la taula 5.5. presento algunes de les proves de resolució de perfils realitzades, amb tots les opcions considerades i introduïdes en la generació dels perfils, i les figures corresponents en aquest apartat. A les figures 5.16. i 5.17. s'il.lustra el procés de generació dels fitxers del perfil i el procés de generació de gràfics a partir d'un fitxer de perfil.

#### PROVES DE RESOLUCIO DE PERFILS

SURFACE <TIN>	INTER POLA CIO	SURFACE EXTENT	SURFACE PROFILE <*> <nom_cob_perf>	{prof_info_file} ----- {p_info_f.SEC}	{sample dist.}	(figs.)
TINDIC	L	SURFACE	LRTLVDIC	PR1	#	5.19.a
	L			PR1.SEC	#	--
	L			PR2	10	5.18a/19b
	L			PR2.SEC	10	--
	Q			PQ1	#	--
	Q			PQ2	10	5.18.b.
TINDICG5	L	SURFACE	LRTLVDIC	PR5	#	5.19.c
	L			PR5.SEC	#	--
	L			PR6	10	5.19.d
	L			PR6.SEC	10	--
	Q			PQ5	#	--
	Q			PQ6	10	--

*Taula 5.5.: Taula - resum de les proves de resolució del perfils, amb les opcions considerades en la seva generació, i figures que corresponen a la representació gràfica d'aquests perfils. (L= interpolació lineal; Q= interpolació quàntica; #~ 30m).*



*Figura 5.16.: Generació de fitxers amb informació del perfil topogràfic, dels que es poden generar gràfics i fer altres tractaments.*

Els arxius .SEC que es generen automàticament en crear un perfil no interessen en aquest treball, ja que els vèrtex i nodes dels arcs que defineixen els perfils (en planta), digitalitzats directament sobre pantalla, segur que estan més separats de 20 m entre ells i, per tant, es perd resolució respecte a la topografia original.

Per seleccionar l'opció més adequada de generació de perfils he comparat les diferents proves entre elles amb el mètode més senzill però, alhora, el que considero més eficaç en aquest cas: la simple comparació visual de les representacions gràfiques dels perfils. El reconeixement visual a una escala adequada permet identificar fàcilment les irregularitats topogràfiques. A les figures 5.18. i 5.19. presento alguns d'aquests perfils, reduïts a la meitat de l'escala dels gràfics originals per fer més fàcil la seva comparació, encara que els petits detalls resulten una mica més difícils d'identificar.

Per veure si la interpolació Quíntica dóna un millor resultat que la Linial he comparat els gràfics de perfils (generats amb els dos tipus d'interpolació) que tenen més precisió; és a dir, els que provenen, inicialment, de la cobertura de topografia sense simplificar i generats amb un interval de mostreig de 10 m (fig. 5.18.a i 5.18.b).

D'aquesta comparació es desprèn que no cal utilitzar la interpolació Quíntica, ja que si es comparen els dos gràfics, no s'observen diferències significatives. Aquesta interpolació significa un procés més complicat que implica més temps de càlcul i, a més, no aporta més resolució.

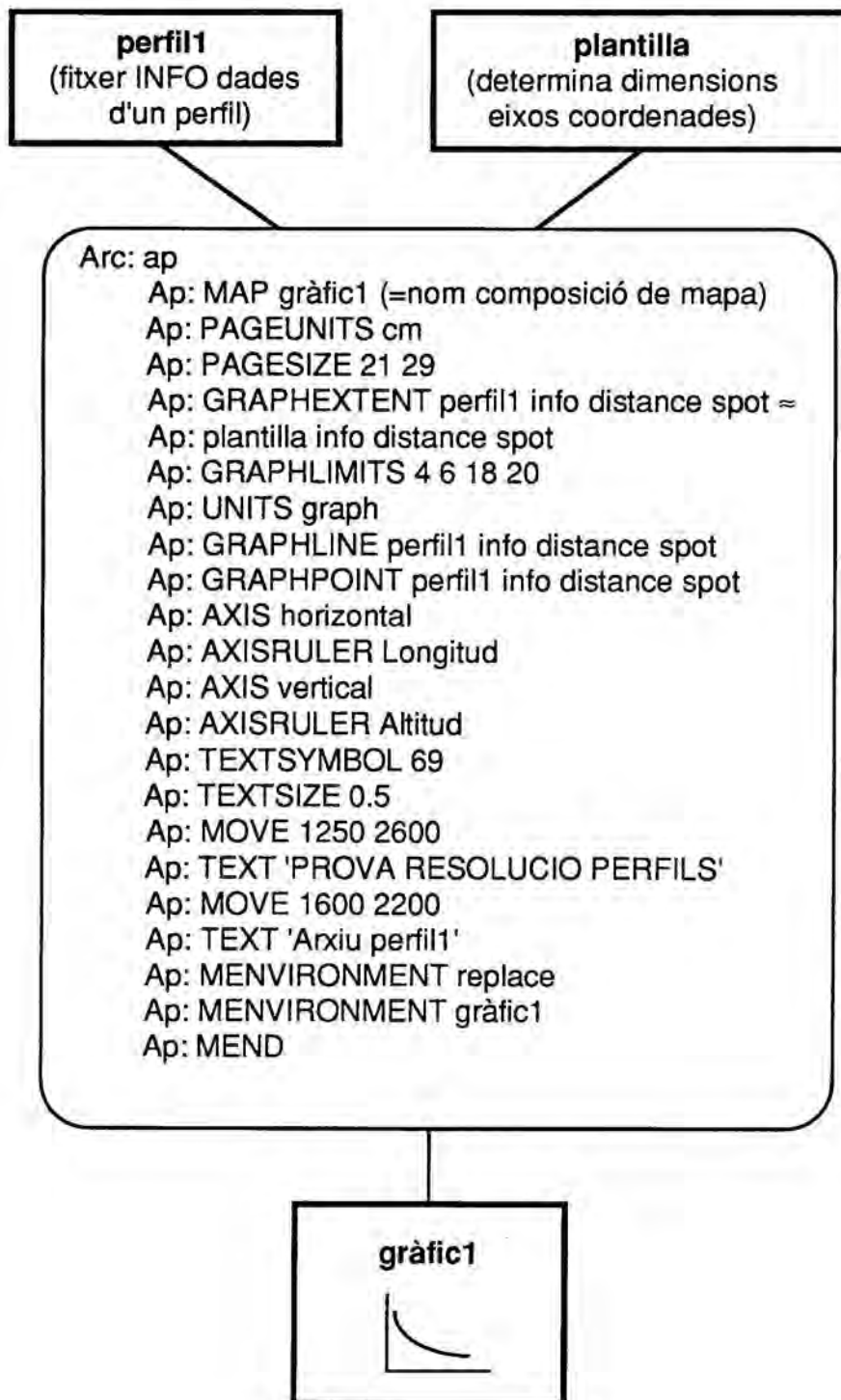
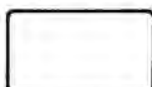


Figura 5.17.: Generació de gràfics a partir de fitxers INFO que contenen informació sobre els perfils topogràfics. Per crear una plantilla vegeu ESRI, 1987; Map Display and Query.

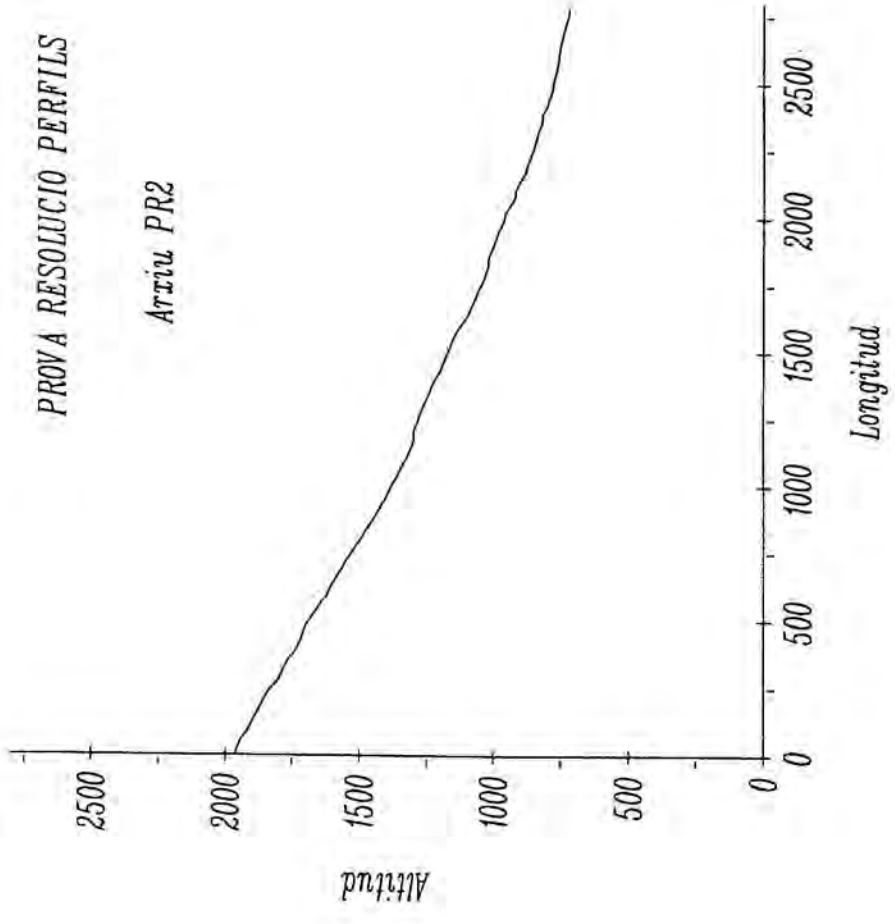


cobertura o gràfic



macro d'Arc o treball des d'un mòdul (ex.: ArcPlot)

a



b

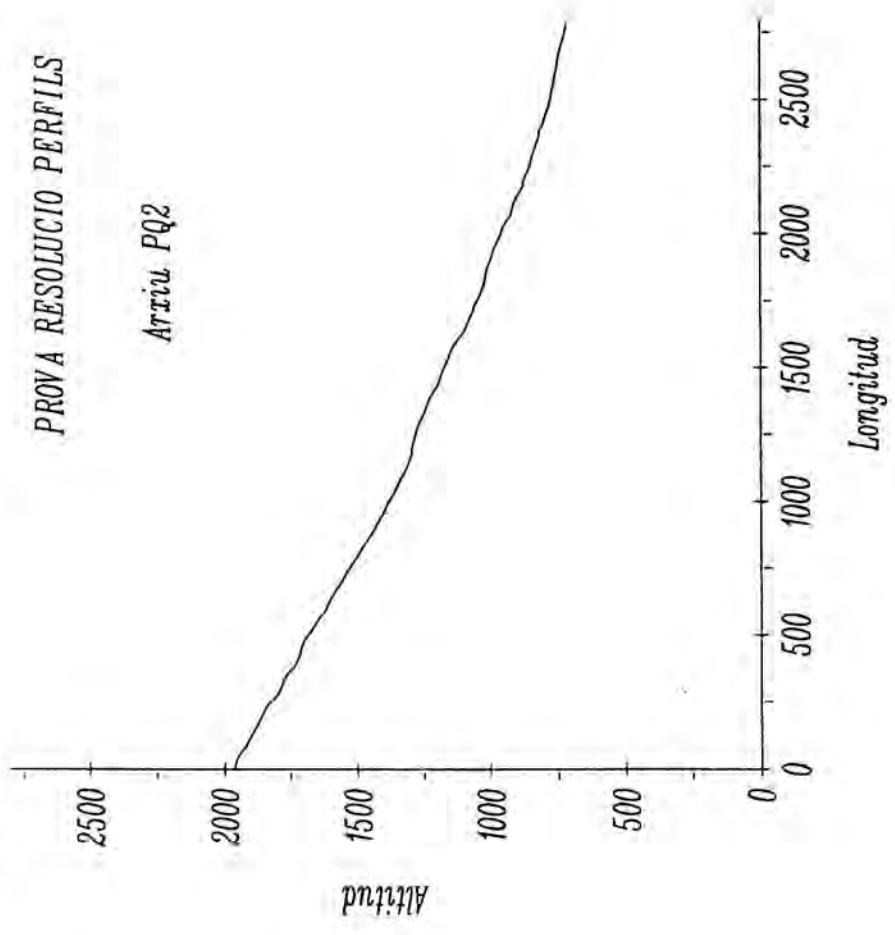


Figura 5.18.: Proves de perfils que han estat realitzats amb molta precisió. En ambdós casos el tin a partir del què s'ha generat el perfil té per origen la cobertura de topografia sense simplificar, l'interval de mostreig és de 10 metres. a) Perfil generat amb interpolació LINIAL. b) El mateix perfil generat amb interpolació QUINTICA.

Finalment he comparat els gràfics de la figura 5.19.a., b., c. i d., que provenen, en origen, de cobertores de topografia sense simplificar i simplificades, i amb intervals de mostreig automàtics (que podem considerar de 30 m) i de 10 m.

Si s'observen els perfils un per un pràcticament no s'aprecien diferències. Però si es compara el que teòricament ha de tenir més resolució (fig.5.19.b.) amb el que n'ha de tenir menys (fig.5.19.c.) s'observa una suavització en aquest últim.

Considero que aquesta suavització, que comporta una pèrdua de resolució, no és acceptable i, per tant, desestimo la possibilitat de generar els perfils segons aquestes dues condicions: a partir de cobertores originals simplificades (origen dels tins) i amb un interval de mostreig d'uns 30 m.

En canvi, entre els altres tres perfils (fig. 5.19.a., b. i d.), pràcticament no s'observa aquesta suavització i es reconeixen bé en tots tres els petits accidents topogràfics del perfil més detallat (fig. 5.19.b.).

Per tant, el resultat d'aquestes proves ratifica que els tins generats a partir de cobertores de topografia simplificades, ja creats i utilitzats per obtenir dades i mapes de pendents i orientacions, són adequats i donen prou precisió per als perfils topogràfics. No cal, doncs, utilitzar tins provinents de cobertores de topografia sense simplificar (amb molts més punts per processar).

Ara bé, el que sí que resulta necessari és fixar un interval de mostreig prou petit i, segons es pot veure a la figura 5.19.d., l'interval de 10 metres dona una resolució suficientment bona.

En resum, els perfils utilitzats al capítol 7 i que s'inclouen a l'annex 4, han estat obtinguts a partir dels tins generats amb cobertores de topografia simplificades (segons una tolerància weed = 5 m), i amb un interval de mostreig de 10 metres.

He seleccionat els perfils segons criteris de dimensions de la zona d'allaus (suficient longitud i desnivell) i de presumible bon coneixement de la màxima zona d'arribada (vegu capítol 7). Els he digitalitzat, directament sobre la pantalla (ArcEdit), en cobertores d'arcs i, finalment, sobre el mòdul ArcPlot, els he seleccionat un per un i he generat els fitxers amb les dades dels perfils. Això m'ha permès de generar els gràfics dels perfils més fàcilment. A l'inici de l'annex 4 incloc les macros amb les que he automatitzat els processos de generació de fitxers de perfils i de gràfics sobre ArcPlot.

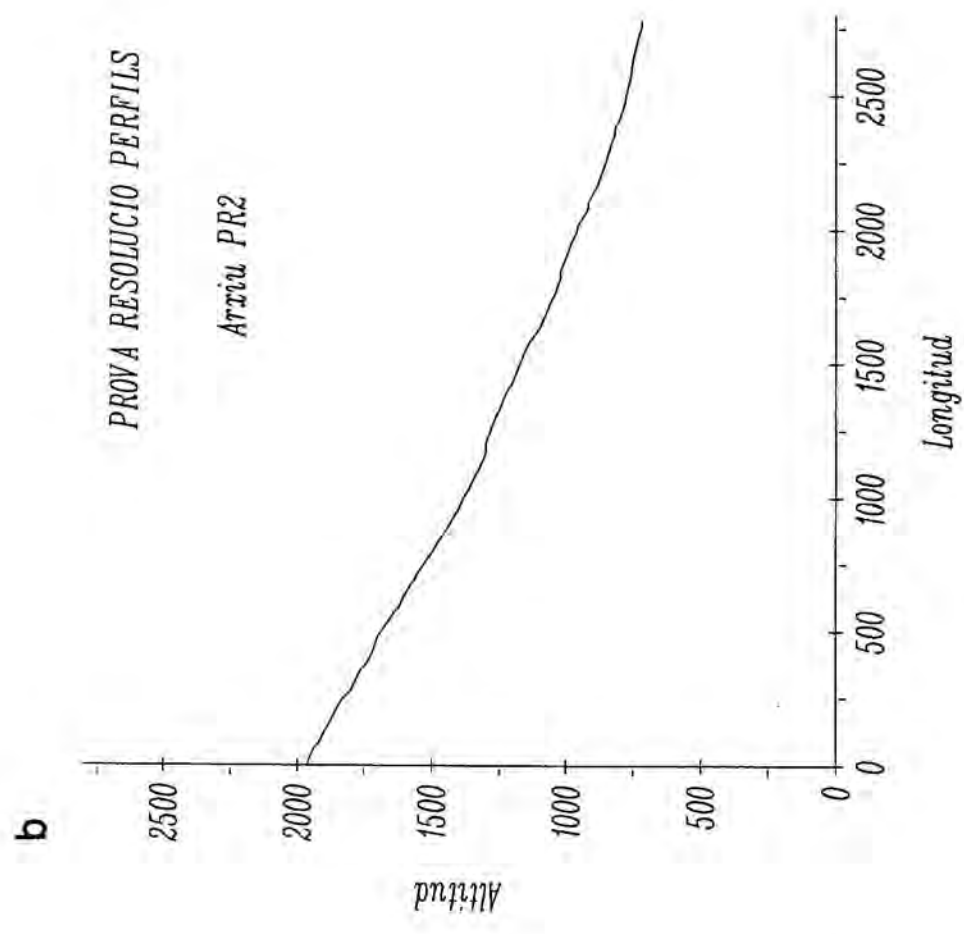
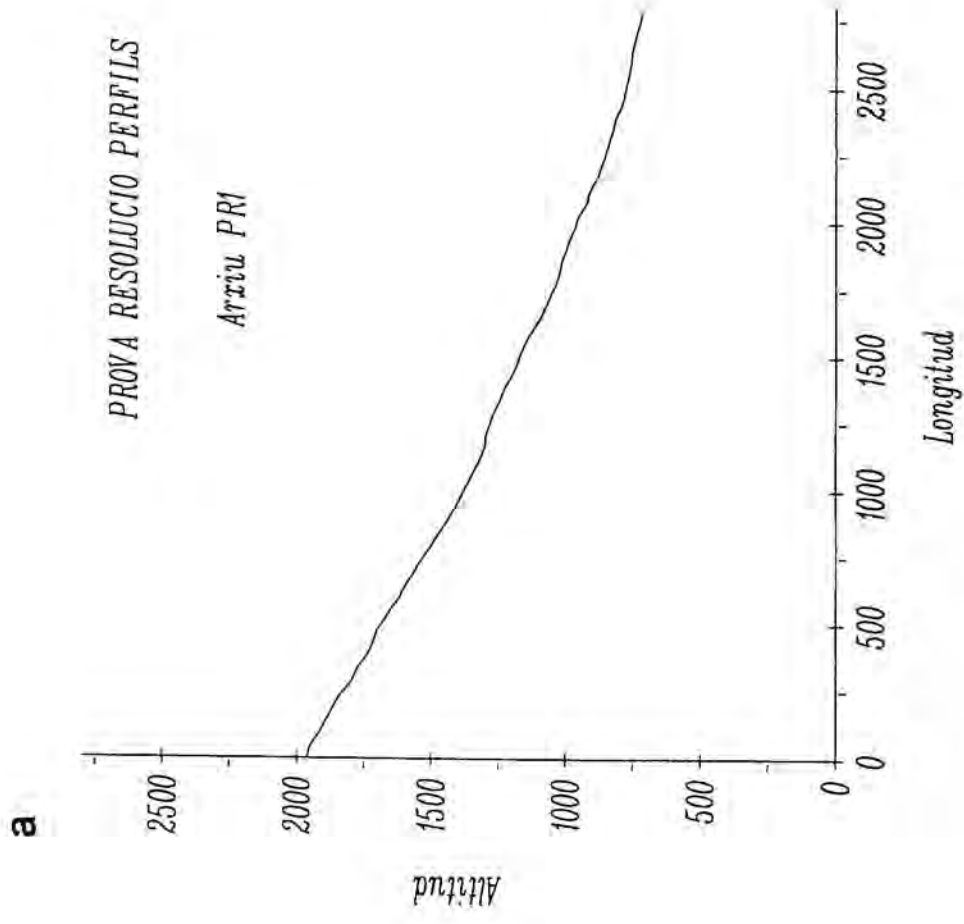


Figura 5.19.: a) Perfil per a prova de resolució. El tin a partir del què s'ha generat el perfil té per origen la cobertura de topografia sense simplificar; l'interval de mostreig és d'uns 30 metres (diagonal del tin de prova / 100). b) El mateix perfil, generat a partir del mateix tin de prova, però amb l'interval de mostreig de 10 metres.

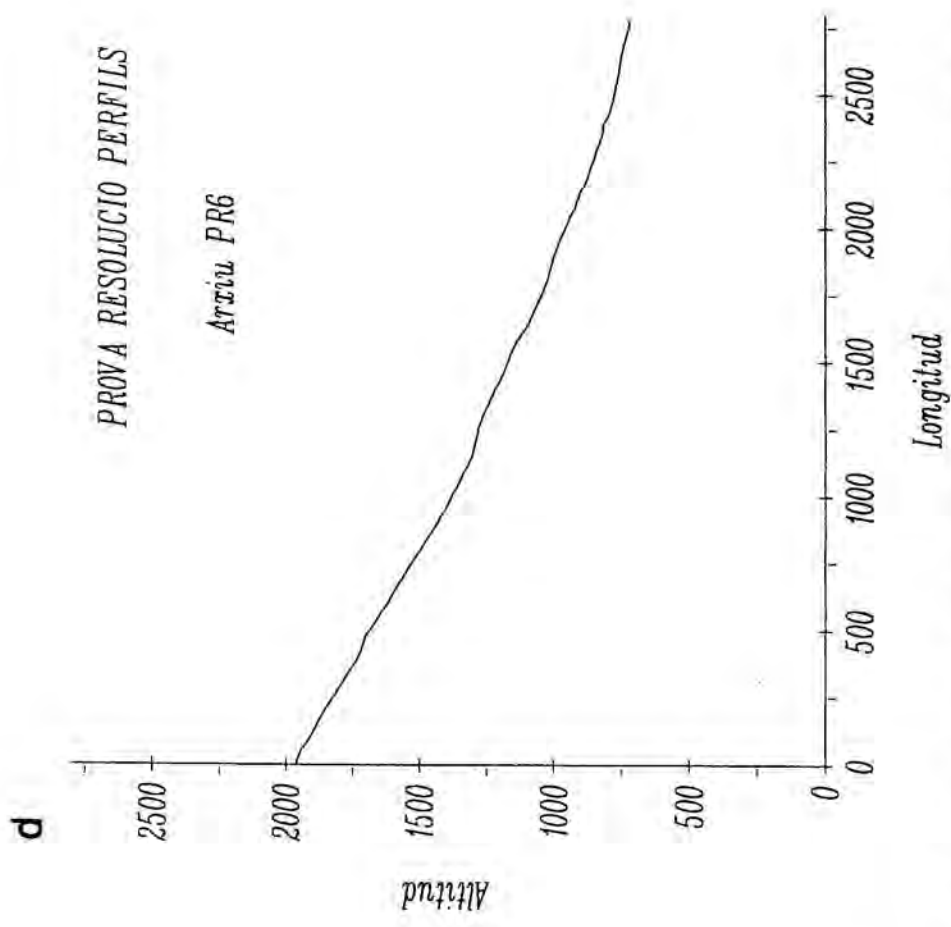
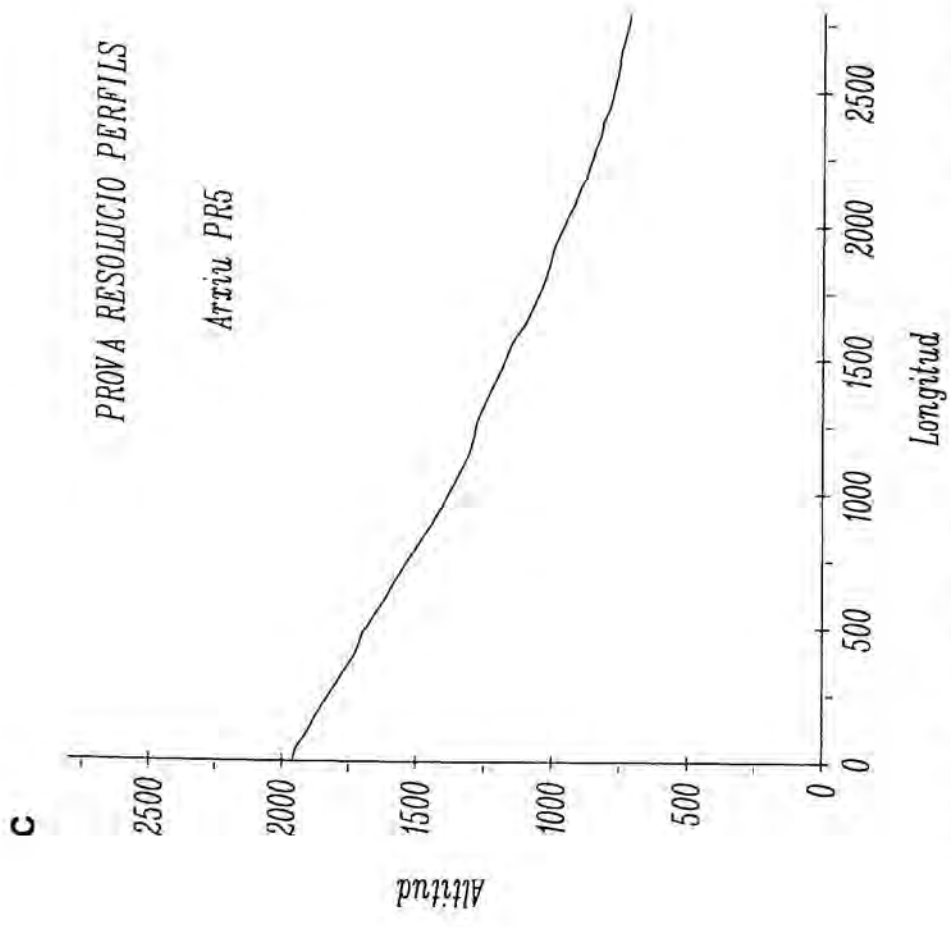


Figura 5.19.: c) El mateix perfil. El tin a partir del que s'ha generat el perfil té per origen la cobertura de topografia simplificada (si li ha aplicat una tolerància weed = 5 metres); l'interval de mostreig és d'uns 30 metres (diagonal del tin de prova / 100). d) El mateix perfil, generat a partir del mateix tin de prova (tolerància weed = 5 m), però amb l'interval de mostreig de 10 metres. En tots els casos, el tin correspon a la conca nivoto-rrencial de sobre del poble de Bossost, i la interpolació utilitzada per generar els perfils ha estat la linial.

## **6.EXPLOTAció DE LA CARTOGRAFIA NUMERICA.**

L'obtenció de cobertores amb dades de pendents i d'orientacions de l'àrea d'estudi permet efectuar diverses operacions de consulta de dades i d'anàlisi S.I.G., interessants tant des del punt de vista de la caracterització de les zones d'allaus com des del de la Planificació Territorial. De fet, la realització d'anàlisi S.I.G. i l'explotació d'aquestes dades és el pas lògic i immediat a realitzar una vegada es disposa de la informació generada amb el tractament de superfícies (capítol 5).

En aquest capítol presento el tipus de dades que he volgut obtenir (orientacions, pendents i superposició topològica d'aquestes amb les d'allaus) i el mètode d'obtenció, les dades i un conjunt d'observacions i primeres conclusions. Aquestes són respecte a la superfície coberta per les allaus i les consideracions que caldria fer des de l'òptica de l'Administració en temes d'Ordenació del Territori.

### **6.1. INFORMACIó OBTINGUDA DELS "MAPES D'ORIENTACIONS I DE PENDENTS" I DELS "MAPES D'ALLAUS".**

En començar aquest capítol cal dir que, de fet, la informació és obtinguda de cobertores de polígons triangulars que emmagatzemen dades, entre altres, de l'orientació, el pendent, l'àrea planimètrica i l'àrea real de cada triangle.

Val a dir que, per al cas de la cobertura corresponent al full d'Esterri (una de les més grans) s'han processat vora uns 400.000 triangles i s'han creat fitxers que ratllen el centenar de Mb. En aquest punt, vull recordar que la resolució d'aquestes cobertores és l'adequada per ser representativa d'objectes geogràfics relativament petits, com les allaus, inclosos en una àrea geogràfica extensa (vegeu capítol 5.2.).

Una de les utilitats d'aquestes cobertores és la seva representació gràfica en forma de mapes de pendents i mapes d'orientacions, com he presentat al capítol anterior amb l'exemple de la vall de Valarties (vegeu capítol 5.3. i annex 3).



Una altra possibilitat és l'obtenció de les dades de pendents i d'orientacions i la realització d'anàlisi, tot creuant-les amb cobertores de corbes de nivell i d'allaus. El resultat d'aquesta anàlisi és el que presento en aquest capítol.

### 6.1.1. Obtenció de les dades d'orientacions i pendents.

En primer lloc, s'ha de comentar que les dades s'han obtingut per a cada un dels fulls topogràfics tractats o, més concretament, per a l'àrea cartografiada que reflecteixen els mapes presentats a l'annex 2, limitada per les divisòries d'aigües (no s'inclouen els fragments de vessants fora de l'àrea estricta d'estudi).

A més, s'han obtingut dades per a dues zones pilot. La primera és representativa d'una unitat administrativa del territori: el municipi Naut Aran (fig. 6.1.). La segona és una conca que presenta una unitat fisiogràfica i geomorfològica, i no és altra que la vall de Valarties, inclosa en el municipi del Naut Aran (que ja ha estat presentada diverses vegades al llarg d'aquest treball) (fig. 6.2.). Per a aquestes dues zones pilot he fet una anàlisi una mica més exhaustiva.

Per facilitar l'obtenció de dades d'orientació i pendent he fet un pretractament en el que he assignat a cada triangle un codi d'orientació i un de pendent, de manera que totes les orientacions possibles han estat reduïdes a nou (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW i pla, on "pla" indica els triangles amb pendent =  $0^\circ$  i, per tant, sense orientació, que acostumen a correspondre a les superfícies de llacs i a carenes i fons de vall amples i plans); els pendents han estat reduïts a 5 intervals ( $0^\circ$ - $10^\circ$ ,  $-28^\circ$ ,  $-40^\circ$ ,  $-50^\circ$  i  $-90^\circ$ ) que, com ja he comentat al capítol anterior, són intervals significatius per al desencadenament i dinàmica de les allaus (IFENA, 1970). Aquest pretractament es reflecteix a la segona part de la figura 5. , del capítol anterior.)

Les dades que he volgut obtenir són, evidentment, les orientacions i pendents de les àrees que es reflecteixen a la taula 6.1.

Per a les zones pilot, a més, he obtingut les orientacions i pendents de la superfície superior a 2200 m i de la superfície superior a 2200 m afectada per allaus i orientacions corresponents als pendents característics de les zones de sortida de les allaus (entre  $28^\circ$  i  $50^\circ$ ).

He seleccionat la superfície superior a 1500 m perquè la major part de zones d'allaus es troben per sobre d'aquesta cota; a més, he considerat que fins a aquesta altitud poden produir-se allaus bastant sovint (tot depenent, és clar, de les condicions locals de topografia i vegetació). En resum, a grans trets es pot considerar que, en aquesta zona del Pirineu, el territori situat per sobre de 1500 m pot estar freqüentment exposat a les allaus. Aquesta selecció, doncs, té una doble intenció: de coneixement de la distribució i característiques de les allaus, i de caracterització de les zones de muntanya des de l'òptica de la Planificació Territorial.

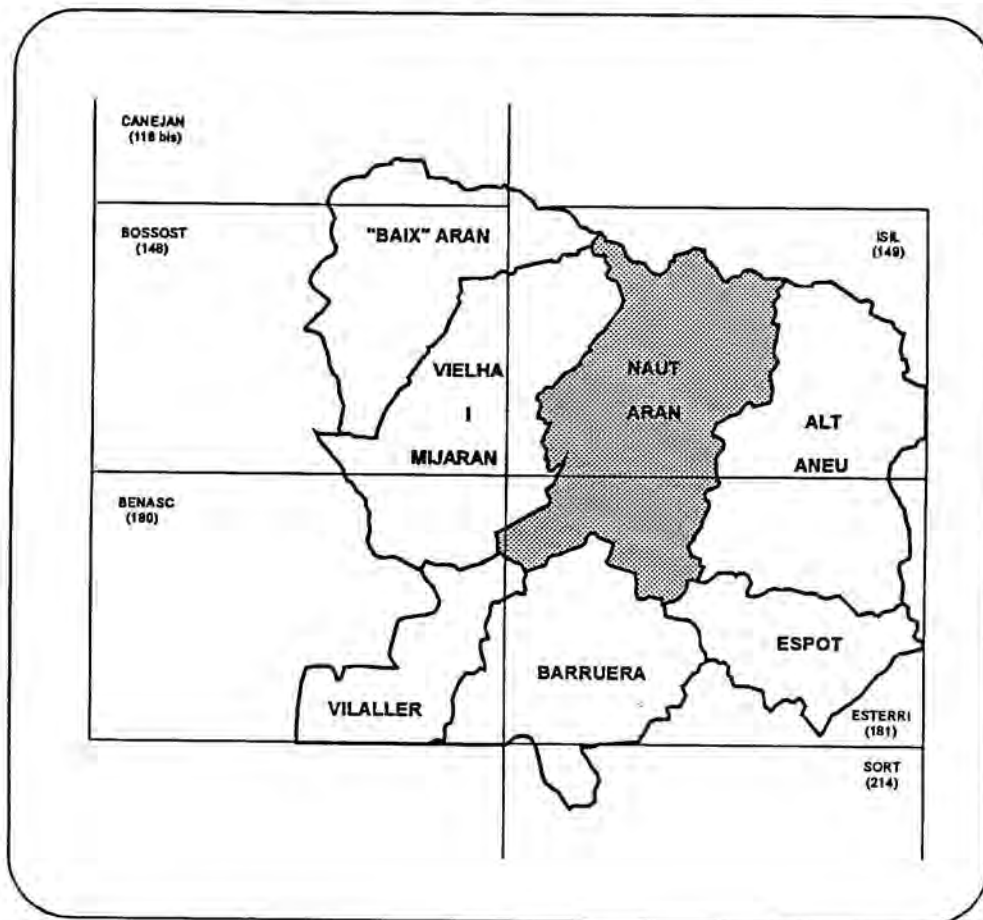


Figura 6.1.: Municipi del Naut Aran en el context de l'àrea estudiada.

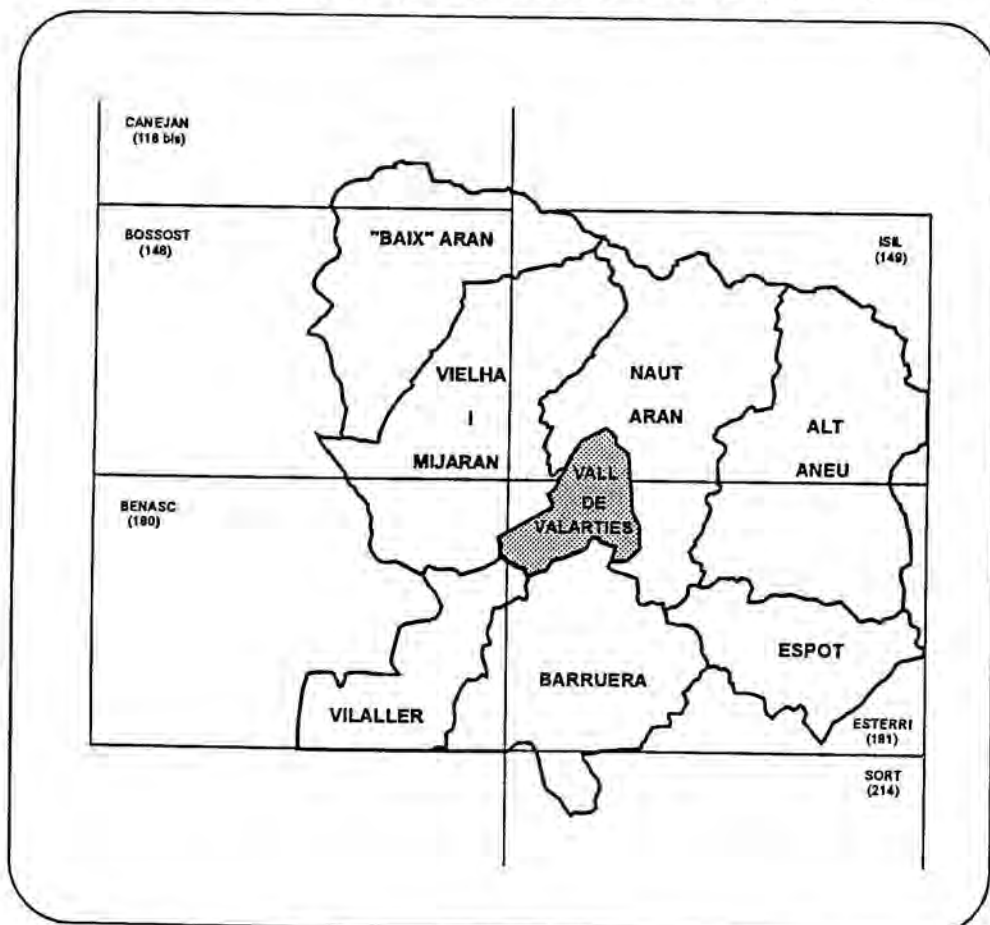


Figura 6.2.: Vall de Valarties en el context de l'àrea estudiada.

DADES A OBTENIR	COBERTORES DE LES QUE S'OBTENEN LES DADES
Area d'estudi o superfície general	tri
Superfície > 1500 m	trimc
Superfície afectada per allaus	triall
Superfície afectada per allaus > 1500 m	triallmc

*Taula 6.1.: Dades a obtenir i nom de les cobertores corresponents, utilitzats a la figura 6.3. (creació d'aquestes cobertores). Totes les cobertores estan compostes per polígons triangulars (provinents del tin que cobreix tota l'àrea d'estudi).*

Per a les zones pilot, he seleccionat també la superfície superior a 2200 m. La vegetació arbòria, concretament el pi negre (*Pinus uncinata*) assoleix cotes de 2300 m (Masalles et al., 1988), però normalment a aquesta altitud ja no es presenta com un bosc espès que impedeix la formació d'allaus, sinó en exemplars dispersos. Així doncs, considero que a partir de la cota 2200 m no hi ha vegetació que pugui impedir el desencadenament d'allaus. En conseqüència, considero que la rugositat del terreny és la responsable de que no es presentin allaus en tots els pendents favorables a la seva producció.

Per a cada conjunt de dades a obtenir ha calgut crear una cobertura (taula 6.1.), que és el resultat del creuament de cobertores de triangles, de cobertores amb corbes de nivell i de cobertores simplificades de zones d'allaus. L'obtenció d'aquestes dades és el resultat del que, en la terminologia dels S.I.Gs., s'anomena **anàlisi**.

Els creuaments de cobertores es reflecteixen a la figura 6.3. Per "tallar" (per un procés de superposició topològica) la cobertura de triangles que cobreix tota l'àrea de cada full i generar la de la superfície > 1500 m i la de la superfície > 2200 m ha calgut extreure aquestes dues corbes de nivell de la corresponent cobertura de topografia i crear les cobertores de polígons de la corba de cota 1500 m, i la de cota 2200 m. El resultat són les cobertores indicades a la taula 6.1. i indicades amb trama a la figura 6.3. a partir de les quals he obtingut les taules de dades que presento a l'apartat següent.

Les dades s'han obtingut a través del mòdul ArcPlot, que és el mòdul de representació gràfica i d'interrogació d'Arc/Info. La interrogació ha consistit en els següents passos:

- Entrar al mòdul ArcPlot.
- Seleccionar la cobertura i la orientació o el pendent desitjat (RESELECT).
- Executar la comanda STATISTICS d'interrogació estadística i crear el fitxer on s'emmagatzemaran les dades.
- Seleccionar les superfícies reals dels triangles (no les planimètriques) i executar

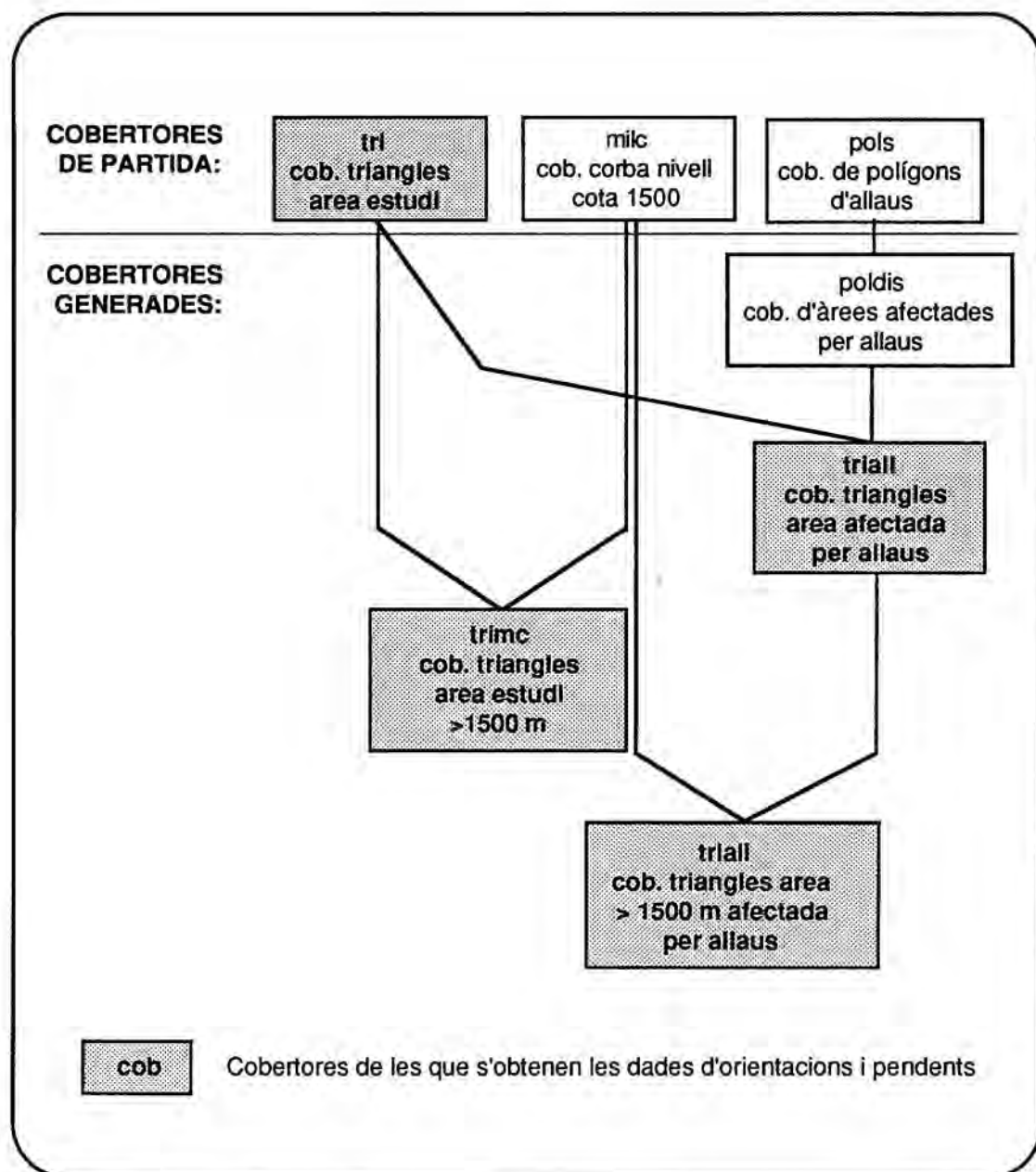


Figura 6.3.: Esquema de les cobertores de partida i de les cobertores generades per a l'obtenció de dades de l'àrea d'estudi. Totes les cobertores generades es creen amb processos de CLIP (vegeu capítol 4.3.), excepte la cobertura "poldis", que només serveix com a pas intermig, i que es crea superposant les cobertores d'allaus carabassa i lila (comanda UNION d'Arc) i aplicant la comanda DISSOLVE d'Arc, de manera de resulta una cobertura dels contorns del conjunt de zones d'allaus (per a més detalls sobre aquestes dues comandes, vegeu el capítol 4.3. i els manuals de comandes d'Arc).

A les taules 6.2. i 6.2. es presenten les macros amb les que he dut a terme aquesta interrogació i obtenció de dades.

```
natura% more stat.aml
&args cob1 cob2 cob3 cob4
&do cob &list %cob1% %cob2% %cob3% %cob4%
  statistics %cob% poly # %cob%gen
  sum area
  sum sarea
end
&do pen &list 10 28 40 50 90
  reselect %cob% poly pendent = %pen%
  statistics %cob% poly # %cob%%pen%
  sum sarea
end
clearselect
&end
&do ori &list n ne e se s sw w nw pla
  reselect %cob% poly orient = [quote %ori%]
  statistics %cob% poly # %cob%%ori%
  sum sarea
end
clearselect
&end
&end
```

*Taula 6.2.: Macro utilitzada per a l'obtenció de les dades de pendents i orientacions de les àrees estudiades. El llenguatge de programació utilitzat és l'Arc Macro Language, propi d'Arc/Info. S'executa a partir d'ArcPlot.*

```
natura% more statzs.aml
&args cob
&do ori &list n ne e se s sw w nw
  reselect %cob% poly pendent = 40 or pendent = 50
  reselect %cob% poly orient = [quote %ori%]
  statistics %cob% poly # zs%cob%%ori%
  sum sarea
end
clearselect
&end
&return
```

*Taula 6.3.: Macro utilitzada per a l'obtenció de les dades de pendents i orientacions específiques de les zones pilot de la vall de Valarties i el municipi del Naut Aran. Les dades específiques són les orientacions de les zones de sortida de les allaus, corresponents als pendents entre 28° i 40°. El llenguatge de programació utilitzat és l'Arc Macro Language, propi d'Arc/Info. S'executa a partir d'ArcPlot.*

### 6.1.2. Les dades d'orientacions i pendents

En aquest apartat presento les taules de les dades obtingudes, així com una selecció de gràfics d'orientacions i pendents que ajuden a visualitzar-les. A continuació incloc una sèrie d'observacions que se'n dedueixen, amb el suport visual dels mapes, és clar.

Les dades estan ordenades segons la numeració dels fulls topogràfics (figs. 6.1. i 6.2.): Bossost / Canejan; Isil; Benasc; Esterrí; i al final les zones pilot de Naut Aran i Valarties. Per a cada zona he inclòs les taules i els gràfics corresponents.

Vull fer notar que els % que s'expressen en diferents columnes de les taules no sempre es refereixen a la mateixa àrea. Al costat de cada símbol de % hi ha, entre parèntesi, si el tant per cent està referit a la superfície total estudiada o a la que es troba per sobre de 1500 m o 2200 m. En els gràfics de pendents, els % expressats fan referència a la superfície considerada en la generació del gràfic, és a dir, a la superfície superior a 1500 m (o 2200 m), i a la superfície afectada per allaus superior a 1500 m (o 2200 m). Totes les superfícies s'expressen en hectàrees (en taules i gràfics).

Algunes de les observacions que faig a continuació de les taules i gràfics han estat deduïdes a partir d'algun càlcul senzill sobre les dades de les taules (que no presento per ser obvis), que les posa de manifest.

**BOSSOST / CANEJAN**

	superfície planimètrica	superfície real	superfície real afectada per allaus	superfície real > 1500 m	superfície real < 1500 m	superfície afectada per allaus > 1500 m
<b>Ha</b>	25299	30243	11834	15972	14271	9789
<b>%</b>	—	—	39	53	47	61 (1500)

Taula 6.4.: Característiques generals dels fulls de Bossost i Canejan (148 i 118 bis).

orientació	sup. real total		sup.real >1500m		sup. >1500m afectada per allaus		sup. > 1500m no afectada	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (1500)
N	3927	13	2206	7	1227	8	979	6
NE	4493	15	2412	8	1556	10	857	5
E	3753	12	1974	7	1290	8	685	4
SE	3509	12	1891	6	1385	9	506	3
S	3813	13	2030	7	1579	10	451	3
SW	2998	10	1328	4	723	5	606	4
W	3176	11	1773	6	1025	6	748	5
NW	3780	12	2069	7	862	5	1207	8
pla	795	3	287	1	143	1	144	1
<b>total</b>	<b>30243</b>	<b>100</b>	<b>15972</b>	<b>53</b>	<b>9789</b>	<b>61</b>	<b>6182</b>	<b>39</b>

Taula 6.5.: Característiques d'orientació dels vessants dels fulls de Bossost i Canejan (148 i 118 bis).

pendent	sup. real total		sup.real >1500m		sup. >1500m afectada per allaus		sup. > 1500m no afectada	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (1500)
0°-10°	1685	6	852	3	209	1	643	4
10°-28°	11349	38	5870	19	3487	22	2383	15
28°-40°	12871	43	6739	22	4423	28	2317	15
40°-50°	3577	12	2016	7	1372	9	644	4
50°-90°	707	2	495	2	299	2	196	1
<b>total</b>	<b>30189</b>	<b>100</b>	<b>15971</b>	<b>53</b>	<b>9789</b>	<b>61</b>	<b>6182</b>	<b>39</b>

Taula 6.6.: Característiques de pendent dels vessants dels fulls de Bossost i Canejan (148 i 118 bis).

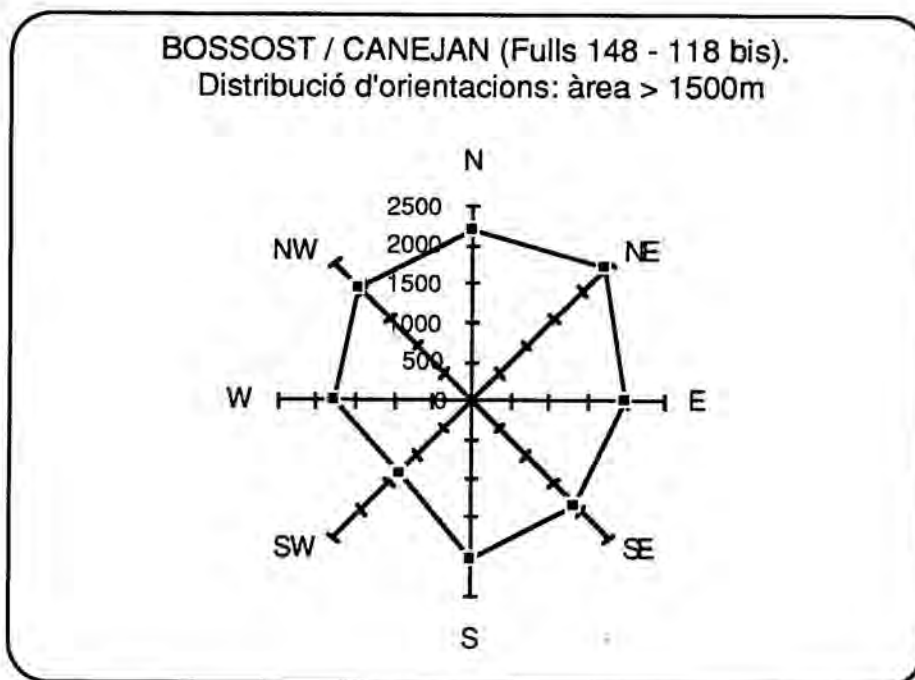


Figura 6.4.: Distribució de les orientacions dels vessants amb altituds superiors a 1500 m dels fulls de Bossost i Canejan (148 i 118 bis). Unitats en Ha.

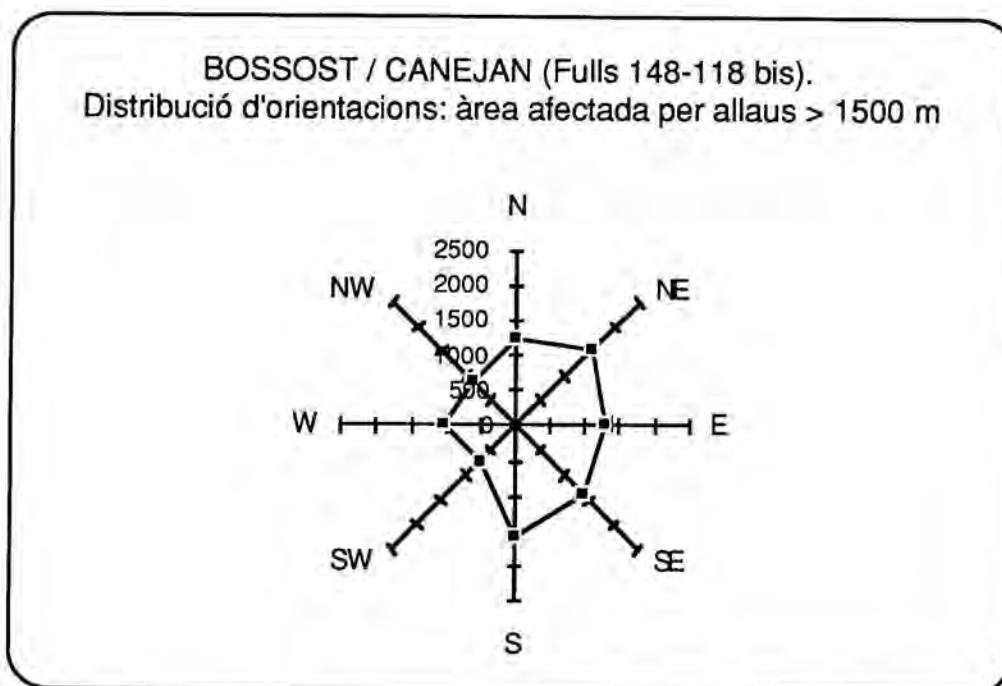


Figura 6.5.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 1500 m, dels fulls de Bossost i Canejan (148 i 118 bis). Unitats en Ha.



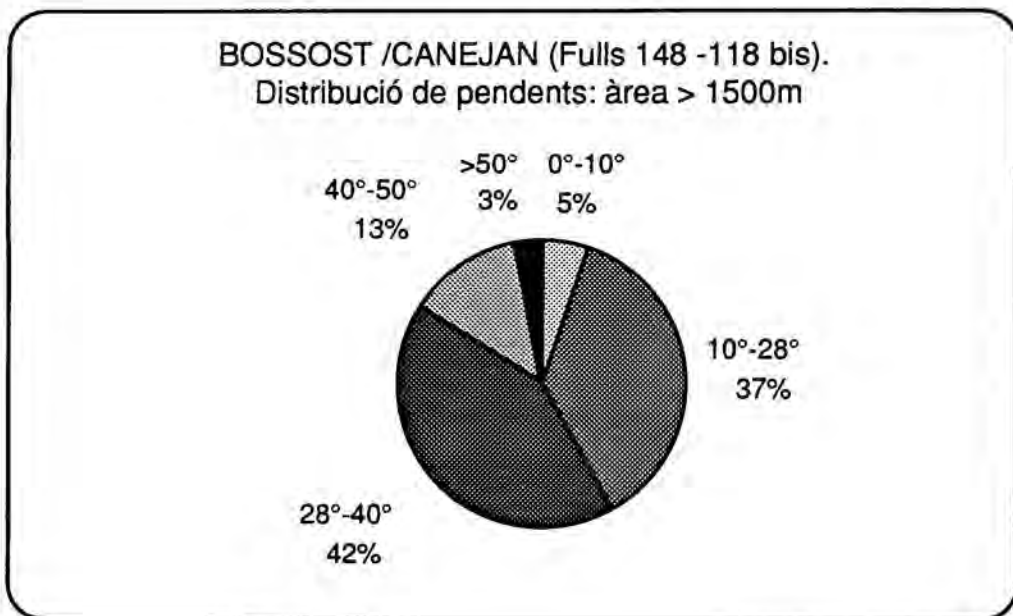


Figura 6.6.: Distribució dels pendents dels vessants amb altituds superiors a 1500 m als fulls de Bossost i Canejan (148 i 118 bis). Unitats en Ha.

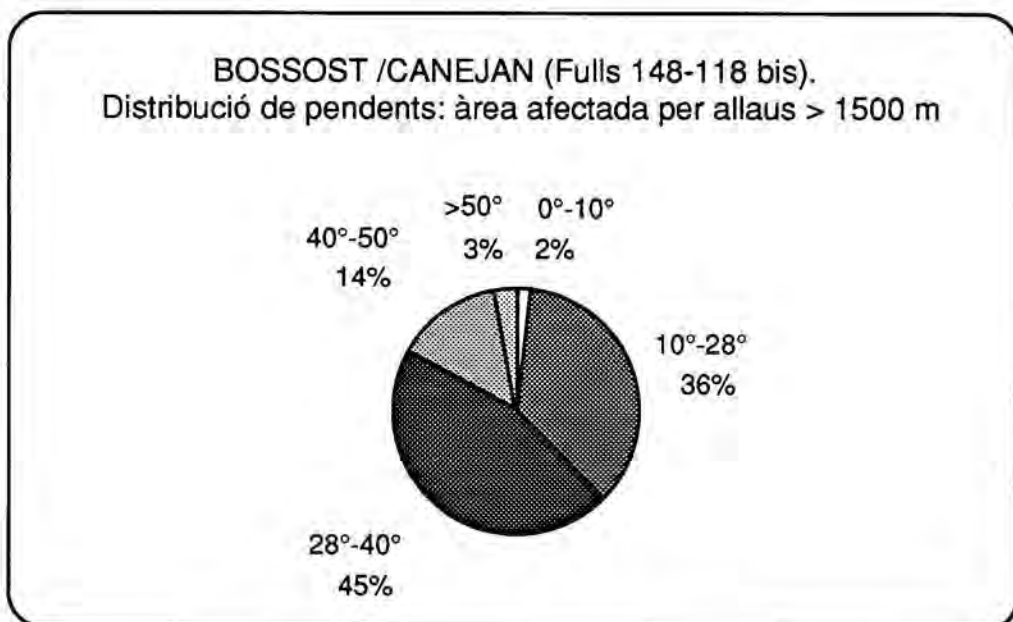


Figura 6.7.: Distribució dels pendents dels vessants, amb altituds superiors a 1500 m, afectats per allaus als fulls de Bossost i Canejan (148 i 118 bis). Unitats en Ha.

## ISIL

	superfície planimètrica	superfície real	superfície real afectada per allaus	superfície real > 1500 m	superfície real < 1500 m	superfície afectada per allaus > 1500 m
Ha	37988	45189	25490	38889	6300	22817
%	—	—	56	86	14	59 (1500)

Taula 6.7.: Característiques generals del full d'Isil (149)

orientació	sup. real total		sup.real >1500m		sup. >1500m afectada per allaus		sup. > 1500m no afectada	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (1500)
N	5422	12	4420	10	2178	6	2242	6
NE	4628	10	4274	9	2285	6	1988	5
E	4316	10	3945	9	2132	5	1813	5
SE	4843	11	4352	10	2595	7	1757	5
S	6628	15	5841	13	3699	10	2143	6
SW	6875	15	6031	13	4242	11	1789	5
W	5446	12	4408	10	2782	7	1626	4
NW	4720	10	3653	8	2031	5	1622	4
pla	2313	5	1966	4	874	2	1092	3
total	45189	100	38889	86	22817	59	16072	41

Taula 6.8.: Característiques d'orientació dels vessants del full d'Isil (149).

pendent	sup. real total		sup.real >1500m		sup. >1500m afectada per allaus		sup. > 1500m no afectada	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (1500)
0°-10°	4292	9	3738	8	1467	4	2271	6
10°-28°	18298	40	16041	35	8632	22	7409	19
28°-40°	16300	36	13683	30	9321	24	4362	11
40°-50°	4955	11	4197	9	2852	7	1346	3
50°-90°	1344	3	1229	3	545	1	684	2
total	45189	100	38889	86	22817	59	16072	41

Taula 6.9.: Característiques de pendent dels vessants del full d'Isil (149)

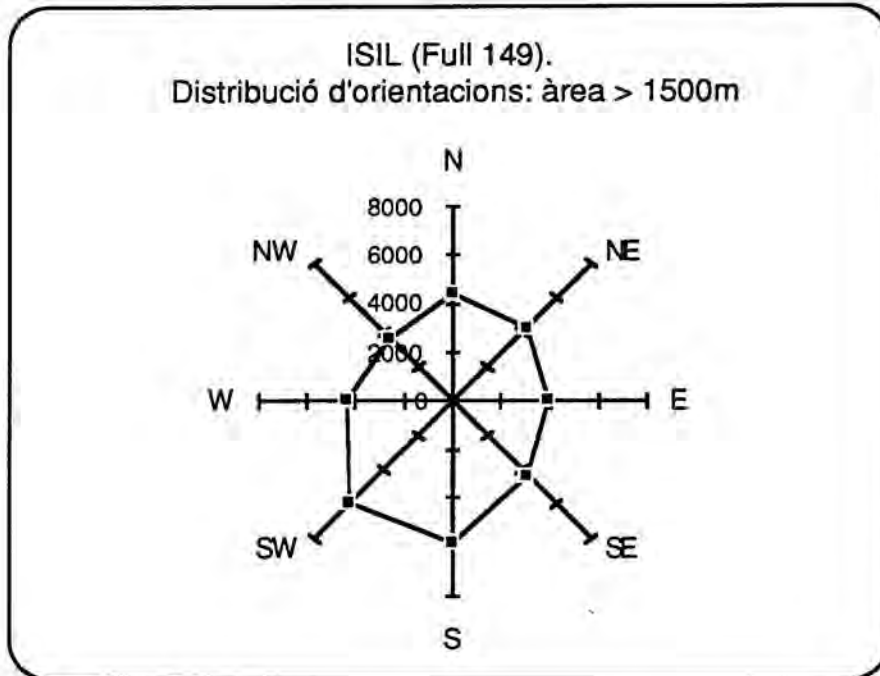


Figura 6.8.: Distribució de les orientacions dels vessants amb altituds superiors a 1500 m del full d'Isil (149). Unitats en Ha.

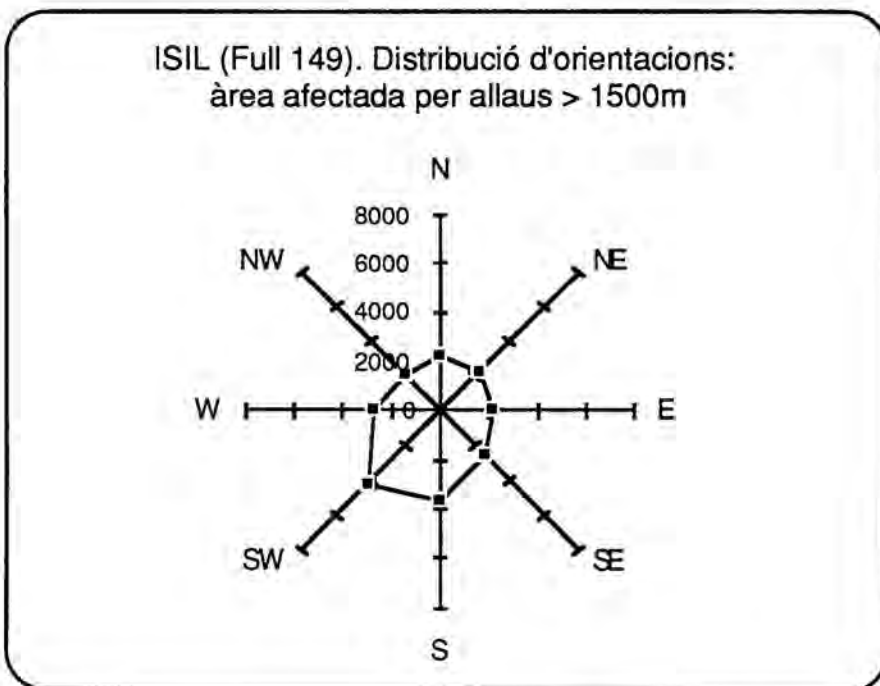


Figura 6.9.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 1500 m, del full d'Isil (149). Unitats en Ha.

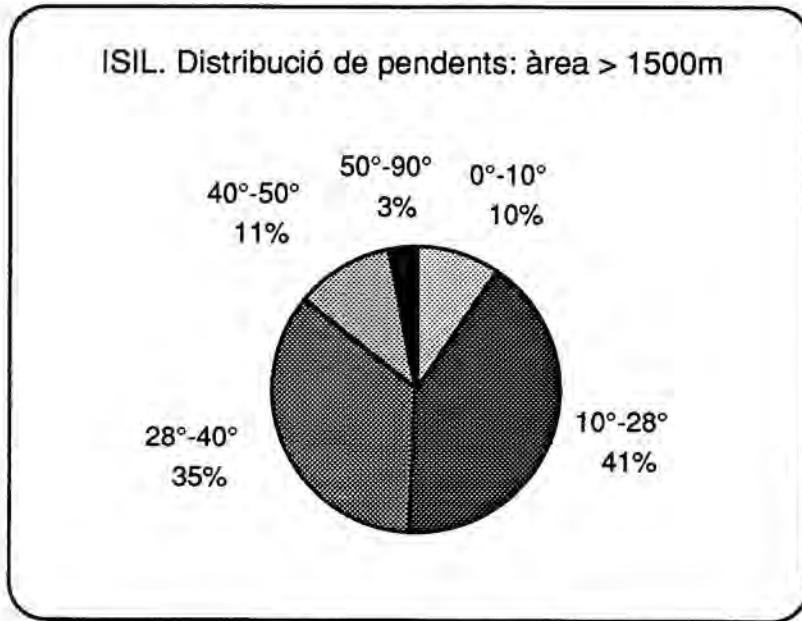


Figura 6.10.: Distribució dels pendants dels vessants amb altituds superiors a 1500 m al full d'Isil (149). Unitats en Ha.

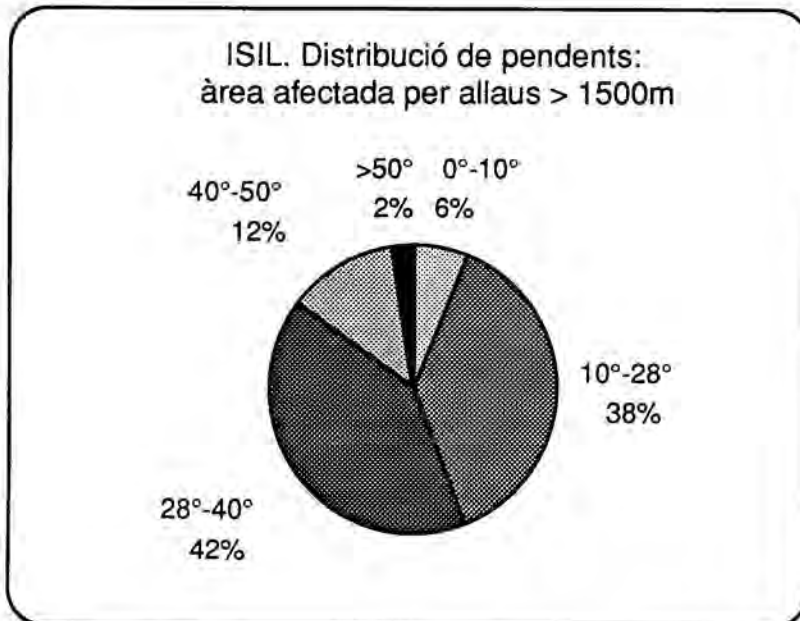


Figura 6.11.: Distribució dels pendants dels vessants, amb altituds superiors a 1500 m, afectats per allaus al full d'Isil (149). Unitats en Ha.

## BENASC

	superfície planimètrica	superfície real	superfície real afectada per allaus	superfície real > 1500 m	superfície real < 1500 m	superfície afectada per allaus > 1500 m
Ha	15912	20147	12004	17533	2614	11811
%	-	-	60	87	13	67 (1500)

Taula 6.10.: Característiques generals del full de Benasc (180).

orientació	sup. real total		sup.real >1500m		sup.>1500m afectada per allaus		sup.> 1500m no afectada	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (1500)
N	2202	11	2086	10	1373	8	714	4
NE	2050	10	1907	9	1382	8	524	3
E	2757	14	2358	12	1614	9	744	4
SE	2872	14	2331	12	1673	10	658	4
S	2288	11	2019	10	1400	8	619	4
SW	2201	11	2014	10	1264	7	751	4
W	2759	14	2379	12	1607	9	773	4
NW	2369	12	2039	10	1275	7	764	4
pla	650	3	399	2	224	1	175	1
total	20147	100	17533	87	11811	67	5721	33

Taula 6.11.: Característiques d'orientació dels vessants del full de Benasc (180).

pendent	sup. real total		sup.real >1500m		sup.>1500m afectada per allaus		sup.> 1500m no afectada	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (1500)
0°-10°	1254	6	782	4	381	2	401	2
10°-28°	5959	30	5174	26	3378	19	1796	10
28°-40°	8060	40	7193	36	5036	29	2157	12
40°-50°	3922	19	3544	18	2516	14	1028	6
50°-90°	952	5	840	4	500	3	340	2
total	20147	100	17533	87	11811	67	5722	33

Taula 6.12.: Característiques de pendent dels vessants del full de Benasc (180).

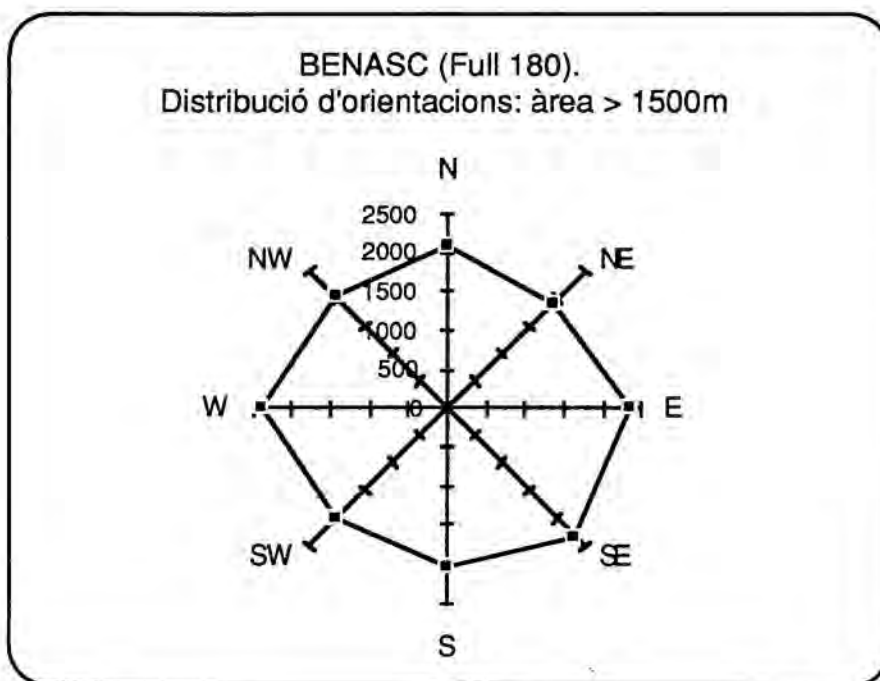


Figura 6.12.: Distribució de les orientacions dels vessants amb altituds superiors a 1500 m del full de Benasc (180).

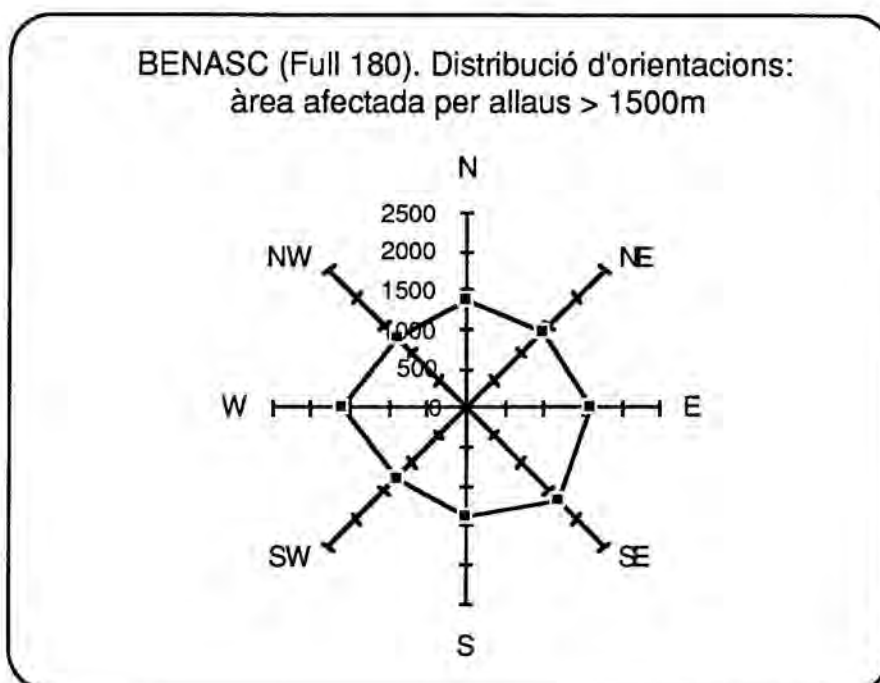


Figura 6.13.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 1500 m, del full de Benasc (180).

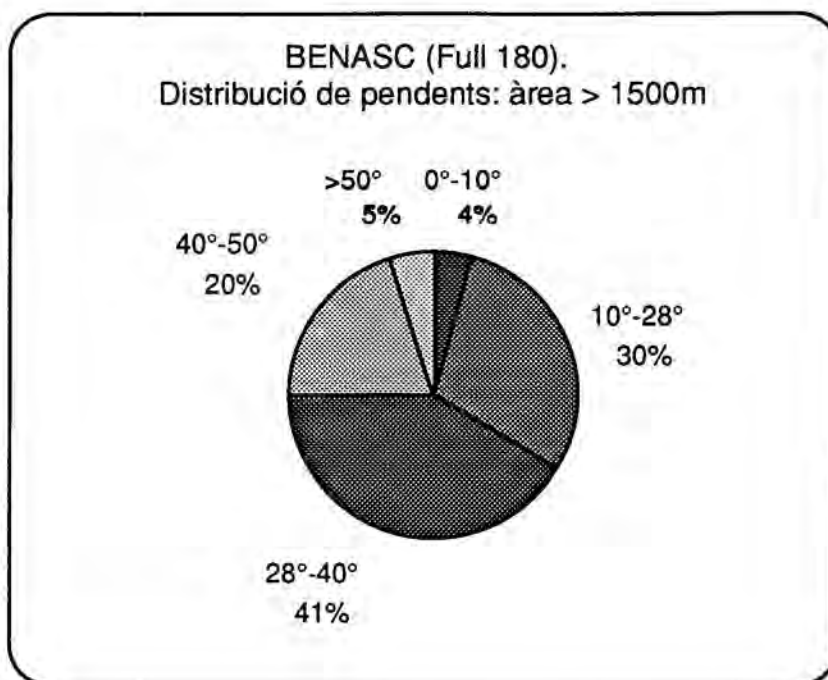


Figura 6.14.: Distribució dels pendents dels vessants amb altituds superiors a 1500 m al full de Benasc (180).

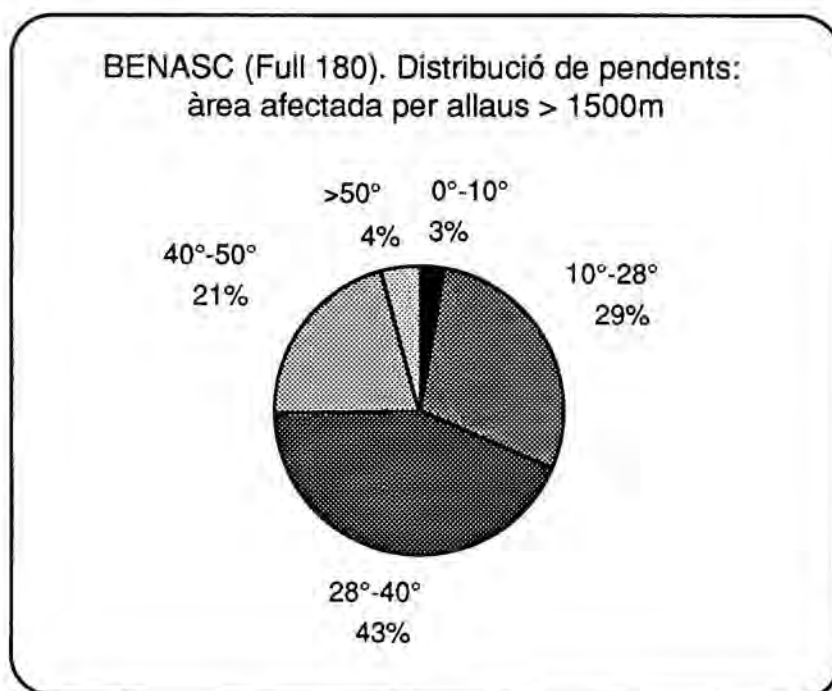


Figura 6.15.: Distribució dels pendents dels vessants, amb altituds superiors a 1500 m, afectats per allaus al full de Benasc (180).

## ESTERRI

	superfície planimètrica	superfície real	superfície real afectada per allaus	superfície real > 1500 m	superfície real < 1500 m	superfície afectada per allaus > 1500 m
Ha	42379	52123	25016	51014	1109	24868
%	-	-	48	98	2	49 (1500)

Taula 6.13.: Característiques generals del full d'Esterrí (181).

orientació	sup. real total		sup. real >1500m		sup. >1500m afectada per allaus		sup. > 1500m no afectada	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (1500)
N	7261	14	7180	14	3046	6	4134	8
NE	7276	14	7231	14	3142	6	4089	8
E	6349	12	6238	12	3035	6	3203	6
SE	6194	12	6026	12	2735	5	3291	6
S	5763	11	5669	11	3254	6	2415	5
SW	4995	10	4885	9	2559	5	2326	5
W	5709	11	5541	11	3254	6	2287	4
NW	5804	11	5600	11	2814	6	2787	5
pla	2771	5	2645	5	1031	2	1614	3
total	52123	100	51014	98	24868	49	26146	51

Taula 6.14.: Característiques d'orientació dels vessants del full d'Esterrí (181).

pendent	sup. real total		sup. real >1500m		sup. >1500m afectada per allaus		sup. > 1500m no afectada	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (1500)
0°-10°	5262,9	10	5063,7	10	1808	4	3255	6
10°-28°	18739	36	18368	35	7521	15	10847	21
28°-40°	17418	33	17083	33	9339	18	7745	15
40°-50°	7750,7	15	7597,8	15	4551	9	3047	6
50°-90°	2952,4	6	2901,2	6	1648	3	1253	2
total	52123	100	51014	98	24868	49	26146	51

Taula 6.15.: Característiques de pendent dels vessants del full d'Esterrí (181).



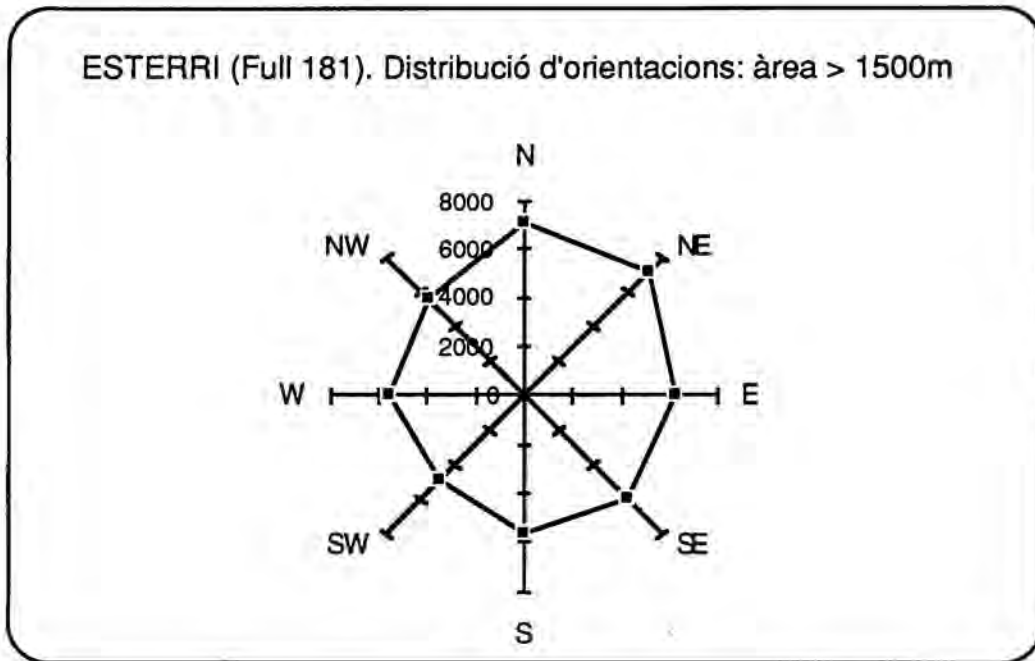


Figura 6.16.: Distribució de les orientacions dels vessants amb altituds superiors a 1500 m del full d'Esterra (181). Unitats en Ha.

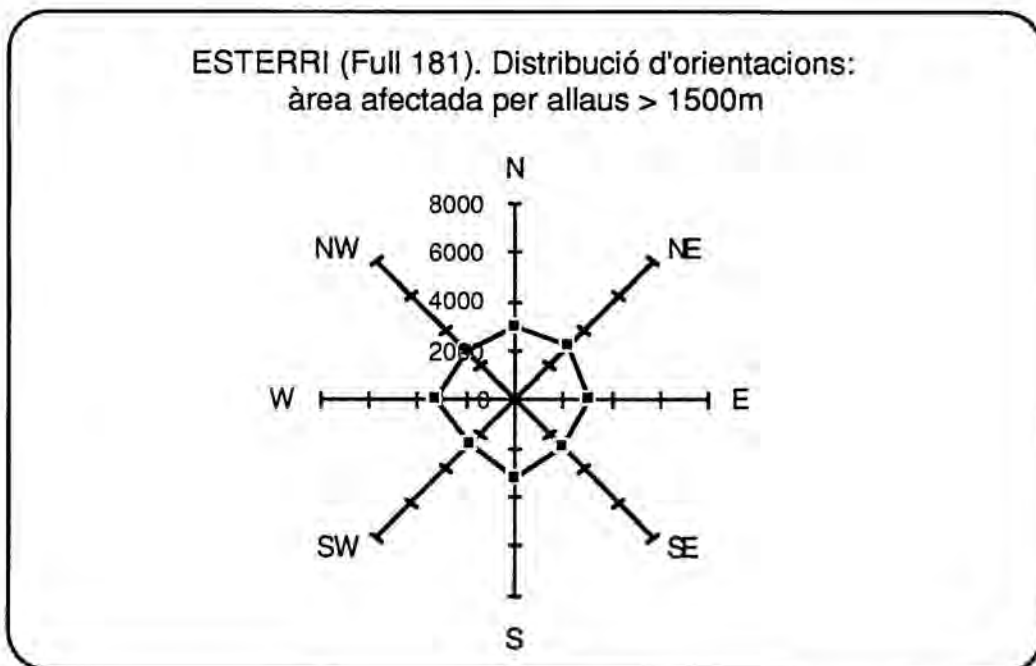


Figura 6.17.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 1500 m, del full d'Esterra (181). Unitats en Ha.

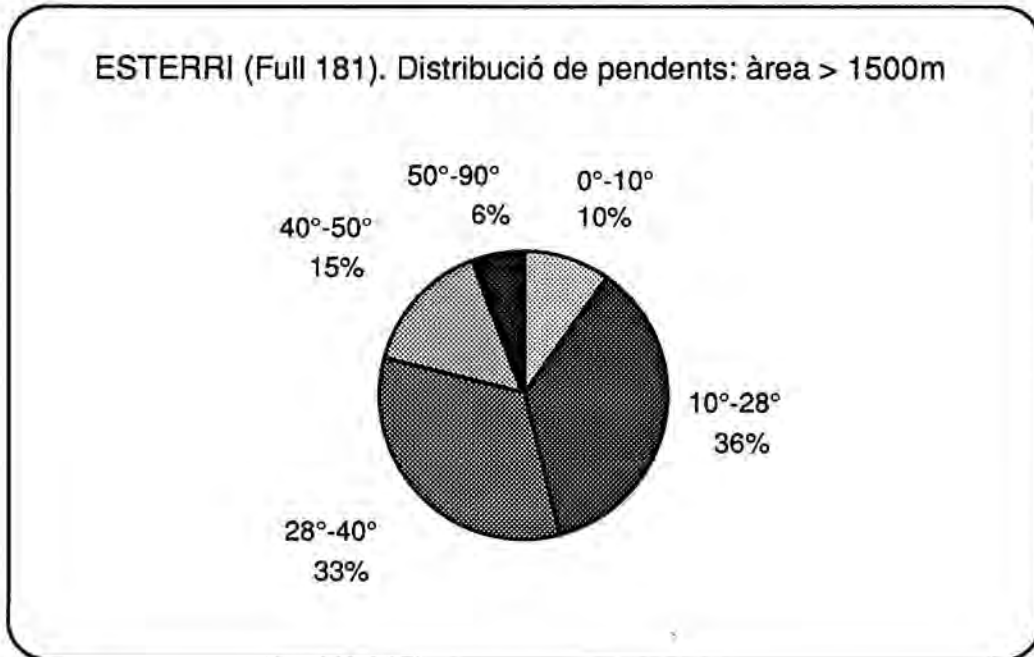


Figura 6.18.: Distribució dels pendents dels vessants amb altituds superiors a 1500 m, del full d'Esterri (181). Unitats en Ha.

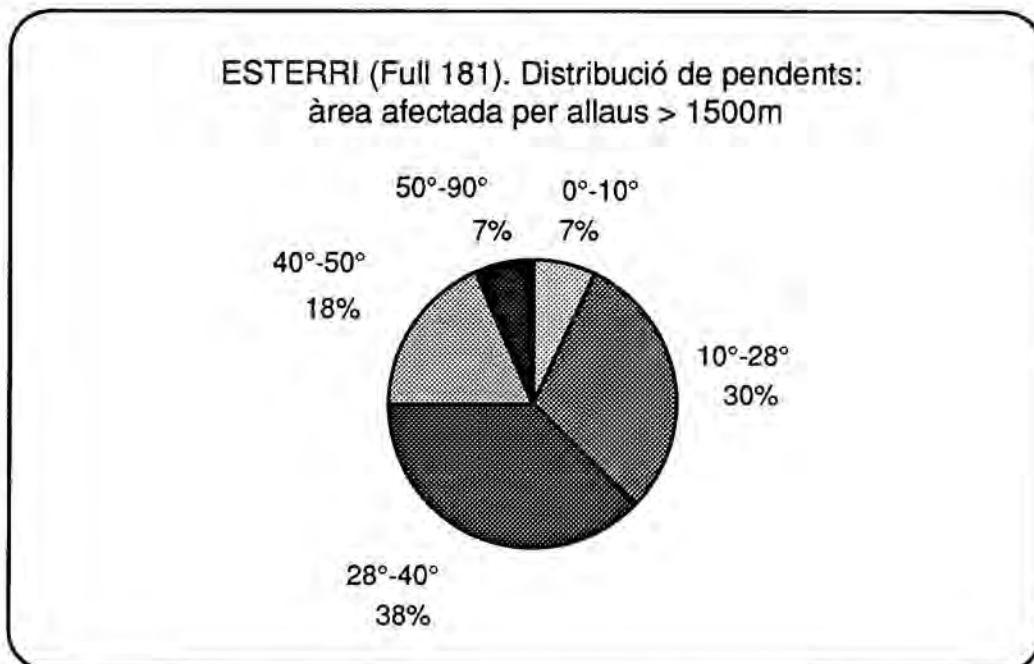


Figura 6.19.: Distribució dels pendents dels vessants, amb altituds superiors a 1500 m, afectats per allaus, del full d'Esterri (181). Unitats en Ha.

## NAUT ARAN

	superfície planimètrica	superfície real	superfície real afectada per allaus	superfície real > 1500 m	superfície afectada per allaus > 1500 m	superfície real > 2200 m	superfície afectada per allaus > 2200 m
Ha	25605	30582	15695	28452	15050	5122	2566
%	-	-	51	93	53 (1500)	17	50 (2200)

Taula 6.16.: Característiques generals del municipi del Naut Aran.

or.	sup. real total		sup.real >1500 m		sup. >1500m afect. allaus		sup.real >2200 m		sup. >2200m afect. allaus	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (tot.)	Ha	% (2200)
N	3753	11	3433	11	1396	4,9	839	2,7	346	6,7
NE	3708	11	3593	12	1725	6,1	924	3,0	434	8,5
E	3660	11	3452	11	1732	6,1	789	2,6	463	9,0
SE	3201	9	2996	10	1692	5,9	410	1,3	227	4,4
S	6960	20	6622	22	1876	6,6	220	0,7	136	2,6
SW	3963	12	3728	12	2528	8,9	348	1,1	226	4,4
W	3825	11	3556	12	2204	7,7	533	1,7	321	6,3
NW	2952	9	2715	9	1260	4,4	646	2,1	308	6,0
pla	2002	6	1797	6	636	2,2	413	1,4	106	2,1
total	30582	100	28452	93	15049	52,9	5122	16,7	2566	50,1

Taula 6.17.: Característiques d'orientació dels vessants del municipi del Naut Aran.

pendent	sup. real total		sup.real >1500 m		sup. > 1500m afect. allaus		sup.real >2200 m		sup. > 2200m afect. allaus	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	%(1500)	Ha	% (tot.)	Ha	%(2200)
0°-10°	3791	12	3434	11	1110	4	605,7	2	142	2,8
10°-28°	12589	41	11704	38	5513	19	1748	6	800	15,6
28°-40°	9996	33	9303	30	5906	21	1682	6	983	19,2
40°-50°	3331	11	3155	10	2034	7	761,7	2	455	8,9
50°-90°	878	3	866,5	3	486,1	2	324,4	1	187	3,6
total	30582	100	28462	93	15050	53	5122	17	2566	50

Taula 6.18.: Característiques de pendent dels vessants del municipi del Naut Aran.

orientació	28° < pendent < 50° supefície real	%
N	691	9
NE	969	12
E	941	12
SE	884	11
S	1014	13
SW	1409	18
W	1363	17
NW	671	8
total	7940	100

Taula 6.19.: Taula de les orientacions de l'àrea del municipi del Naut Aran amb les següents característiques: superior a 1500 m, afectada per allaus i amb pendents entre 28° i 50° (pendents característics de les zones de sortida de les allaus).

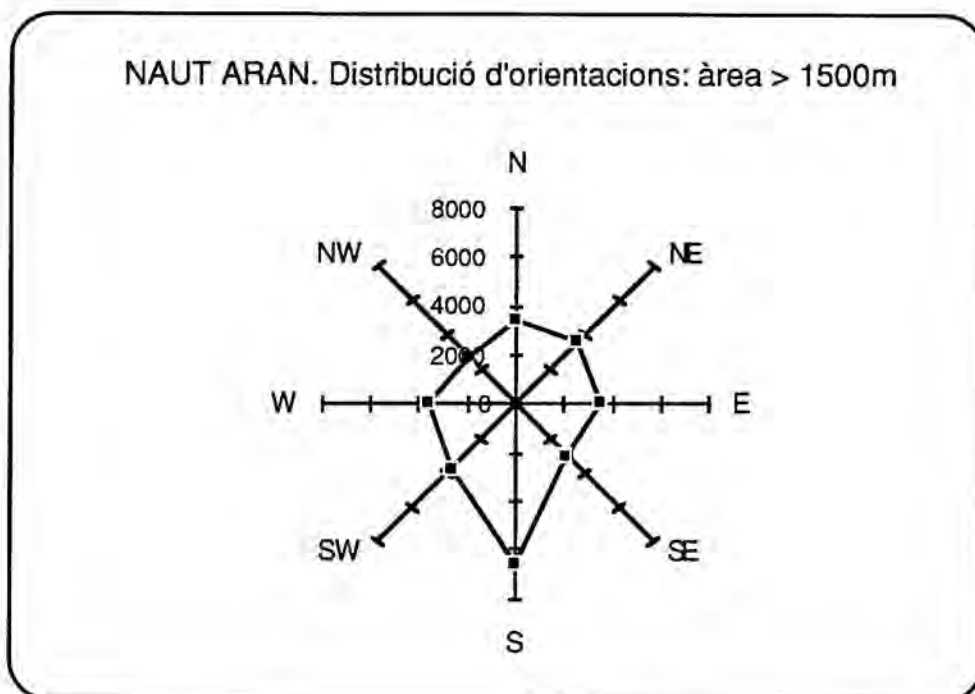
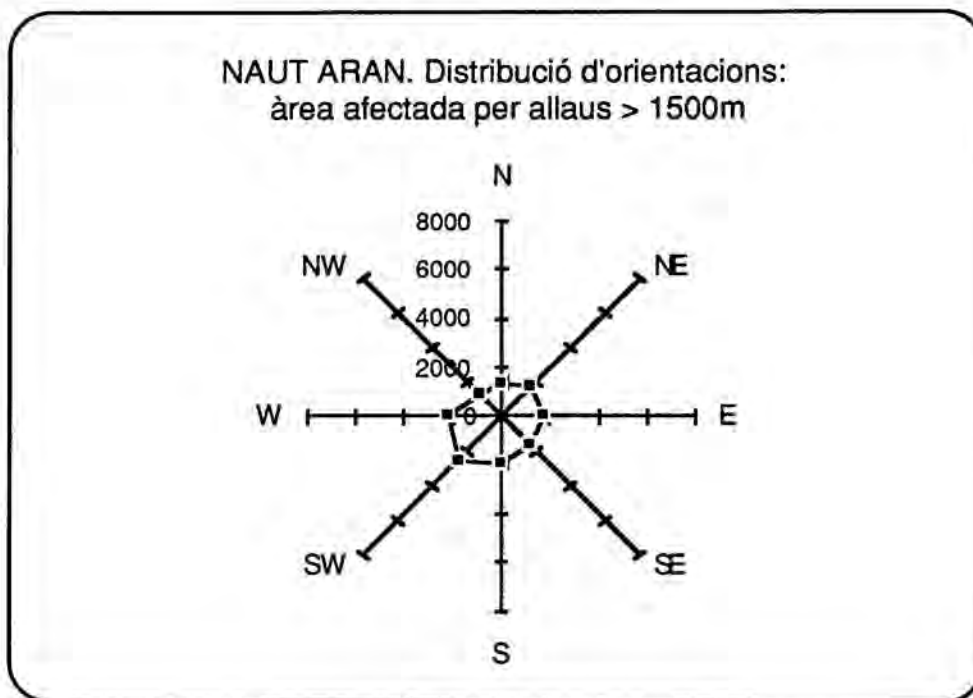
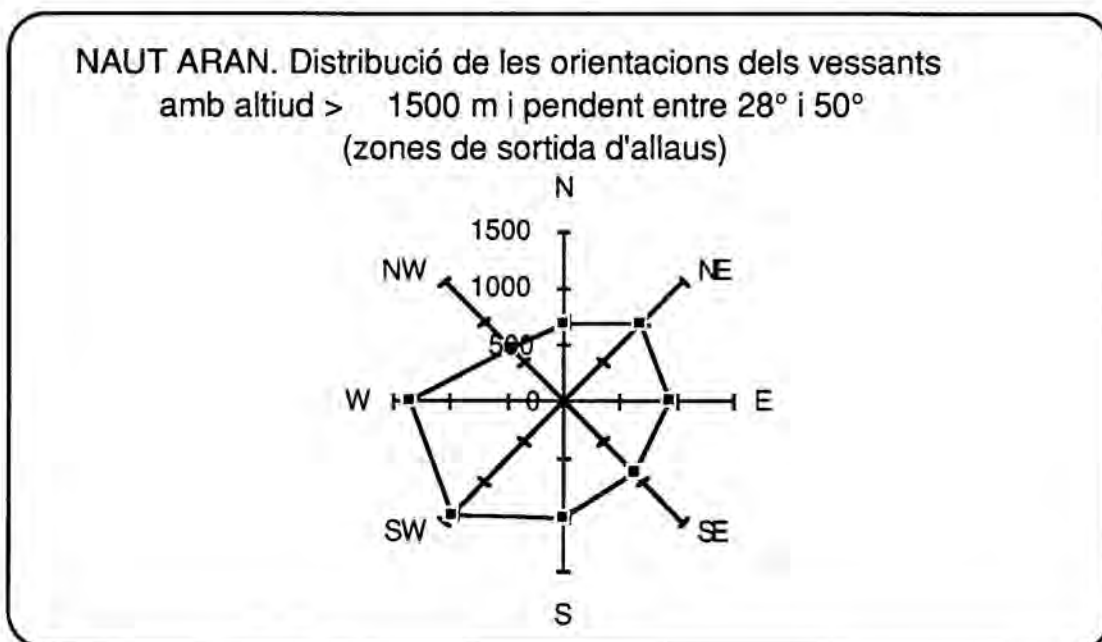


Figura 6.20.: Distribució de les orientacions dels vessants amb altituds superiors a 1500 m del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.



*Figura 6.21.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 1500 m, del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.*



*Figura 6.22.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 1500 m i pendents entre 28° i 50° (corresponents a les zones de sortida de les allaus), del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.*

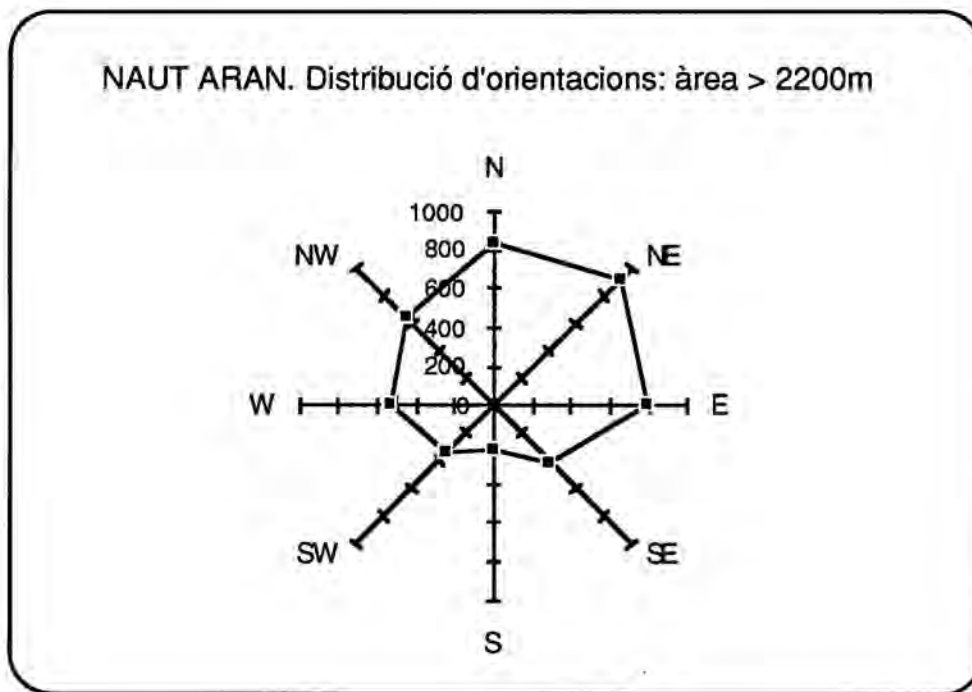


Figura 6.23.: Distribució de les orientacions dels vessants amb altituds superiors a 2200 m del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.

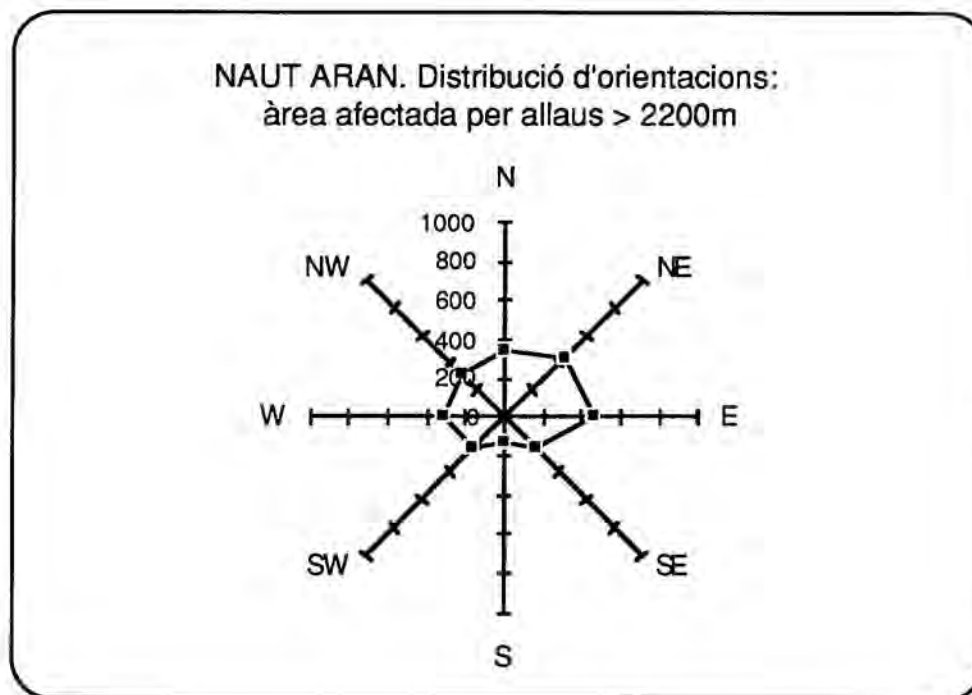


Figura 6.24.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 2200 m, del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.

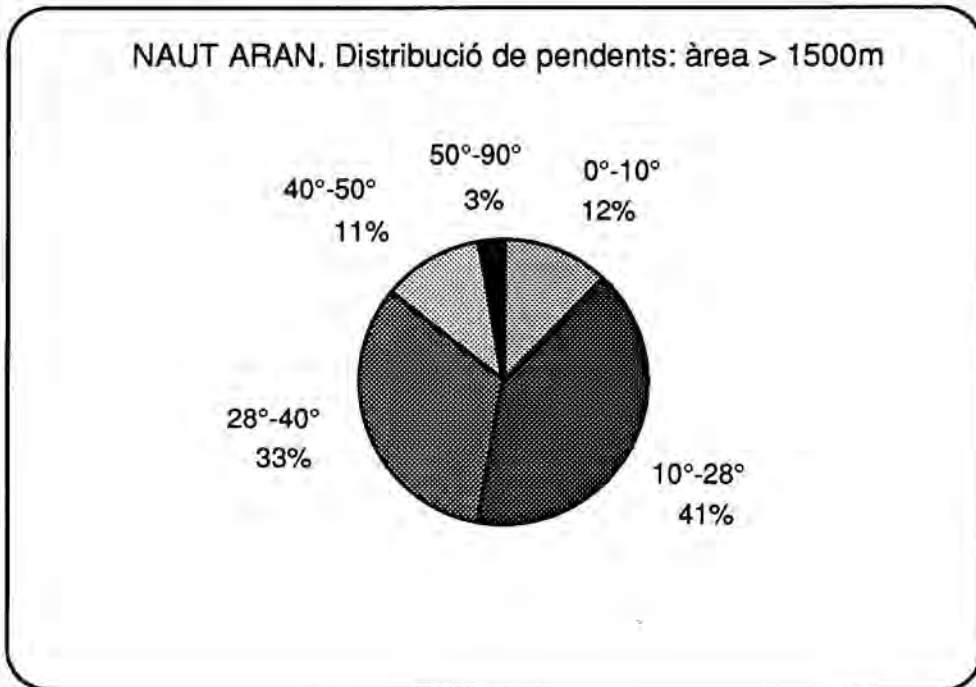


Figura 6.25.: Distribució dels pendents dels vessants amb altituds superiors a 1500 m del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.

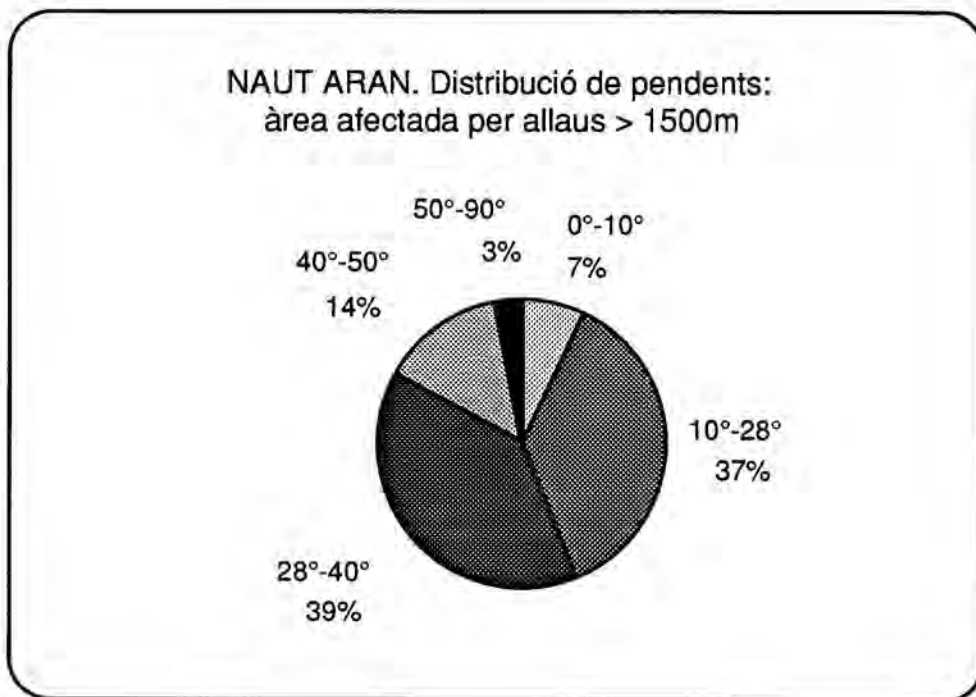


Figura 6.26.: Distribució dels pendents dels vessants, amb altituds superiors a 1500 m, afectats per allaus, del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.

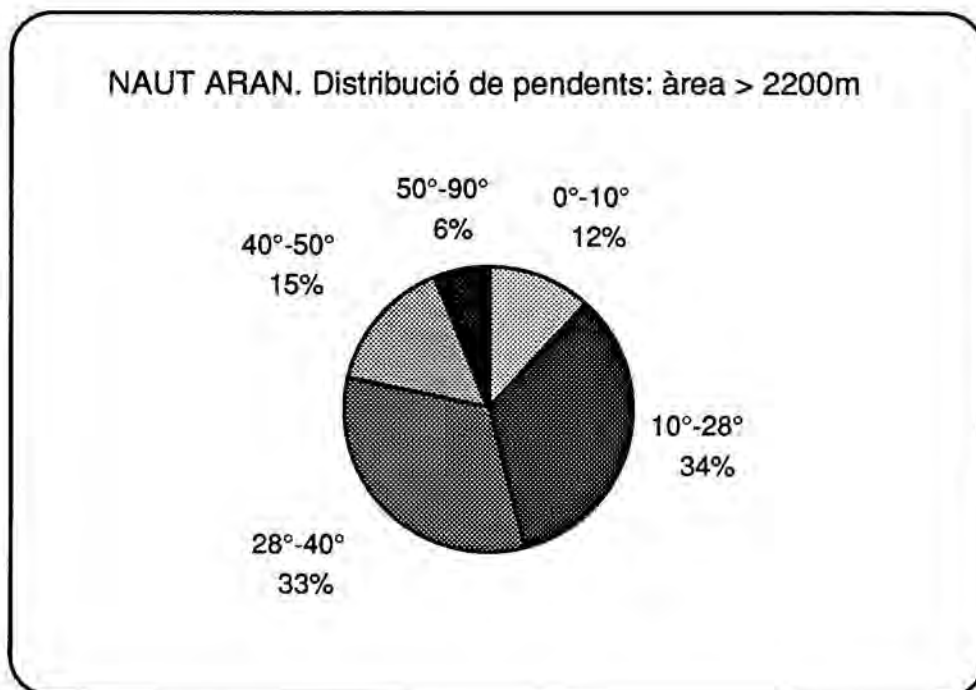


Figura 6.27.: Distribució dels pendents dels vessants amb altituds superiors a 2200 m del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.

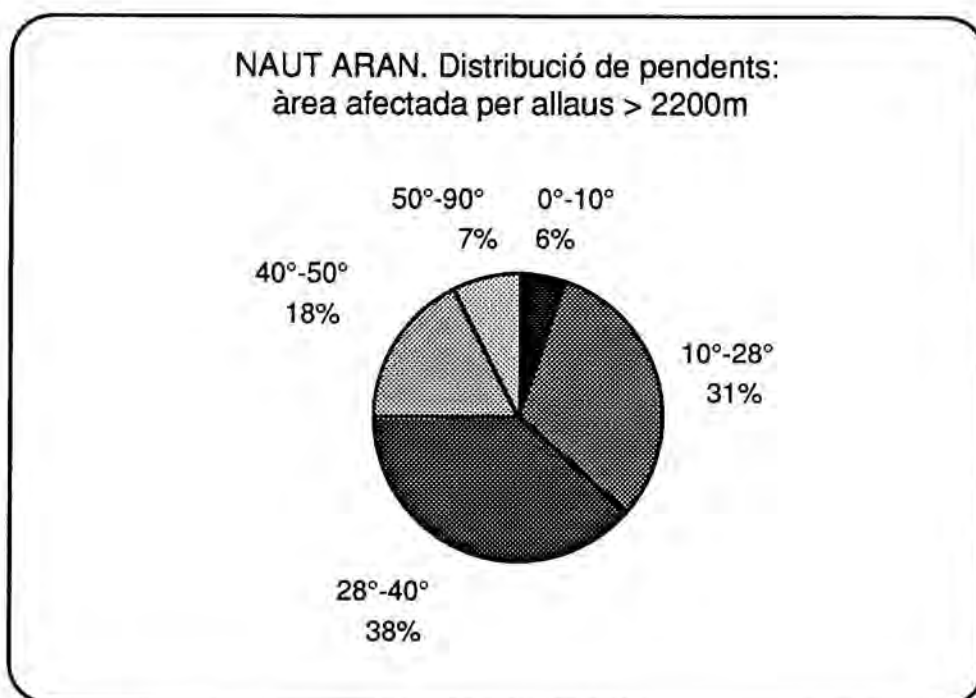


Figura 6.28.: Distribució dels pendents dels vessants, amb altituds superiors a 2200 m, afectats per allaus, del municipi del Naut Aran. Unitats en Ha.



## VALARTIES

	superfície planimètric a	superfície real	superfície real afectada per allaus	superfície real > 1500m	superfície afectada per allaus > 1500m	superfície real > 2200m	superfície afectada per allaus > 2200m
Ha	4956	6949	2861	6471	2704	2549	1255
%	—	—	41	93	42	37	49

Taula 6.20.: Característiques generals de la vall de Valarties.

or.	sup. real total		sup.real >1500 m		sup. > 1500m afect. allaus		sup.real >2200 m		sup. > 2200m afect. allaus	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (tot.)	Ha	% (2200)
N	1494	22	1473	21	450	7	476	7	218	9
NE	900	13	849	12	420	6	412	6	190	7
E	922	13	787	11	364	6	361	5	149	6
SE	654	9	625	9	363	6	209	3	117	5
S	417	6	417	6	245	4	156	2	116	5
SW	450	6	440	6	173	3	181	3	108	4
W	848	12	718	10	298	5	227	3	136	5
NW	885	13	828	12	308	5	349	5	171	7
pla	378	5	334	5	82	1	179	3	50	2
total	6949	100	6471	93	2704	42	2549	37	1255	49

Taula 6.21.: Característiques de l'orientació dels vessants de la vall de Valarties.

pendent	sup. real total		sup.real >1500 m		sup. > 1500m afect. allaus		sup.real >2200 m		sup. > 2200m afect. allaus	
	Ha	%	Ha	% (tot.)	Ha	% (1500)	Ha	% (tot.)	Ha	% (2200)
0°-10°	1184	17	1106	16	104	2	247	4	61	2
10°- 28°	1864	27	1701	24	673	10	699	10	285	11
28°-40°	2173	31	2002	29	1061	16	844	12	477	19
40°-50°	1139	16	1082	16	585	9	494	7	270	11
50°-90°	588	8	580	8	282	4	275	4	162	6
total	6949	100	6471	93	2704	42	2559	37	1255	49

Taula 6.22.: Característiques del pendent dels vessants de la vall de Valarties.

orientació	28° < pendent < 50° superfície real	%
N	259,7	15,8
NE	253,3	15,4
E	239,1	14,5
SE	237,7	14,4
S	147,1	8,9
SW	120,4	7,3
W	202,8	12,3
NW	185,2	11,3
total	1645,3	100

Taula 6.23.: Taula de les orientacions de l'àrea de la vall de Valarties amb les següents característiques: superior a 1500 m, afectada per allaus i amb pendents entre 28° i 50° (pendents característics de les zones de sortida de les allaus).

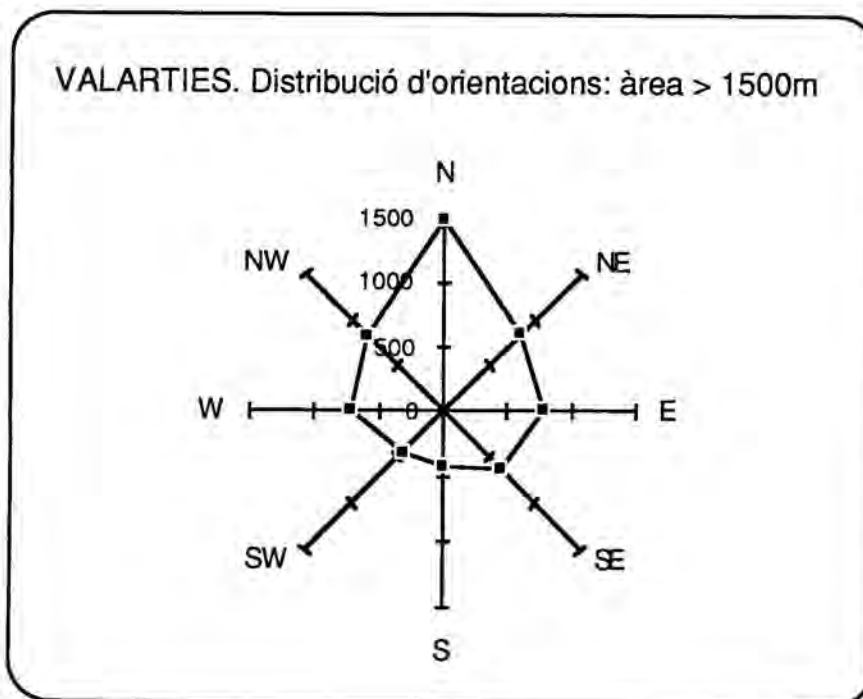


Figura 6.29.: Distribució de les orientacions dels vessants amb altituds superiors a 1500 m de la vall de Valarties. Unitats en Ha.

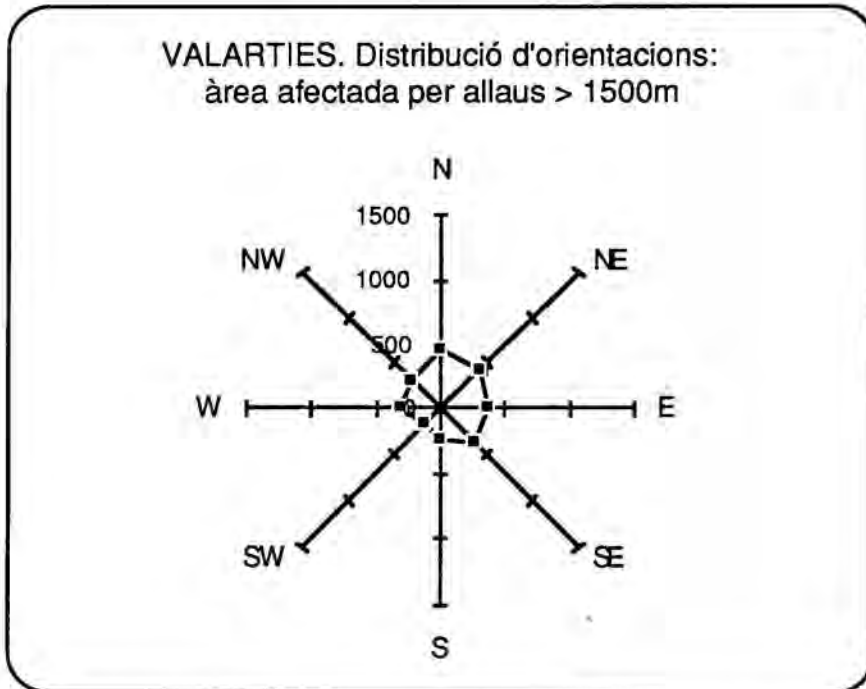


Figura 6.30.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 1500 m, de la vall de Valarties. Unitats en Ha.

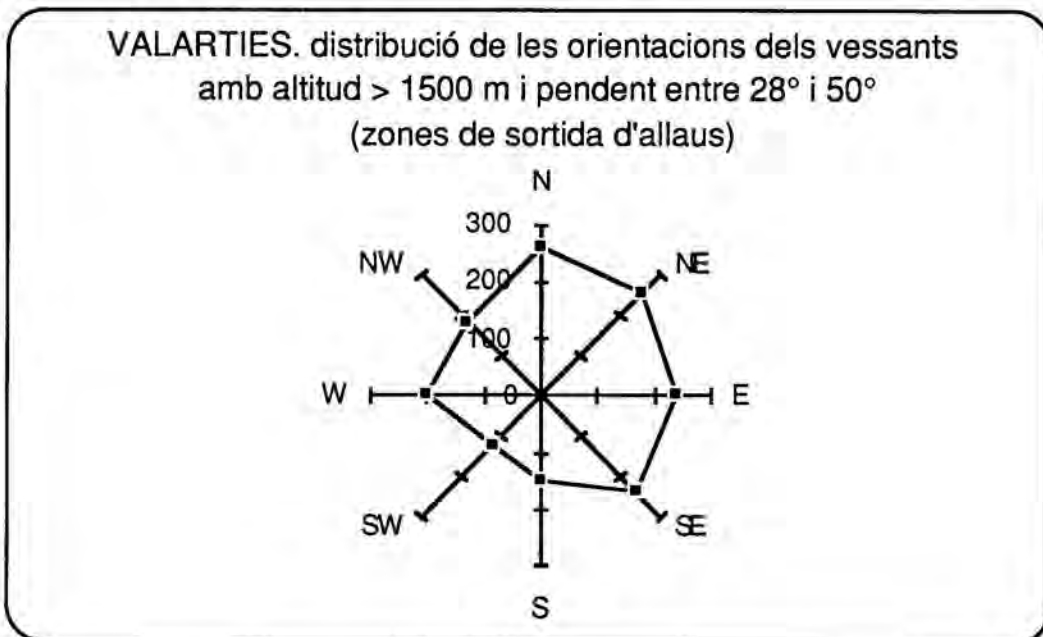


Figura 6.31.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 1500 m i pendents entre 28° i 50° (corresponents a les zones de sortida de les allaus), de la vall de Valarties. Unitats en Ha.

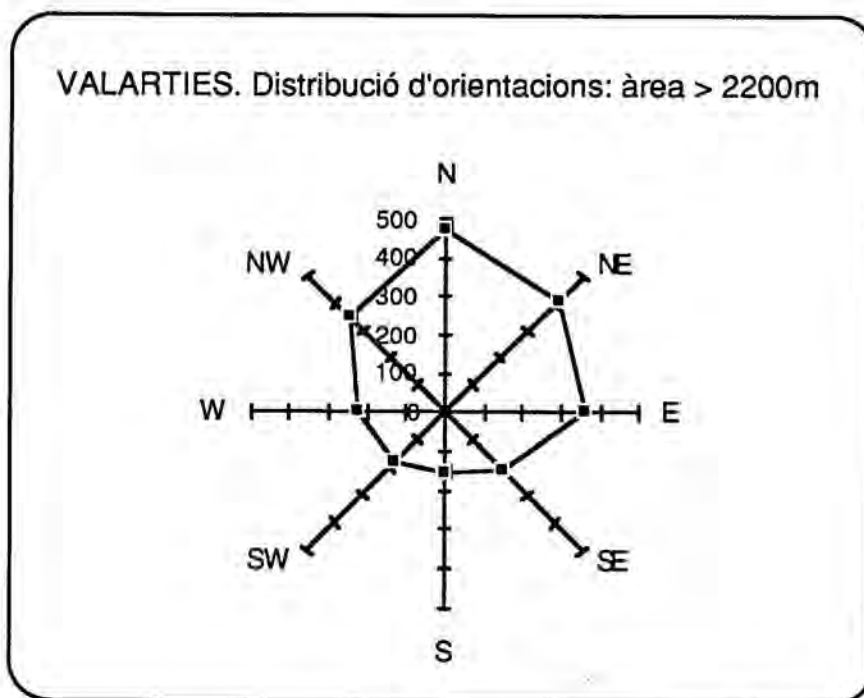


Figura 6.32.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 2200 m de la vall de Valarties. Unitats en Ha.

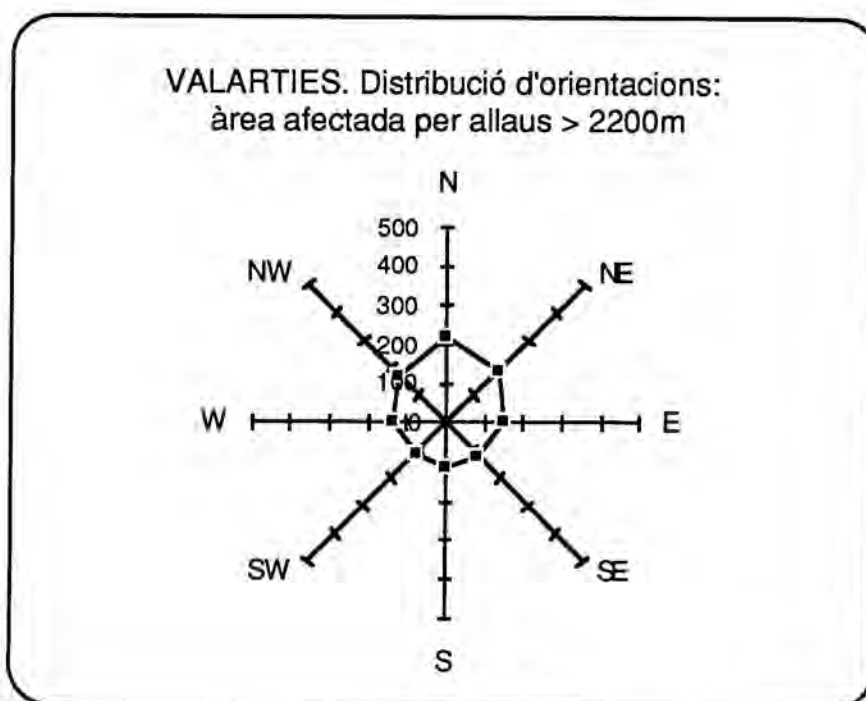


Figura 6.33.: Distribució de les orientacions dels vessants afectats per allaus, amb altituds superiors a 2200 m, de la vall de Valarties. Unitats en Ha.

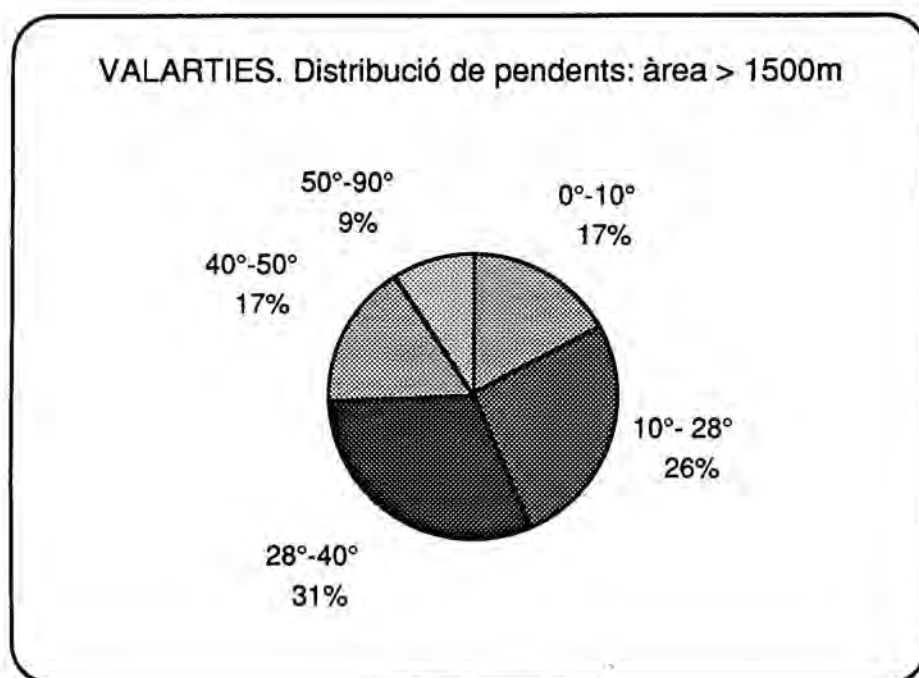


Figura 6.34.: Distribució dels pendents dels vessants amb altituds superiors a 1500 m a la vall de Valarties. Unitats en Ha.

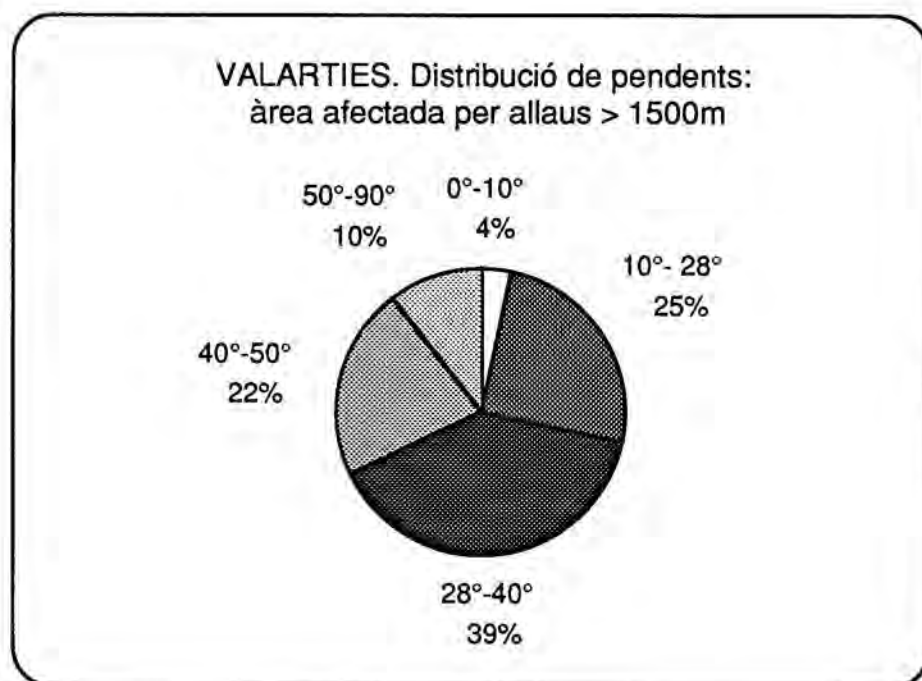


Figura 6.35.: Distribució dels pendents dels vessants, amb altituds superiors a 1500 m, afectats per allaus a la vall de Valarties. Unitats en Ha.

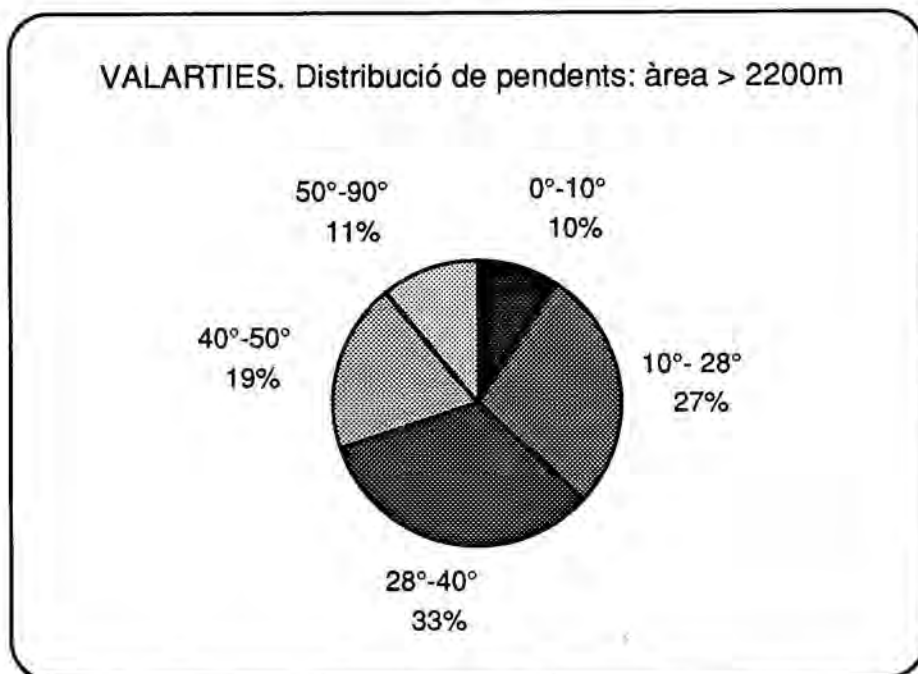


Figura 6.36.: Distribució dels pendants dels vessants, amb altituds superiors a 2200 m a la vall de Valarties. Unitats en Ha.

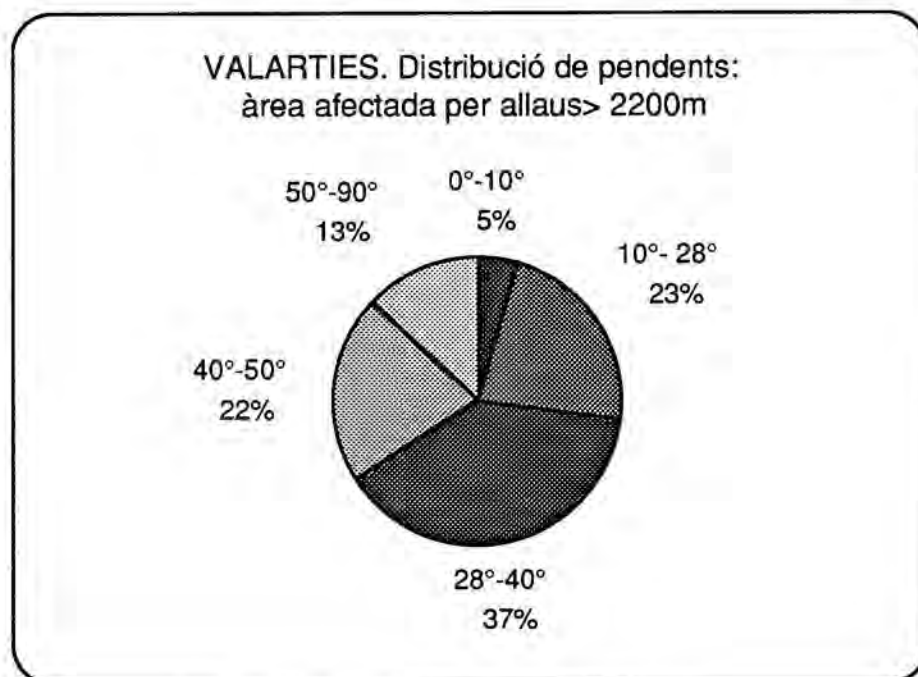


Figura 6.37.: Distribució dels pendants dels vessants, amb altituds superiors a 2200 m, afectats per allaus a la vall de Valarties. Unitats en Ha.

### **Observacions generals.**

La primera observació de caràcter general és que en tots els casos i per tractar-se d'àrees de muntanya, la superfície real és un 20% superior que la superfície planimètrica (taules 6.4., 6.7., 6.10., 6.13. i 6.16.). En el cas de la zona pilot de Valarties, que és una conca d'alta muntanya, aquest increment arriba a ser del 40% (taula 6. 20.).

En tots els casos, la superfície afectada per allaus és entre un 40% i un 60% de la superfície total i, si considerem la superfície > 1500 m, l'afectada per allaus és superior al 50% (taules 6.4., 6.7., 6.10., 6.13., 6.16. i 6.20.). L'única excepció és la de la vall de Valarties, amb una superfície afectada per allaus una mica superior al 40% (taula 6.20.).

D'això se'n desprèn que, malgrat que aquesta zona pilot és una vall d'alta muntanya, amb molta innivació hivernal i amb pendents considerables, que poden afavorir la producció d'allaus amb períodes de retorn curts, les grans superfícies afectades per allaus corresponen a grans zones d'allaus situades en grans vessants relativament regulars de valls principals. Aquestes grans zones de grans allaus (amb períodes de retorn habitualment llargs) són les que fan augmentar de manera sensible el % de superfície afectada per les allaus.

Per altra banda i malgrat que la seva recurrència sigui baixa, són precisament aquestes grans allaus les que cal tenir més en compte en la Planificació Territorial, ja que són les que arriben fins als fons de vall més aptes per al desenvolupament d'infraestructures socio-econòmiques.

### **Observacions respecte a les orientacions.**

La primera observació respecte a les orientacions és que les de la superfície superior a 1500 m són proporcionals a les del total de l'àrea estudiada (taules 6.5., 6.8., 6.11., 6.14., 6.17. i 6.21.). Això és redundat en la major part de casos, en els que la superfície > 1500 m representa un 90% o més de la superfície total.

Però a l'àrea corresponent als fulls de Bossost/Canejan això també es compleix, tot i que la superfície superior a 1500 m és només un 53% de la total. Això és reflex de què aquest full inclou la gran vall d'origen glacial de la Garona, amb poques valls afluent, però molt ben definides, i poques capçaleres amb modelat de circ glacial. És a dir, en aquest cas les orientacions són representatives dels vessants de les grans valls.

Respecte a les zones pilot, es pot comentar el següent:

### **Valarties:**

Les orientacions de la vall de Valarties per sobre de 1500 m reflecteixen clarament que es tracta d'una vall orientada cap al nord (fig. 6.29.). En canvi, la distribució d'orientacions per sobre de 2200 m no mostra una tendència tan clara (fig. 2.32.). Això reflecteix el modelat en capçalera de circs glacials, semicirculars, que comporten una més gran variabilitat en el rang de les orientacions; les orientacions sud, com és lògic, són les menys freqüents (ja que els circs es desenvolupen preferentment en orientacions no favorables a la fusió de la neu i el gel) (Bordonau, 1985; Bordonau, 1987; Bordonau i Vilaplana, 1986; Bordonau et al., 1992; Brúet al., 1985; Martí Bono et al., 1978; Martí Riba, 1980; Martí Soler, 1988; Serrat i Vilaplana, 1992; Serrat et al. 1994; Ventura, 1983; Ventura 1986a; Ventura 1986b; Vilaplana, 1983a; Vilaplana, 1983b).

Les àrees afectades per allaus (> 1500 m) (fig. 6.30.) presenten orientacions predominants cap al nord (conseqüentment amb l'orientació general de la vall) i tot l'espectre nordest, est i sudest, fet que comentaré més extensament més endavant. Per sobre de 2200 m, com a conseqüència de la morfologia del relleu, la distribució de les orientacions de les àrees afectades per allaus és molt més regular, excepte perquè, lògicament, hi ha poques orientacions en els quadrants sud (fig. 6.33).

### **Naut Aran:**

El municipi del Naut Aran presenta una orientació predominant cap al sud i sudoest, conseqüència dels grans vessants regulars, amb desnívells de l'ordre del miler de metres, de les valls de la Garona (S) i de l'Unyola (SW) (fig. 6.20.). Les orientacions per sobre de 2200 m (fig. 6.23.), en canvi, són molt similars a les de la vall de Valarties i reflecteixen sobretot l'existència d'un modelat de circs. Val a dir que Valarties representa el 50% de la superfície del Naut Aran per sobre d'aquesta cota (taules 6.17 i 6.21), però el 50% restant es comporta igual.

L'àrea afectada per allaus superior a 2200 m presenta unes orientacions molt similars a les de Valarties, i reflecteix clarament que les allaus es desencadenen en les parets dels circs en totes les orientacions (excepte en les sud, en les que hi ha menys vessants) (fig. 6.33.).

Aquesta distribució queda poc reflectida quan es considera la superfície superior a 1500 m (fig. 6.21.). En el cas d'aquest municipi, les orientacions de les àrees afectades per allaus estan fortament condicionades per les de la vall de l'Unyola (full d'Isil), que per les seves característiques particulars de rugositat, pendent i altitud presenta tot el seu vessant esquerre, orientat al sudoest, afectat per les allaus. Això comporta un predomini clar de les orientacions sudoest.



Sempre considerant l'àrea superior a 1500 m, també es pot observar que, proporcionalment, hi ha una lleugera disminució del tant per cent de superfície afectada per allaus en les orientacions NW, N i NE respecte de la superfície total, i un lleuger augment de les orientacions SE i E també respecte de la superfície total. Això coincideix bastant amb les observacions de la vall de Valarties, on també s'apreciava un lleuger increment en la representació de les orientacions E i SE afectades per allaus.

Respecte a les grans àrees que comprenen els diferents fulls estudiats es pot comentar el següent:

En general, en tots els fulls, totes les orientacions estan ben representades (taules 6.5., 6.8., 6.11 i 6.14.). Amb una observació més detallada, però, es pot destacar que al full d'Esterrí predominen lleugerament les orientacions del quadrant nord-est (fig. 6. 16.). Aquest full cobreix principalment una àrea d'alta muntanya caracteritzada pel modelat de circs o, en general, de capçaleres d'antigues valls glacials, desenvolupades majoritàriament en aquestes orientacions (com la vall de Valarties).

El full d'Isil presenta un lleuger predomini de les orientacions del quadrant sud (fig. 6.8.), que s'expliquen per l'existència dels grans vessants regulars amb aquestes orientacions de les valls de la Garona, l'Unyola i la capçalera de la Noguera Pallaresa.

El full de Bossost/Canejan, pel contrari, denota una menor representació de l'orientació sudoest (fig. 6.4.). A l'àrea que recobreix aquest full hi ha la vall de la Garona, antiga gran vall glacial, actualment amb vessants força regulars fins a cotes superiors als 2000 m. Aquesta vall fa un gir brusc en angle recte a l'alçada dels pobles de Les Bordes i Vilamós. L'orientació sudoest és la que queda a l'interior d'aquest angle recte i, per tant, la pitjor representada de totes. A més, en aquest sector es produeix la confluència de la vall de Varradós, de manera que encara disminueixen més els vessants amb aquestes orientacions.

Al full d'Isil hi ha un increment positiu de les orientacions sudoest afectades per allaus respecte del total (sempre considerant la superfície > 1500 m) (figs. 6.8 i 6.9.). Aquest increment s'explica fonamentalment per les particulars condicions de la vall de l'Unyola (ja comentades) i, a més, per les grans allaus del marge dret de la Garona (entre Tredós i Vielha), a sotavent de superfícies d'aplanament, i per les grans allaus del vessant esquerre de la Noguera Pallares (frontera amb França), afectades pels vents *foën* (o fogonys), ben coneguts, que s'iniciïen en aquests vessants en passar la carena fronterera amb França, i afavoreixen el desencadenament de grans allaus.

El sector que compren l'Aran, l'Alt Àneu (o capçalera de la Noguera Pallaresa) i els vessants que enllacen amb les carenes que limiten aquestes àrees (vessants orientats al sud de la vall de l'Escrita i circs del nord del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici) està representat en els fulls de Bossost/Canejan, Isil, la meitat nord del full d'Esterrí i una petita franja al nord del full de Benasc. En aquest sector les precipitacions nivals van associades predominantment a depressions provinents de l'Atlàntic, i sovint van acompanyades o seguides

de vents del nord-nord-oest força considerables, que produeixen sobreacumulacions de neu en els vessants sud i sud-est.

Aquest efecte, tot i que es dona en la resta d'àrea estudiada (capçalera del Pallars Sobirà i Alta Ribagorça) (meitat sud del full d'Esterri i full de Benasc), no és tant constant i s'alterna, per exemple, amb precipitacions de fronts reactivats provinents del Mediterrani. Així, les sobreacumulacions es produeixen en vessants amb diferents orientacions.

Els comentaris dels paràgrafs anteriors s'han d'entendre com una aproximació general que marca una tendència. Evidentment, les sobreacumulacions depenen fortament de les condicions fisiogràfiques i morfològiques locals (Mellor, 1965; Föhn, 1980; Föhn i Meister, 1983; Meister, 1989; Tabler, 1975; Castelle et al., 1991; Naaim i Brugnot, 1992; Mases et al., 1995), però en conjunt no deixen d'estar influïdes per les precipitacions i circulació generals.

Als Fulls de Bossost/Canejan, Isil i Esterri s'observa un molt lleuger desplaçament de les distribucions d'orientacions en el mateix sentit que a Valarties i al Naut Aran: proporcionalment a l'àrea total (> 1500 m), l'àrea afectada per allaus presenta major proporció d'orientacions sud i sud-est, és a dir, d'àrees a sotavent, on hi ha tendència a la sobreacumulació de neu (figs. 6.4., 6.5., 6.8., 6.9., 6.16. i 6.17.).

Al full de Benasc, majoritàriament fora de l'Aran, on aquestes condicions de precipitacions i vents no són tan acusades, no s'observa aquest desplaçament en la distribució de les orientacions (figs. 6.12. i 6.13.).

És a dir, sembla que hi ha una tendència a que les superfícies afectades per allaus reflecteixin el règim nivometeorològic a escala mitjana o de massís/comarca.

### **Observacions respecte als pendants.**

Les observacions sobre els pendants les presento tot comentant interval per interval. En cas que no especifiqui una altra cosa, les observacions respecte a àrees afectades per allaus sempre es refereixen a dades calculades per sobre de 1500 m.

#### **0°-10°:**

En tots els casos, la superfície amb pendants entre 0° i 10° és menor o igual al 10%-11% del total (taules 6.6., 6.9., 6.12. 6.15 i 6.18), excepte per a la vall de Valarties, amb un 17% (taula 6.22), que en capçalera presenta circs modelats en granits, amb fons plans.

Si considerem la superfície superior a 1500 m, per als fulls de Bossost/Canejan i Benasc (taules 6.6. i 6.12.) s'observa una disminució d'aquest %, que reflecteix que no s'han tingut en compte els fons de vall importants que estan per sota d'aquesta cota.

En canvi, per als fulls d'Isil i Esterri (taules 6.9. i 6.15.) i per a les zones de Valarties i Naut Aran (incloses en aquests fulls), aquesta disminució és molt menor, ja que aquest interval de pendents també representa una sèrie d'antigues superfícies d'erosió finiterciàries (Bordonau, 1985; Bordonau, 1987; Bordonau i Vilaplana, 1986; Bordonau et al., 1992; Brú et al., 1985; Martí Bono et al. 1978; Martí Riba, 1980; Martí Soler, 1988; Serrat i Vilaplana, 1992; Serrat et al., 1994; Ventura, 1983; Ventura 1986; Vilaplana, 1983a; Vilaplana, 1983b). Aquestes superfícies tenen una extensió considerable, i es situen aproximadament entre 2100m i 2300 m.

Per a l'àrea superior a 2200 m de Valarties, s'observa que sí que hi ha una disminució en el % de superfície amb aquest interval de pendents, ja que s'està per sobre de les superfícies d'aplanament i d'alguns fons d'antics circs glacials (taula 6.22.).

En canvi, per a l'àrea superior a 2200 m del Naut Aran, l'àrea entre 0° i 10° es manté en un 12% de l'àrea total considerada (tant si és la superior a 1500 m, com la superior a 2200 m) (taula 6.18.). Això s'explica perquè no hi queden inclosos els grans vessants amb pendents superiors (disminueixen quasi proporcionalment les superfícies amb pendents baixos i amb pendents elevats) i per l'existència de fons de circs plans per sobre d'aquesta cota.

La superfície afectada per allaus (>1500 m) en aquest interval de pendents és molt petita (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15., 6.18 i 6.22); correspon a unes poques zones d'arribada, que en el cas de grans allaus sovint assolixen la seva màxima extensió en fons de valls per sota de 1500 m.

#### **0°-28°:**

Inclou aquest interval només per fer l'observació següent: en tots els casos, menys de 50% del territori té pendents inferiors a 28° (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15. i 6.22) (excepte el municipi del Naut Aran, amb el 53%, taula 6.18.; aquest municipi inclou grans superfícies d'erosió i modelats glacials suaus heretats, com la plataforma de difluència de Beret, (Martí Soler, 1988; Serrat et al., 1994). Evidentment, això reflecteix que l'àrea d'estudi és d'alta muntanya i presenta dificultats de cara a l'assentament humà.

#### **10°-28°:**

En aquest interval de pendents (i en l'anterior), en principi no es desencadenen allaus (recordo que, teòricament, ho fan a partir de 28°, IFENA, 1970).

L'interval de pendents 10°-28° correspon al 30%-40% del territori en tots els casos (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15., 6.18 i 6.22) i entre el 27% i el 41% per a la superfície > 1500 m (figs. 6.6., 6.10., 6.14., 6.18., 6.25 i 6.34), és a dir, a una part molt considerable, en la que no es desencadenen allaus.

Tot i que hi hagi un % elevat de la superfície inferior a 28°, això no implica que hi hagi un baix perill d'allaus a l'àrea estudiada (de fet, ja he comentat que la superfície afectada per allaus és superior al 50% de la total per sobre de 1500 m). Les superfícies d'erosió (que presenten alguns pendents amb els valors més baixos d'aquest interval) són superfícies de deflació privilegiades, que poden fornir gran quantitat de neu als vessants de sotavent i, per tant, incrementen indirectament el perill d'allaus.

De fet, la superfície afectada per allaus representa 1/5 part de la sup. total (>1500 m) (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15., 6.18 i 6.22), i es correspon fonamentalment amb zones de trajecte de les allaus. Es un valor molt considerable si es té en compte que es parteix d'una gran extensió del territori amb aquest pendent.

Podria ser interessant ampliar l'anàlisi tot introduint elements geomorfològics significatius (especialment les superfícies d'erosió) i mapes/bases de dades de vegetació per veure si en aquestes superfícies d'erosió hi ha bosc o no (que faci un paper de retenció de la neu), per veure quin % d'aquestes superfícies té un paper important en la sobreacumulació de neu i el desencadenament d'allaus; a més es podria conèixer quin és realment el % de superfície amb pendents inferiors a 28° susceptible de ser afectat per allaus (vessants per sota de les superfícies d'erosió i per sota de pendents més importants).

### **28°-40°:**

Els pendents entre 28° i 50° són els que permeten el desencadenament d'allaus; entre 28° i 40° correspon a zones de sortida d'allaus excepcionals; entre 40° i 50° corresponen a les zones de sortida d'allaus freqüents.

Els % d'aquest interval de pendents reflecteixen en quins fulls les superfícies d'erosió tenen una representació considerable:

- En el cas dels fulls de Bossost/Canejan i de Benasc, on aquestes superfícies es troben poc representades, el 43% i 40% de la superfície total (taules 6.6. i 6.12), i el 42% i 41% de la superfície superior a 1500 m (figs. 6.6. i 6.14.) corresponen a aquest interval.
- Per als fulls de l'sil i Esterri, i per al municipi del Naut Aran i la vall de Valarties (compresos fonamentalment en aquests fulls), el % és menor i oscil·la entre el 29% i el 36% de la superfície total (taules 6.9., 6.15., 6.18. i 6.22.) i el 31% i el 36% de la superfície superior a 1500 m (figs. 6.10., 6.18., 6.25. i 6.34) (i també de la superior a

2200m, encara que en aquest cas, el que reflecteix sobretot és l'existència de fons de circ; figs. 6.27. i 6.36.).

En tots els casos, si comparem els gràfics de pendents de l'àrea superior a 1500 m amb les dades de les taules de la superfície > 1500 m afectada per allaus (% comparables, ja que tots estan referits al total de la superfície >1500 m), s'observa sempre que la meitat o més (fins a un 70%) de la superfície entre 28° i 40° està afectada per allaus (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15., 6.18. i 6.22. i figs. 6.6., 6.10., 6.14., 6.18., 6.25. i 6.34). Per a la superfície superior a 2200 m passa el mateix (figs. 6.27. i 6.36.).

Si s'observen els gràfics de pendents respecte als de pendents segons la superfície afectada per allaus (tant per a les superfícies superiors a 1500 m com les superiors a 2200 m) (figs. 6.6., 6.7., 6.10., 6.11., 6.14., 6.15., 6.18., 6.19., 6.25., 6.26., 6.27., 6.28., 6.34., 6.35., 6.36 i 6.37) **sempre** s'observa que en els de superfície afectada per allaus hi ha un increment positiu relatiu del % de superfície entre 28° i 40°, en detriment d'altres intervals de pendents, sobretot inferiors.

Així, es pot considerar que hi ha una tendència a que les zones de sortida d'allaus ocupin tots els pendents entre 28° i 40° si no hi ha impediments, com una elevada rugositat del terreny o bosc.

Com ja he comentat, l'interval 28°-40° correspon a zones de sortida d'allaus que es desencadenen excepcionalment. Probablement per aquest fet no hi ha més superfície afectada per allaus: cal que coincideixin les condicions nivo-meteorològiques excepcionals (que desencadenen allaus amb períodes de retorn centenaris) amb situacions de bosc esclarissat o deteriorat (per exemple: arbres malalts tombats pel vent o zones incendiades), per a què puguin produir-se grans allaus a partir d'aquestes clarianes. Una vegada s'ha generat una zona d'allaus resulta més fàcil que aquestes s'hi vagin desencadenant (sobretot si hi ha algun sector de la zona de sortida amb pendent > 35°-40°) i que aquesta zona es mantingui, almenys parcialment, mentre el període de retorn de les grans allaus sigui inferior al de regeneració del bosc.

#### **40°-50°:**

Encara que aquest interval té menys representació respecte al total de la superfície estudiada, respecte a les allaus presenta un comportament similar a l'interval 28°-40°.

Si es fa el mateix tipus de comparacions (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15., 6.18. i 6.22. i figs. 6.6., 6.7., 6.10., 6.11., 6.14., 6.15., 6.18., 6.19., 6.25., 6.26., 6.27., 6.28., 6.34., 6.35., 6.36 i 6.37), també s'observa que més de la meitat de la superfície entre 40° i 50° està afectada per allaus (en la major part de casos és més del 60%). Per tant, es reflecteix igualment la tendència de les allaus a ocupar totes les possibles àrees amb pendents entre 40° i 50°.

Aquest interval de pendents correspon a zones de sortida d'allaus que es desencadenen freqüentment. Aquest interval de pendents només representa vora un 10% del total de la superfície superior a 1500 m, però si aquest % fos més gran, ben segur que l'àrea total afectada per allaus s'incrementaria sensiblement.

Aquesta tendència que s'observa en els dos intervals de pendents entre 28° i 50° és una constatació del fet, ja conegut, de que quan hi ha un canvi d'ús de sòl (per causes antròpiques o naturals) amb desaparició de massa forestal en aquests pendents favorables, es produeixen allaus que, per la seva mateixa dinàmica impedeixen la regeneració del bosc.

Val a dir, a més, que les zones afectades per allaus amb pendents entre 28° i 50° representen 1/3 de la superfície total del territori per sobre de 1500 m.

### **50°-90°:**

Aquest interval representa un % de la superfície total molt petit (sempre inferior al 6%, excepte per a Valarties) (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15., 6.18. i 6.22.).

En general no hi ha disminució de la superfície amb pendents entre 50° i 90° quan es compara la totalitat de la superfície estudiada amb la superior a 1500 m (o és molt petita) (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15., 6.18. i 6.22.).

Això reflecteix que la major part de zones amb pendents acusats corresponen a crestes o, des d'una òptica més geomorfològica, a parets d'antics cirscs glacials i xones més elevades de les valls glacials en U.

Una part d'aquestes superfícies correspon a petites zones molt localitzades en els vessants (ja que s'observa una disminució d'aquest interval de pendents a les zones pilot de Valarties i Naut Aran per sobre dels 2200 m, i és precisament per sobre d'aquesta altitud on hi ha la major part de formes glacials abruptes)

Les superfícies amb pendents > 50° afectades per allaus representen una àrea quasi despreciable del total de la superfície estudiada (taules 6.6., 6.9., 6.12., 6.15., 6.18. i 6.22.). De fet, a grans trets es pot considerar que a partir de 50° ja no es produeixen allaus, ja que la neu es purga ràpidament en superar-se l'angle de fricció estàtica quan es produeixen les primeres transformacions (vegeu capítol 2.2.1.).

De tota manera, alguns d'aquests pendents estàn afectats per allaus, sobretot en el cas de la vall de Valarties, on s'observa que un 10% de la superfície afectada per allaus per sobre de 1500 m correspon a aquest interval (figs. 6.7., 6.11., 6.15., 6.19., 6.26., 6.28., 6.35 i 6.37.). Això es produeix per les següents causes:

-Coincidència d'elevats pendents amb forta rugositat del terreny, fet que provoca la retenció d'una gran quantitat de neu, que es pot desprendre en situacions de fusió. Així, zones que pel seu pendent no es comportarien com a zones de sortida d'allaus fan aquest paper per causa de la rugositat.

-A vagades aquests pendents estan situats per sota de ruptures de pendent convexes, és a dir, és tracta d'àrees situades per sota de les zones de sortida de les allaus.

### **Orientacions de les zones de sortida d'allaus (28°-50°)**

La distribució d'orientacions de l'àrea afectada per allaus > 1500 m, amb pendents entre 28° i 50°, tant en el cas del Naut Aran, com en el de la vall de Valarties, és pràcticament la mateixa que la de la distribució de les zones d'allaus (considerant tots els intervals de pendents o superfície per sobre dels 1500 m.) (figs. 6.21., 6.22., 6.30 i 6.31.).

Aquesta última observació lliga perfectament amb totes les presentades fins ara. Com que aquest interval representa entre un 60% i un 70% de la superfície total (>1500 m) (figs. 6.25. i 6.34.), i com que més de la meitat de la superfície afectada per allaus correspon a aquest interval (figs. 6.26. i 6.35.), la distribució de les orientacions de les zones d'allaus ve determinada fonamentalment per les mateixes característiques que la distribució d'orientacions de les zones de sortida d'allaus, que conjuguem aquests dos fets.

Per tant, i com ja he comentat per a les observacions de les orientacions, al Naut Aran el predomini és per a les orientacions que reflecteixen el vessant esquerre de la vall de l'Unyola, que es el que presenta una densitat més gran d'àrea afectada per allaus de tot el municipi.

A Valarties predominen les orientacions entre el nord i el sud-est, tot reflectint les orientacions principals de la vall i les orientacions en que hi ha sobreacumulació de neu per causa dels vents dominants.

Aquest fet, a més a més pot indicar:

- que les zones de sortida de les allaus són molt representatives de l'orientació general de les allaus;
- que en el cas dels vessants oberts, la hipòtesi anterior és, evidentment, certa;
- que en el cas d'allaus canalitzades, amb una o més zones de sortida, l'extensió de totes les potencials zones de sortida (que poden comportar-se diferentment segons les condicions nivo-meteorològiques), és molt superior a la resta de la zona d'allaus; per tant, les zones de trajecte i arribada sovint són poc representatives, sobretot si tenim en compte que les zones d'arribada normalment més extenses, corresponents a grans allaus, assoleixen fons de vall sovint per sota dels 1500 m.

## **6.2. RESUM DE LES OBSERVACIONS I CONCLUSIONS.**

### **6.2.1. Conclusions generals.**

La superfície real de l'àrea estudiada és de l'ordre del 20% superior a la mateixa àrea planimètrica. Aquest fet fa patent l'interès d'utilitzar l'ànalisi de superfícies (S.I.G.) en àrees de muntanya, tant per al coneixement de l'extensió real de l'àrea estudiada i l'extensió dels processos naturals, com per a qualsevol altre ús en la gestió del territori.

La superfície afectada per allaus és d'un 40% a un 60% de la superfície real. Per a l'àrea > 1500 m, la superfície afectada per allaus és sempre superior al 50% (excepte per a la vall de Valarties).

L'existència de grans vessants (amb desnivells de l'ordre de 800 a 1000m) relativament regulars, que són afectats per grans allaus, és el que fa augmentar més considerablement el % de superfície afectada per allaus. Per contra, a les àrees d'alta muntanya, caracteritzades per l'existència de nombrosos circs glacials (molts amb fons plans) i vessants més irregulars i sense tant desnivell, tot i que la innivació és més abundant i les allaus més freqüents, el % de superfície afectada per les allaus és menor (cas del full d'Esterrí i de la vall de Valarties).

### **6.2.2. Conclusions respecte a les orientacions.**

Les orientacions de la superfície superior a 1500 m són representatives de les orientacions de l'àrea total d'estudi.

Les orientacions reflecteixen fonamentalment el modelat glacial heretat de l'última glaciació quaternària, que és el que caracteritza tota l'àrea estudiada:

- A les àrees on hi ha grans antigues valls glacials, a la distribució d'orientacions hi predominen les orientacions dels grans vessants regulars d'aquestes grans valls.
- A les àrees caracteritzades per una gran presència de circs, en general amb altituds superiors, la distribució és molt més homogènia, per causa de la variació en les parets semicirculars dels circs, oberts sobretot des del nordoest fins a l'est. Això queda molt ben reflectit a les zones pilot de Valarties i el Naut Aran, en què les orientacions cap al sud, sud i sudoest són les menys representatives.



Malgrat que les orientacions reflecteixen el relleu glacial heretat i que les allaus ocupen els vessants d'aquest modelat, hi ha una certa tendència a que les orientacions de les zones d'allaus reflecteixin si hi ha o no vents dominants en una gran àrea:

- Als fulls que inclouen majoritàriament l'Aran i els vessants a sotavent (sud-sudest) de la divisòria d'aigües de l'Aran hi ha un lleuger increment de les orientacions SE de les zones d'allaus respecte a les orientacions generals en aquesta mateixa direcció, tot mostrant a influència dels vents dominants del N-NW.

-Al full de Benasc, majoritàriament fora de l'Aran i amb influències de vents i de precipitacions diverses, aquesta tendència no s'observa.

### 6.2.3. Conclusions respecte als pendents.

Menys de 50% del territori estudiat té pendents inferiors a 28°. Això reflecteix que es tracta d'una zona de muntanya en general força abrupta. Aquesta dada pot assimilar-se a la comarca de l'Aran (l'única que està totalment compresa a l'àrea d'estudi), i és interessant de cara a comparar-la amb altres comarques catalogades com a Comarques de Muntanya per la Llei 2/1983 d'Alta Muntanya (DOGC 312, 16 març 1983). Aquestes comarques han de comprendre com a mínim el ...% de la seva superfície per sobre de 600 m d'altitud. El % de superfície inferior a 28° possiblement deu donar una idea bastant aproximada de la dificultat de desenvolupar infraestructures i explotacions, sobretot agrícoles, per a diferents comarques amb diferents % de terrenys molt pendents.

En els intervals de 0°-10° i 10°-28° hi ha inclosos els fons de vall importants, les extenses restes d'antigues superfícies d'erosió situades entre 2100 m i 2300 m, i els fons de circs plans, a part de vessants. Encara que poc menys de la meitat de la superfície total estigui entre 0° i 28° (pendents en que, en principi, no es desencadenen allaus), no implica que hi hagi un perill d'allaus baix, ja que les superfícies d'erosió poden aportar molta neu al vessants de sotavent i afavorir-ne el desencadenament.

Com ja he comentat, podria ser interessant ampliar l'anàlisi tot introduint elements geomorfològics significatius (especialment les superfícies d'erosió) i mapes/bases de dades de vegetació per veure si en aquestes superfícies d'erosió hi ha bosc o no (que faci un paper de retenció de la neu), per veure quin % d'aquestes superfícies té un paper important en la sobreacumulació de neu i el desencadenament d'allaus; a més es podria conèixer quin és realment el % de superfície amb pendents inferiors a 28° susceptible de ser afectat per allaus (vessants per sota de les superfícies d'erosió i per sota de pendents més acusats).

Aproximadament el 50% del territori presenta un pendent entre 28° i 50°. Aquests pendents estàn majoritàriament per sobre de 1500 m. i per tant es pot considerar que són favorables al desencadenament d'allaus, encara que no tots estan afectats (bé per l'existència de bosc espès, be per la rugositat del terreny).

Les zones afectades per allaus, com ja he comentat, suposen un 50% de la superfície total superior a 1500 m.

Les zones afectades per allaus amb pendents entre 28° i 50° representen 1/3 de la superfície total del territori per sobre de 1500 m. Sempre més del 50% de la superfície afectada per allaus correspon a l'interval de 28° a 50°.

De totes aquestes dades, es pot interpretar que hi ha una tendència a que les potencials zones de sortida d'allaus vagin sent afectades i actuïn com a tals si es donen les condicions favorables de feble rugositat i vegetació arbòria dispersa o inexistent. Això confirma el fet conegut de que cal mantenir el bosc sa per a que compleixi un paper protector contra el desencadenament d'allaus.

#### 6.2.4. Conclusions respecte a les zones pilot.

Respecte a la **vall de Valartles**, la major part de les observacions reflecteixen clarament que és una antiga vall glacial, amb les **característiques de l'alta muntanya**:

- La superfície real és un 40% superior a la planimètrica (per al conjunt de l'àrea estudiada la relació és del 20%).
- La superfície afectada per allaus representa vora un 40% de la superfície total per sobre de 1500 m (per al conjunt la relació és del 50%), ja que no hi ha grans vessants regulars o bé estan molt vegetats.
- Les orientacions generals reflecteixen que està clarament orientada cap al nord, i les orientacions en altitud, el seu caràcter d'antiga capçalera de vall glacial.
- Els pendents, amb un % de l'interval de 50°-90° superior a la mitjana de l'àrea estudiada, i la dada general que la superfície real és un 40% superior a la total (> 1500 m), posen en evidència el caràcter marcadament abrupte de la vall.

Respecte a les allaus, reflecteix l'**existència dels vents predominants del N-NW** en aquest sector.

Aquesta conca no és representativa de les característiques de la globalitat de l'àrea estudiada, però les observacions i sobretot les de l'àrea per sobre de 2200 m, han permès arribar a dues conclusions de rellevància:

- **La superfície afectada per allaus (%) és superior en grans valls amb vessants regulars que en zones d'alta muntanya** (malgrat que la freqüència d'esdeveniments d'allaus sigui menor).

- **L'estudi més aprofundit d'una conca concreta d'alta muntanya pot ser útil per a la identificació dels aspectes físics a considerar en la ordenació d'un espai natural d'alta muntanya.** En aquest cas, la introducció i estudi de dades tant gràfiques com descriptives respecte a geomorfologia i vegetació en aquesta vall, pot representar un model per al tractament d'una àrea tan interessant com el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici i la seva àrea d'influència. En contrast, però, **l'estudi detallat d'una vall d'aquestes característiques no aporta dades significatives ni representatives per a la gestió global d'un municipi**, que és la unitat administrativa bàsica de gestió del territori.

**El Municipi del Naut Aran**, que comprèn valls d'alta muntanya amb capçaleres caracteritzades per circs (com la de Valarties), i grans vessants regulars i fons de vall principals, a grans trets reflecteix les característiques deduïdes per al conjunt de l'àrea estudiada:

- L'orientació dominant és la dels vessants de les grans valls.

- L'orientació en altitud reflecteix el modelat glacial de capçalera heretat.

- La superfície amb pendent inferior a 28° representa poc més de 50% de la superfície total (% una mica superior al de la mitjana de l'àrea estudiada). Això s'explica per l'existència de superfícies d'erosió i de l'ample i suau coll de difluència de Beret.

Respecte a les allaus, també reflecteix **l'existència dels vents predominants del N-NW** al sector.

De cara a la gestió del territori, cal dir que, tot i que els estudis de zones parcials poden aportar dades d'interès (com el cas de la vall de Valarties, inclosa en aquest municipi), per a una gestió equilibrada es fa imprescindible la caracterització general i la distinció prèvia dels diferents sectors que constitueixen el municipi.

Amb vistes a futurs estudis de base per a l'ordenació del territori en municipis de muntanya afectats per allaus, cal abordar diferenciadament les zones d'alta muntanya i els grans vessants i fons de vall principals, no tan sols perquè l'ús del sòl és habitualment ben diferent en ambdues zones, sinó perquè tant la freqüència com la distribució i extensió de les allaus presenten característiques diferents.

## **7. LA PREDICCIÓ ESTADÍSTICA DE MÀXIMES ZONES D'ARRIBADA D'ALLAUS**

La predicció estadística de màximes zones d'arribada d'allaus consisteix en el coneixement previ d'un conjunt de zones d'allaus i les seves màximes zones d'arribada, a partir de les quals, amb l'ajut de mètodes estadístics, es pretén calcular la màxima zona d'arribada d'allaus poc conegudes.

### **7.1. OBJECTIUS I PRINCIPIS DE LA PREDICCIÓ ESTADÍSTICA DE MÀXIMES ZONES D'ARRIBADA D'ALLAUS.**

Com ja he comentat diverses vegades al llarg d'aquest treball, les allaus són un fenomen recurrent, fet que permet la seva localització en l'espai. Per altra banda, l'establiment de zonificacions dels perills naturals és un pas bàsic i fonamental per a una bona Ordenació del Territori. En el cas de les allaus, aquesta zonificació ha d'estar basada en la seva cartografia i, en especial, la **delimitació acurada de les màximes zones d'arribada** (així com en altres paràmetres com les potencials pressions d'impacte al llarg del seu recorregut).

Malauradament, en molts casos és difícil delimitar les màximes zones d'arribada de les allaus a partir de l'observació del terreny, sobretot en els casos en què no hi ha vegetació arbòria, o en els casos en què el llarg període de retorn d'una allau ha permès la total recuperació del bosc original.

El desenvolupament i aplicació de mètodes indirectes, és a dir de models, tant determinístics com empírics, resulta una eina valuosa d'ajuda a la cartografia (Mears, 1992). Al camp de les allaus actualment es treballa amb els dos tipus de models:

- Models dinàmics, numèrics o determinístics, d'escolament del flux de les allaus.
- Models estadístics o empírics, basats en la topografia de les zones d'allaus.

L'aplicació de models dinàmics (tot i que "filosòficament" o conceptualment és més correcta i és especialment útil en el càlcul de pressions d'impacte), està subjecta a l'elecció d'una sèrie de coeficients i paràmetres, sovint no objectivables o difícilment mesurables, ja que es refereixen al tipus i qualitat de la neu que s'involucra en l'allau (Bakkehoi et al., 1983; McClung i Lied, 1987; McClung et al., 1989).

Per aquest motiu, s'utilitzen diferents mètodes de predicció estadística de màximes zones d'arribada d'allaus (m.z.a.) basats en el coneixement previ d'un conjunt de zones d'allaus i les seves màximes zones d'arribada, i en l'anàlisi de paràmetres topogràfics, en principi considerats objectivables (fàcilment mesurables al camp o sobre mapes topogràfics), que descriuen suficientment aquestes zones d'allaus (Bakkehoi et al., 1983; McClung i Lied, 1987; McClung, et al., 1989; Adjel, 1994).

Aquests mètodes es basen en les dues assumpcions següents:

1. La màxima dimensió d'una allau i per tant la seva màxima zona d'arribada està en funció del seu període de retorn (Fitzharris i Schaerer, 1980). La idea bàsica del model topogràfic és que per a períodes de retorn molt llargs es donaran com a mínim una vegada les condicions de la neu òptimes per a què es produeixi una allau extrema (amb màximes dimensions i màxima zona d'arribada) (Lied i Bakkehoi, 1980; Norem 1992).

S'assumeix que les variacions climàtiques són despreciables per a períodes de retorn d'aproximadament 100 anys i, per tant, el seu efecte, en una primera aproximació, s'exclou (Norem, 1992). Aquests llargs períodes de retorn han de ser, per tant, ben documentats històricament.

2. En principi, dues zones d'allaus amb una morfologia similar, però una d'elles de dimensions grans i l'altra de dimensions petites, tindran màximes zones d'arribada proporcionals entre elles i proporcionals a les seves dimensions (l'angle  $\alpha$  entre el punt més alt de la zona de sortida i el punt més distal de la zona d'arribada i la horitzontal serà el mateix per a les dues zones d'allaus; vegeu apartat següent) (Lied i Bakkehoi, 1980).

En aquest treball només tractaré amb el mètode estadístic més utilitzat fins a aquest moment. El mètode consisteix en la regressió d'un cert nombre de variables (amb sentit topogràfic) per tal d'explicar la variable que descriu la m.z.a. de les allaus. En altres paraules, es parteix d'una mostra de zones d'allaus amb la m.z.a. en principi ben coneguda; es calculen una sèrie de paràmetres topogràfics que descriuen cada una de les zones d'allaus i les seves m.z.a. Finalment, s'obté una equació en la què el paràmetre topogràfic que descriu la m.z.a. és funció de la resta de paràmetres topogràfics.

Aquesta equació de regressió o model pot ser utilitzada per calcular la m.z.a. d'una allau tot coneixent només els paràmetres del terreny; es tracta doncs, d'una eina complementària a la cartografia, i per tant d'ajut a la predicció espacial, especialment útil en els casos de manca d'indicis vegetals o morfològics clars.

## **7.2. ANTECEDENTS DE LA PREDICCIÓ ESTADÍSTICA DE MAXIMES ZONES D'ARRIBADA D'ALLAUS.**

El primer treball de modelització estadística de m.z.a. a partir de paràmetres topogràfics és el de Bovis i Mears (1976). Però és al NGI (Norwegian Geotechnical Institute) on es desenvolupen i s'apliquen aquests mètodes de manera sistemàtica, fins al punt que el mètode basat en la regressió de paràmetres topogràfics per explicar la m.z.a. és anomenat el "mètode noruec".

El 1980 Lied i Bakkehoi publiquen el seu primer treball, en el que consideren tota una sèrie de paràmetres topogràfics com a possibles estimadors de la m.z.a. de les allaus. Aquests paràmetres han de ser el més objectius possible, i per tant els mesuren directament al camp o sobre mapes topogràfics (cada zona d'allaus i la seva m.z.a. és dibuixada sobre un mapa a escala 1:5.000 i sobre un mapa 1:50.000). Per altra banda, només tracten aquelles zones d'allaus amb una zona d'arribada no confinada al fons de vall i lliure d'obstacles topogràfics. Amb aquestes condicions, de les 850 allaus inicialment seleccionades, amb m.z.a. ben conegudes, se'n descarten la majoria i finalment se'n tracten 111.

El paràmetres considerats inicialment són els següents:

- Gradient mitjà de la zona d'allau.
- Topografia de la zona de sortida.
- Gradient de la zona de sortida.
- Sobreacumulació de neu ventada a la zona de sortida.
- Amplada de la zona de sortida.
- Grau de confinament entre la zona de sortida i la de trajecte.
- Gradient mitjà de la zona de trajecte.
- Desplaçament vertical total.
- Mínim radi de curvatura de la zona d'allau.
- Perfil del terreny de la zona d'allau.

De tots aquests paràmetres, els que van resultar explicatius de la m.z.a., i que s'han anat demostrant com als millors estimadors de les m.z.a. en treballs posteriors van ser els que es presenten tot seguit (fig.7.1.). Aquests paràmetres impliquen que una zona d'allau pot ser suficientment ben representada pel seu perfil longitudinal, com a mínim per a l'aplicació d'aquest mètode.

- $\alpha$ : Gradient mitjà de la zona d'allau, o angle (en graus  $^{\circ}$ ) mesurat entre el punt més alt de la zona de sortida i el punt més distal de la zona d'arribada i la horitzontal. És utilitzat com a descripció de la m.z.a.
- $\beta$ : Gradient mitjà del trajecte de l'allau, o angle ( $^{\circ}$ ) mesurat entre el punt més alt de la zona de sortida i el punt del perfil on el pendent és de  $10^{\circ}$  (anomenat punt  $\beta$ ), i la horitzontal. Es considera, a grans trets, que al voltant d'aquest punt s'inicia la desacceleració de les allaus extremes (correspon aproximadament al coeficient de fricció dinàmica més baix possible per a les allaus:  $\mu = \tan 10^{\circ}$ ; de Quervain, 1972; Buser i Frutiger, 1980; Lied i Bakkehoi, 1980).
- $\theta$ : Gradient de la zona de sortida; en molts casos és l'angle ( $^{\circ}$ ), mesurat sobre un mapa entre dues corbes de nivell equidistants 100 m, a partir del punt més alt de ruptura. En Lied i Toppe (1989) es defineix com l'angle mesurat entre el punt més alt de la zona de sortida i el punt del perfil on el pendent és de  $30^{\circ}$ , i la horitzontal; se l'anomena  $\gamma$ .
- H: Desnivell entre el punt més alt de la zona de sortida i el punt més baix o distal de la zona d'arribada (m); a partir d'ara, quan anomeni H serà en aquest sentit. En algun treball (Bakkehoi et al., 1983) s'ha considerat com el desnivell entre el punt més alt de la zona de sortida i el vèrtex de la paràbola ( $y = ax^2 + bx + c$ ) que millor s'ajusta al perfil topogràfic. En general, però, s'assumeix que ambdós desnivells són molt pròxims i, per tant, pràcticament assimilables (McClung i Lied, 1987).
- $y''$ : segona derivada ( $m^{-1}$ ) del polinomi de segon grau  $y = ax^2 + bx + c$  que millor s'ajusta al perfil topogràfic de la zona d'allau (es considera que una funció parabòlica s'ajusta molt bé als perfils topogràfics i, per tant, n'és una bona representació). Descriu la curvatura del perfil.
- $\delta$ : Paràmetre incorporat en treballs posteriors (Lied i McClung, 1987), és l'angle ( $^{\circ}$ ) entre el punt  $\beta$  ( $10^{\circ}$ ) i el punt més distal de l'allau i la horitzontal. De tota manera, aquest paràmetre no pot ser incorporat als models ja que per calcular-lo cal conèixer la m.z.a., que és precisament la variable a explicar pels models.

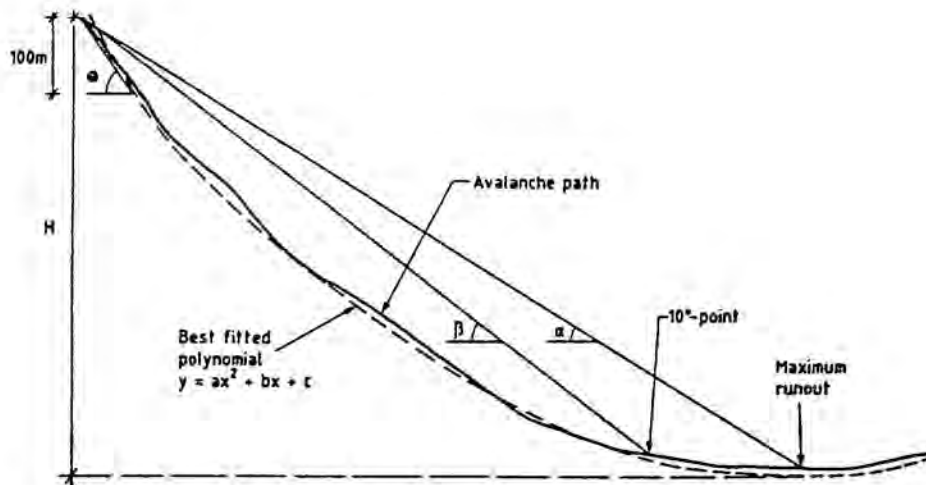


Figura 7.1.: Paràmetres topogràfics:  $a$ ,  $b$ ,  $q$ ,  $H$ ,  $y''$  (segona derivada de la funció  $y = ax^2 + bx + c$ ). (Segons Bakkehoi et al. 1989).

A partir d'aquests paràmetres es vol obtenir un model del tipus  $\alpha = f(\beta, \theta, H, y'')$  (o bé  $\alpha = f(\beta, \theta, H, y'', \delta)$ ). Diversos autors han obtingut diferents models per regressió. A continuació n'exposo alguns, tot deixant clar d'entrada que no presento totes les solucions obtingudes per altres autors, sinó només una mostra significativa dels resultats obtinguts amb els mateixos paràmetres i en la mateixa línia del que presento per al Pirineu.

Lied i Bakkehoi (1980) han obtingut els següents models a partir de 111 zones d'allaus de Noruega:

$$\hat{\alpha} = 0.97\beta - 1.4^\circ \quad R = 0.88 ; \sigma = 3.5^\circ$$

$$\hat{\alpha} = (0.62 - 0.28Hy'')\beta + (0.19Hy'' - 2.3)^\circ + 0.12\theta \quad R = 0.95 ; \sigma = 2.3^\circ$$

El segon model és sensiblement millor que el primer.

Bakkehoi et al. (1983) obtenen els següents a partir de 206 zones d'allaus de Noruega (en aquest treball  $H$  és el desnivell fins al vèrtex de la paràbola ajustada):

$$\hat{\alpha} = 0.96\beta - 1.4^\circ \quad R = 0.92 ; \sigma = 2.3^\circ$$

$$\hat{\alpha} = 0.92\beta - 7.9 \times 10^{-4}[H] + 2.4 \times 10^{-4}[H]y''\theta + 0.04^\circ \quad R = 0.92 ; \sigma = 2.28^\circ$$

on  $[H]$  representa el valor numèric d' $H$  (per exemple, 1000m).

En comparar aquestes dues equacions es demostra clarament l'efecte dominant de  $\beta$  (Bakkehoi et al., 1983). Segons Adjel (1994), el primer estimador o model és preferible que el segon, ja que és més simple alhora que igualment precís.



A partir d'aquesta mostra de 206 allaus, els autors realitzen diverses classificacions segons els paràmetres topogràfics, i presenten els següents models:

$$\begin{aligned} \text{Per a } \beta \leq 30^\circ \quad (N = \text{nombre d'allaus tractats} = 68) \\ \hat{\alpha} = 0.89\beta + 3.5 \times 10^{-2}\theta - 2.2 \times 10^{-4}[H] - 0.9^\circ \quad R = 0.84; \sigma = 1.49^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Per a } 30^\circ \leq \beta \leq 35^\circ \quad (N = 59) \\ \hat{\alpha} = 1.15\beta - 2.25 \times 10^{-3}[H] - 5.9^\circ \quad R = 0.53; \sigma = 2.50^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Per a } \beta > 35^\circ \quad (N = 79) \\ \hat{\alpha} = 0.81\beta + 3.6 \times 10^{-2}[H]y''\theta + 3.2^\circ \quad R = 0.62; \sigma = 2.67^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Per a } H > 900 \text{ m i } \beta \leq 30^\circ \quad (N = 20) \\ \hat{\alpha} = 0.81\beta + 3.5\theta - 2.6^\circ \quad R = 0.90; \sigma = 1.02^\circ \end{aligned}$$

McClung i Lied (1987) obtenen els següents resultats a partir d'una mostra de 212 allaus de l'àrea de clima marítim de l'oest de Noruega:

$$\hat{\alpha} = 0.985\beta - 2.24^\circ \quad R^2 = 0.845; \sigma = 2.52^\circ$$

La representació gràfica dels residus mostra que aquesta equació dona estimacions esbiaixades. Per tant assagen les següents transformacions:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= 0.730\beta^{1.06} & R^2 &= 0.861; \sigma = 0.0764^\circ \\ \sqrt{\hat{\alpha}} &= 0.0879\beta + 2.57 & R^2 &= 0.853; \sigma = 0.218^\circ \end{aligned}$$

En aquest cas,  $\theta$ ,  $H$  i  $y''$  no resultaren útils per millorar la predicció d' $\alpha$ .

També s'assagen classificacions en funció dels paràmetres topogràfics, i és presenten els següents resultats, a partir de la classificació en dos subconjunts de 106 allaus, seleccionades segons  $L$  ( $L = H / \tan \alpha$ ):

Per a  $L \geq 1342.6 \text{ m}$  ( $N = 106$ )

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= 0.906\beta - 0.334^\circ & R^2 &= 0.883; \sigma = 1.79^\circ \\ \hat{\alpha} &= 0.885\beta^{1.01} & R^2 &= 0.891; \sigma = 0.061^\circ \\ \sqrt{\hat{\alpha}} &= 0.0845\beta + 2.62 & R^2 &= 0.885; \sigma = 0.166^\circ \end{aligned}$$

Per a  $L \leq 1342.6 \text{ m}$  ( $N = 106$ )

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= 0.985\beta - 1.62^\circ & R^2 &= 0.803; \sigma = 2.94^\circ \\ \hat{\alpha} &= 0.803\beta^{1.04} & R^2 &= 0.817; \sigma = 0.085^\circ \\ \sqrt{\hat{\alpha}} &= 0.0851\beta + 2.73 & R^2 &= 0.885; \sigma = 0.166^\circ \end{aligned}$$

Aquests resultats mostren que les zones d'allaus més llargues poden ser modelitzades més acuradament (McClung i Lied, 1987).

Lied i Toppe (1989) analitzen els perfils de 113 allaus de Noruega ben conegudes. Els dos millors models que obtenen són els següents:

$$\begin{array}{ll} \hat{\alpha} = 0.96\beta - 1.7^\circ & R^2 = 0.93; \sigma = 1.4^\circ \\ \hat{\alpha} = 0.91\beta + 0.08\gamma - 3.5^\circ & R^2 = 0.94; \sigma = 1.4^\circ \end{array}$$

Mears (1989) compara per primera vegada els perfils de quatre serralades diferents, i comprova que l'equació  $\hat{\alpha} = 0.96\beta - 1.7^\circ$  (Lied i Toppe, 1989), vàlida per a l'oest de Noruega no ho és per a les altres serralades. Entre d'altres comparacions (entre les que hi ha la del paràmetre *raó de la zona d'arribada* ( $\Delta x / X_\beta$ ), vegeu McClung i Lied, 1987, i fig. 7.2.), per a equacions del tipus  $\alpha = f(\beta)$  obtingudes per a les quatre serralades, Mears compara el coeficient de correlació:

Oest de Noruega:	$R^2 = 0.93$
Costa d'Alaska:	$R^2 = 0.78$
Colorado:	$R^2 = 0.77$
Sierra Nevada (Califòrnia):	$R^2 = 0.71$

Com a continuació del treball anterior, McClung, Mears i Schaerer (1989) comparen aquest mètode més acuradament per a les quatre serralades i McClung i Mears (1991) reprenen aquest treball i fan la comparació entre cinc serralades diferents:

Canadà:	$\hat{\alpha} = 0.93\beta$	$R^2 = 0.75$	N = 126
Noruega:	$\hat{\alpha} = 0.90\beta$	$R^2 = 0.87$	N = 127
Alaska:	$\hat{\alpha} = 0.74\beta + 3.67^\circ$	$R^2 = 0.58$	N = 52
Colorado:	$\hat{\alpha} = 0.63\beta + 4.68^\circ$	$R^2 = 0.50$	N = 130
Sierra Nevada:	$\hat{\alpha} = 0.67\beta + 2.50^\circ$	$R^2 = 0.60$	N = 90

**D'aquests treballs es conclou que hi ha una diferència significativa entre les m.z.a. predites en les diferents serralades i que no és gens recomanable utilitzar una equació calculada a partir d'allaus d'una serralada per predir m.z.a. d'una altra serralada.**

Per altra banda, els autors no creuen que aquestes diferències siguin atribuïbles a diferències climàtiques entre les serralades, ja que es consideren allaus amb un llarg període de retorn ( $\approx 100$  anys).

Nixon i McClung (1992) presenten les següents equacions:

Rocoses i Purcells (Canadà):

$$\hat{\alpha} = 0.956\beta - 0.784^\circ \quad R^2 = 0.75; \quad \sigma = 1.75^\circ; \quad N = 126$$

Muntanyes de la costa de British Columbia:

$$\hat{\alpha} = 0.954\beta - 1.395^\circ \quad R^2 = 0.74; \quad \sigma = 1.70^\circ; \quad N = 31$$

Després de diverses anàlisis més, coincideixen amb la majoria d'autors precedents en què la variable explicativa més significativa és  $\beta$ , i la resta de variables pràcticament no milloren les estimacions.

Fujisawa i Tsunaki (1992) presenten la següent equació per a 66 zones d'allaus del Japó, ocorregudes entre 1974 i 1986 i de les que s'ha identificat perfectament la zona de sortida:

$$\hat{\alpha} = 0.498\beta + 0.352\theta - 1.01 \quad R = 0.79$$

on  $\theta$  és el pendent en el punt de la paràbola que es correspon amb l'inici de la zona de sortida.

Aquest autors fan altres regressions tot considerant l'existència de cases com a obstacles situats a la zona d'arribada, i les utilitzen en la confecció de mapes de perillositat. Evidentment, no contempen els principis establerts per Lied i Bakkehoi (1980) respecte al no confinament ni presència d'obstacles a la zona d'arribada.

Adjel (1994) fa un bon resum dels mètodes estadístics utilitzats per al càlcul de m.z.a. i una primera recopilació dels treballs d'altres autors. Hi afegeix els primers resultats del seu treball, que respecte a la modelització per regressió són els següents:

$$\hat{\alpha} = 0.82\beta + 2.82^\circ \quad R = 0.81; \quad \sigma = 2.69^\circ; \quad N = 168$$

També presenta altres equacions calculades a partir d'altres paràmetres topogràfics, però en la majoria es considera  $\delta$ , i per tant no les incloc aquí.

Adjel també fa classificacions segons els valors dels paràmetres topogràfics. Algunes de les que presenta són les següents, que en la meitat dels casos causen una lleugera millora en l'estimació d' $\alpha$ .

Per a  $H \geq 500$  m (N = 104):

$$\hat{\alpha} = 0.78\beta + 3.39^\circ \quad R = 0.77; \quad \sigma = 3.07^\circ$$

Per a  $H > 500$  m (N = 64):

$$\hat{\alpha} = 0.83\beta + 3.46^\circ \quad R = 0.91; \quad \sigma = 1.34^\circ$$

Per a $y'' \leq 0.4 \times 10^3$ (N = 91): $\hat{\alpha} = 0.97\beta + 1.06^\circ$	R = 0.91;	$\sigma = 1.85^\circ$
Per a $y'' > 0.4 \times 10^3$ (N = 77): $\hat{\alpha} = 0.77\beta + 3.79^\circ$	R = 0.72;	$\sigma = 3.27^\circ$
Per a $H \leq 500$ i $y'' \leq 0.4 \times 10^3$ (N = 40): $\hat{\alpha} = 0.84\beta - 2.08^\circ$	R = 0.83;	$\sigma = 2.52^\circ$
Per a $H \leq 500$ i $y'' > 0.4 \times 10^3$ (N = 65): $\hat{\alpha} = 0.72\beta + 5.06^\circ$	R = 0.68;	$\sigma = 3.41^\circ$
Per a $H > 500$ i $y'' < 0.4 \times 10^3$ (N = 52): $\hat{\alpha} = 0.86\beta + 2.52^\circ$	R = 0.91;	$\sigma = 1.41^\circ$

Lied, Weiler, Bakkehoi i Hopf (1995) presenten els següents resultats per a 80 allaus extremes a Austria:

$$\hat{\alpha} = 0.946\beta - 0.83^\circ \quad R = 0.96; \sigma = 1.5^\circ$$

$$\hat{\alpha} = 0.97\beta - 0.7 \times 10^{-1}\theta - 0.32 \times 10^{-1}y'' + 0.6 \times 10^{-6}Hy''\theta + 1.54^\circ \quad R = 0.97; \sigma = 1.3^\circ$$

Fent una síntesi-resum dels treballs de tots aquests autors se n'extreu que:

- Les zones d'allaus poden ser representades pel seu perfil longitudinal, i es considera que aquesta és una bona aproximació per a l'aplicació dels mètodes de modelització per regressió.
- $\beta$  és la variable explicativa més significativa per a l'estimació d' $\alpha$  en tots els casos.
- Els models obtinguts presenten lleugeres variacions per a una mateixa serralada. Probablement això té relació amb el nombre de perfils considerats en cada cas i, també molt probablement, amb la homogeneïtat de la mostra seleccionada.
- Existeixen diferències molt significatives en l'estimació d' $\alpha$  per a diferents serralades. Això implica que **un model obtingut en una serralada no pot ser aplicat a una altra serralada.**

Alguns autors atribueixen en part aquestes diferències als diferents climes (més marítics o més continentals) que es donen a cada una de les serralades.

Altres autors consideren que el clima no pot ser la causa d'aquestes diferències, ja que es parteix d'allaus extremes, que només es poden produir en condicions òptimes de la neu, i aquestes condicions han de ser les mateixes en tots els casos.

No es pot acabar aquest apartat sense citar el mètode desenvolupat per McClung i altres autors, tot i que en aquest treball no el tractaré ni faré servir en cap moment.

McClung i Lied (1987) desenvolupen una aproximació diferent a la que hem vist fins ara. El paràmetre descriptiu de la màxima zona d'arribada deixa de ser  $\alpha$  i el defineixen com  $\Delta x / X_{\beta}$  (fig.7.2.), sovint anomenat "raó de la zona d'arribada".

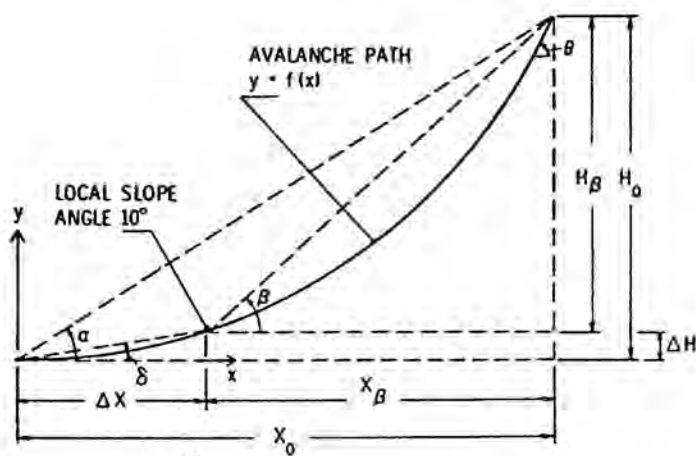


Figura 7.2.: Definició dels paràmetres topogràfics utilitzats per McClung et al. (1987).

$\Delta x / X_{\beta}$  no presenta una distribució normal. McClung et al. (1989) mostren, en canvi, que s'ajusta a una distribució de Gumbel o llei dels valors extrems, i n'identifiquen els paràmetres descriptius (d'escala i de posició), que permeten el càlcul de la m.z.a.

Els treballs de McClung i Lied, 1987; McClung et al. 1989; McClung i Mears, 1991; Nixon i McClung, 1992; i McKittrick i Brown, 1992, utilitzen aquest mètode.

### 7.3. LES ZONES D'ALLAUS A L'ÀREA D'ESTUDI

Com hem vist als apartats anteriors, els models estadístics que s'obtenen en una serralada no són aplicables a d'altres serralades per causa de les seves particularitats fisiogràfiques i morfològiques (Mears, 1989; McClung, et al., 1989; Adjel, 1994; Adjel, 1995; Lied et al., 1995) (i també molt probablement, per l'elecció de la mostra de perfils d'allaus que es tracten per calcular cada model; vegeu les conclusions d'aquest capítol). Per tant, abans d'entrar de ple en els perfils seleccionats i en l'anàlisi estadística, faig un breu repàs de les característiques del modelat que condicionen les zones d'allaus.

Per altra banda, les allaus extremes estan condicionades pel volum i la qualitat de la neu (humitat i mida de les partícules) (Norem, 1992). Es produeixen, doncs, en condicions particulars i amb períodes de retorn llargs. Per tant, en tots els treballs anteriors, sempre que és possible es parteix d'allaus de les que es tenen dades de m.z.a. que aproximen períodes de retorn de 100 anys. D'aquesta manera s'intenta assegurar que es coneix realment la màxima zona d'arribada de l'allau extrema. També comento, doncs, les limitacions que això suposa per a l'àmbit geogràfic d'aquest treball.

#### 7.3.1. Els trets físics.

Com és ben conegut, el Pirineu en general, i especialment les valls de cotes més elevades, presenta un modelat caracteritzat sobretot per les formes d'erosió glacial, heretades de l'última glaciació quaternària, i l'àrea objecte d'estudi d'aquest treball n'és un bon exemple. També ha estat posat en evidència per diferents autors que aquestes formes d'erosió glacial estan més ben representades quan s'han modelat sobre granitoids que sobre altres materials, paleozoics, que afloren a la zona central del Pirineu (Bordonau, 1985; Bordonau, 1987; Bordonau i Vilaplana, 1986; Bordonau et al., 1992; Brú et al., 1985; Martí Bono et al., 1978; Martí Riba, 1980; Martí Soler, 1988; Serrat i Vilaplana, 1992; Serrat et al. 1994; Ventura, 1983; Ventura 1986a; Ventura 1986b; Vilaplana, 1983a; Vilaplana, 1983b).

Ja he comentat al capítol 6 que l'àrea d'estudi inclou grans valls d'origen glacial, amples i amb clara forma d'U (Ruda-La Garona, Noguera Ribagorçana i vall de Boí, capçalera de la Noguera Pallaresa-Montgarri, etc.). Les allaus que es produeixen en aquests vessants poden presentar sovint perfils longitudinals parabòlics, similars als de les figures 7.1. i 7.2.

Les valls secundàries sovint no són tan amples i, tot i que en molts casos també presenten perfils en U, els vessants poden ser més pendents i més escarpats (Vall del Nere, vall de Mulleres, etc.); algunes d'elles, sobretot si no estan modelades sobre les granodiorites del batòlit de la Maladeta, estàn clarament encaixades i presenten perfils transversals més similars als perfils en V (Varradós, exceptuant la capçalera, Unyola, Airoto i Garrobea, exceptuant les capçaleres, etc.). Les allaus que es produeixen en aquests vessants tindran, doncs, zones d'arribada més pendents o que finalitzaran de manera més brusca.

Els antics circs glacials conformen les capçaleres de les valls. Les allaus desemboquen en els característics cons al peu de les parets dels circs i, sovint, tenen la seva arribada sobre llacs (gelats en època hivernal) o en cubetes de sobreexcavació reblertes; és a dir, arriben bruscament a zones planes.

Al modelat glacial s'hi sobreimposen retocs del modelat fluvio-torrencial actual. Es produeixen les anomenades conques amb dinàmica mixta nivo-torrencial (a escala de vessant), que alteren localment el modelat glacial, habitualment més regular.

En resum, les allaus s'adapten als vessants i aquests poden presentar perfils longitudinals (transversals a les valls) ben diversos. Això té conseqüències importants en el tractament i elaboració d'un model basat en paràmetres topogràfics, tal i com es discuteix a l'apartat 7.4.

En un altre ordre de coses i per acabar, vull insistir en què, en el cas d'allaus extremes com les que es tracten aquí, el paper de la vegetació és poc important. Sovint les zones de sortida de les allaus es troben por sobre del límit del bosc, de manera que aquest no serveix d'ancoratge a la neu. A més, una vegada iniciada, el bosc no suposa un obstacle per a una allau extrema, i és destruït amb facilitat fins i tot a la zona d'arribada.

Les petites irregularitats a la zona d'arribada (com una pista forestal que la travessi) són molt més importants i poden tenir efectes considerables en la ralentització i, per tant en la màxima superfície assolida per l'allau (Bolmont, 1992), sobretot quan aquestes irregularitats es troben quan la velocitat de l'allau ja ha disminuït considerablement.

### **7.3.2. El desconeixement dels períodes de retorn.**

En el primer treball de Lied i Bakkehoi (1980) es van seleccionar 111 allaus situades en zones poblades, de les que es tenia un bon coneixement de la seva m.z.a., tot considerant la màxima zona d'arribada com la de les allaus amb períodes de retorn superiors als 100 anys. Les dades les van obtenir de la història local, de documents eclesiàstics i d'informes policials sobre danys produïts per les allaus. Aquests autors consideren, molt encertadament, que no es pot obtenir informació fiable d'allaus amb períodes de retorn centenaris de l'estudi de la vegetació i de les traces geomorfològiques (transport i acumulació de troncs o blocs) a les zones d'arribada.

En la major part de treballs en els que han col·laborat aquests autors es fa referència a què les zones d'allaus seleccionades estan situades en àrees poblades i les seves m.z.a. són ben conegudes.

Els autors francesos sempre fan referència a la provinença de les dades de m.z.a., sempre avalades per testimonis; però malhauradament no sempre és segur que el seu període de retorn sigui centenari. Els autors americans sovint obvien citar si hi ha dades testimonials de les zones d'allaus que seleccionen, probablement per manca de dades històriques.

En aquest treball és patent la poca documentació històrica de la que es disposa. La despoblació de moltes de les valls, així com les limitacions pressupostàries i de temps en la realització de la cartografia no m'han permès de fer un recull tan exhaustiu com seria desitjable de dades històriques que permetin assegurar períodes de retorn centenaris.

Així doncs, he seleccionat una sèrie de perfils de zones d'allaus tot i sabent que el seu període de retorn pot ser d'uns 30 anys (és a dir, probablement en més d'un cas no es tracta d'allaus extremes); això permet una recuperació quasi total del bosc original per a allaus amb període de retorn superior als 30 anys, i per tant, actualment són molt difícils d'identificar i delimitar. La conseqüència immediata d'això és que, si les allaus seleccionades poden assolir distàncies superiors a les considerades, és possible que les m.z.a. de les allaus calculades a partir dels models siguin una mica infraestimades.

De tota manera, he considerat que és interessant fer un assaig en l'aplicació d'aquest mètode, sempre tenint en compte les limitacions de les meves dades.

#### 7.4. SELECCIO I ANALISI DE LES DADES

Com ja he comentat, tenint en compte els resultats de tots els treballs anteriors, s'accepta que les zones d'allaus poden ser representades pel seu perfil longitudinal.

Al capítol 5 ja he explicat exhaustivament l'obtenció de perfils topogràfics amb una bona resolució per mitjà del S.I.G. ArcInfo. L'èmfasi posat en obtenir la millor resolució possible s'explica per la necessitat de calcular els paràmetres topogràfics del perfil amb precisió. Ja he comentat que, en general, s'utilitzen mapes a escala 1:5.000 o 1:10.000 per calcular el punt  $\beta$  i la posició més distal d'arribada de l'allau (càlcul d' $\alpha$ ).

En el meu cas, una primera limitació és que parteixo d'una escala original 1:50.000 i, per tant, qualsevol petita pèrdua de resolució fa perdre qualitat a les dades, de per si ja al límit de la precisió acceptable. Com ja he comentat també respecte al desconeixement dels períodes de retorn, però, penso que val la pena fer un primer assaig d'aplicació d'aquest mètode per a aquesta zona del Pirineu.

En aquest apartat, doncs, presento els perfils amb els que he elaborat els models estadístics, un resum del mètode d'obtenció dels paràmetres topogràfics i el resultat de la modelització per regressió.



### 7.4.1. Selecció dels perfils i càlcul dels paràmetres topogràfics.

En aquest apartat, ben expressament, no presento directament les seleccions i els resultats dels càlculs dels paràmetres, sinó que faig un repàs de les passes que he seguit i que m'han portat a fer unes seleccions determinades dels perfils i, com a conseqüència, a obtenir uns resultats condicionats a aquestes seleccions.

#### Primeres seleccions dels perfils a tractar.

La primera selecció l'he feta al moment de la digitalització dels perfils. Evidentment, no he considerat totes les zones d'allaus existents en els fulls tractats, sinó que he digitalitzat zones d'allaus que he considerat suficientment ben conegudes (en lila als Mapes de Localització Probable d'Allaus).

Tampoc no he considerat les zones d'allaus amb desnivells inferiors als 300 m., ja que m'han semblat poc representatives, sobretot tenint en compte l'escala de la que parteixo (1:50000).

Finalment i seguint els criteris de Lied i Bakkehoi (1980), he seleccionat zones d'allaus que finalitzin de la manera menys confinada possible i sense obstacles a la zona d'arribada; no he considerat cap allau que remunti pel vessant oposat al de desencadenament i, en algun cas en què remunten lleugerament i es canalitzen cap al fons de vall tot fent una inflexió en la seva trajectòria, he considerat el punt més baix del seu recorregut (fig. 7.3.). La mostra seleccionada no compleix estrictament les condicions requerides, però aplicar més estrictament els criteris dels autors noruecs implica que la mostra deixi de ser representativa de les zones d'allaus de l'àrea d'estudi.

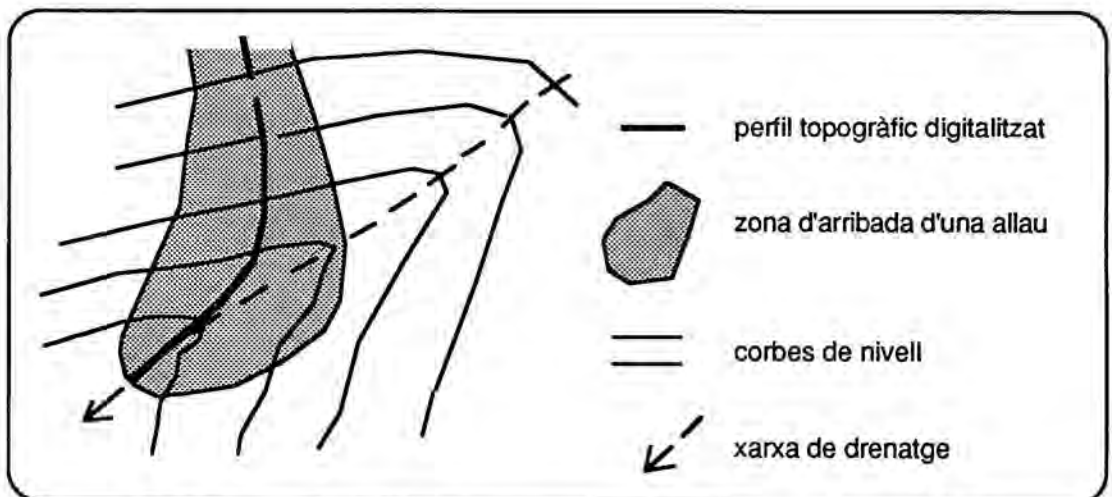


Figura 7.3.: Criteri amb el que he traçat els perfils topogràfics de les allaus que es canalitzen per un fons de vall.

Amb aquests criteris he seleccionat una mostra de 307 perfils, dels que n'hi ha una representació gràfica a l'annex 4.

En un primer reconeixement visual, s'observa que hi ha tota una sèrie de perfils en els que el seu punt més baix (m.z.a.) el pendent no arriba a assolir els  $10^\circ$  (és superior). Per tant, amb aquests perfils no es pot aplicar el mètode descrit. Amb l'ajuda del càlcul del pendent dels perfils, realitzat sobre un full de càlcul (com explico amb més detall més endavant), he descartat tots aquells perfils amb una zona d'arribada massa pendent per aplicar el mètode. He descartat també algun perfil molt irregular, possiblement fruit d'algun error de digitalització.

El resultat és que la mostra queda reduïda, en principi, a 206 perfils.

### **Primer tractament semi-automatitzat.**

Els paràmetres topogràfics que he decidit calcular són els següents:

- $\alpha$
- $\beta$
- $\theta(28)$  : representatiu del gradient (angle en  $^\circ$ ) de la zona de sortida des del seu punt més alt fins al punt on el pendent fa  $28^\circ$  amb la horitzontal; he triat aquest pendent per coherència amb els criteris exposats al capítol 6. A partir d'ara l'anomenaré  $\theta$ .
- H
- $y''$

Aquests paràmetres poden calcular-se sense la necessitat de conèixer la m.z.a. d'una allau, i per tant, el model de regressió que se n'obté pot servir per a predir-les. Per tant, he descartat possibles paràmetres (com  $\delta$ , vegeu apartat 7.2.) que necessiten del coneixement de la m.z.a. per al seu càlcul.

Com ja s'ha vist (apartat 7.2.), el paràmetre H ha estat definit per alguns autors com al desnivell entre el punt més alt de la zona de sortida i el punt més baix o distal de la zona d'arribada (m). Aquest és el paràmetre que he calculat per als perfils tractats. En altres treballs (Bakkehoi et al., 1983) s'ha considerat com el desnivell entre el punt més alt de la zona de sortida i el vèrtex de la paràbola ( $y = ax^2 + bx + c$ ) que millor s'ajusta al perfil topogràfic. En general, però, s'assumeix que ambdós desnivells són molt pròxims i, per tant, pràcticament assimilables (McClung i Lied, 1987) (fig. 7.1). Si no fos així, no es podria prendre el desnivell real de l'allau, ja que seria necessari conèixer la m.z.a. Per a l'estimació d' $\alpha$  en perfils on no es coneix la m.z.a. caldrà, doncs, calcular el desnivell sobre la paràbola per poder-lo introduir al model o equació de regressió.

Per altra banda, un fet evident és que la major part dels perfils no són perfectament parabòlics a escala de vessant, sinó que presenten irregularitats. Per tant, he utilitzat la idea de Lied i Toppe (1989) de definir un interval a la zona d'arribada dins el qual ha d'estar localitzat el punt  $\beta$ , i un interval a la zona de sortida dins el qual ha d'estar localitzat el punt  $\theta$  (fig. 7.4.).

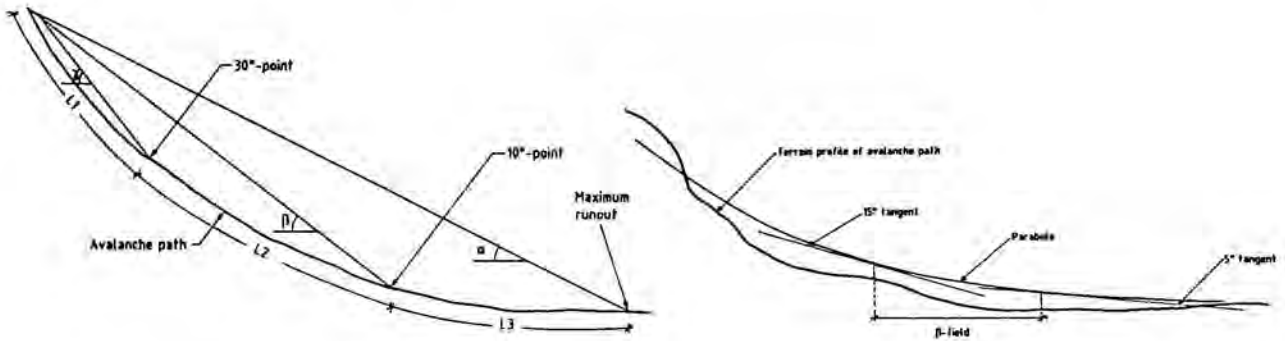


Figura 7.4.: a) Definició dels paràmetres topogràfics; Definició de l'interval de  $\beta$  per mitjà de la millor paràbola ajustada. (Segons Lied i Toppe, 1989).

Amb la utilització d'aquests intervals pretenc evitar confusions produïdes per petites irregularitats dels perfils poc significatives a l'escala del tractament, que és l'escala del vessant.

#### - Creació d'una plantilla per al càlcul dels paràmetres topogràfics:

Per calcular els paràmetres topogràfics, he exportat els fitxers de coordenades ( $x$  = altitud,  $y$  = distància horitzontal a partir de l'origen de l'allau) dels perfils en format INFO a format ascii, i els he importat sobre un full de càlcul (Excel 5.0 sobre PC).

He creat una plantilla en la que per a cada fitxer de les coordenades d'un perfil es calcula el pendent de cada segment entre dos parells de coordenades consecutius ( $x, y$ ) automàticament. També es calcula automàticament el desnivell del perfil ( $H$ ), la curvatura del perfil  $y''$ , l'angle  $\alpha$  representatiu de la m.z.a, els angles  $\theta$  i  $\beta$  (a partir dels intervals definits segons Lied i Toppe, 1989), i un altre angle que he anomenat  $\beta R$ , i que representa les ruptures brusques de pendent (diferències de pendent entre dos segments consecutius  $> a 10^\circ$ ).

En aquest procés hi ha un pas interactiu, que cal realitzar per a cada perfil, i que és el que permet la definició dels intervals de pendent (Lied i Toppe, 1989) i el càlcul del paràmetre  $y''$ . Interactivament, he creat un gràfic del perfil, al que el programa permet afegir la millor paràbola ajustada, alhora que dóna l'equació de la paràbola i el seu coeficient de correlació  $R^2$  amb el perfil.

Implementant els valors de l'equació a la plantilla es pot calcular els punts on la paràbola té un determinat pendent (a partir de la derivada de l'equació de la paràbola), com el de  $5^\circ$ ,  $15^\circ$  i  $27^\circ$ . Per mitjà de l'aplicació de funcions lògiques es pot delimitar els segments del perfil inclosos entre els punts de  $5^\circ$  i  $15^\circ$  i els que estan per sobre de  $27^\circ$ . Aquestes funcions són del tipus:

- Si  $(x)$  del perfil correspon a  $(x)$  de la paràbola amb pendent  $< 15^\circ$ , LLAVORS selecciona  $(x,y)$  del perfil.
- Si  $(x)$  del perfil correspon a  $(x)$  de la paràbola amb pendent  $> 5^\circ$ , LLAVORS selecciona  $(x,y)$  del perfil.
- Si es dóna la primera condició I A MES, Si es dóna la segona condició, LLAVORS selecciona  $(x,y)$  del perfil que compleixi les dues condicions.
- Això es comprova per a cada parell de coordenades del perfil i queda definit l'interval.

Una vegada seleccionat l'interval del perfil entre  $5^\circ - 15^\circ$ , també per mitjà de l'aplicació de funcions lògiques es pot seleccionar el segment on el pendent té entre  $8^\circ$  i  $12^\circ$ , que conté el punt  $\beta$  (en molts perfils no existirà exactament un segment amb pendent =  $10^\circ$ ), i es pot calcular l'angle  $\beta$ .

D'una manera similar es pot calcular l'angle  $\theta$ .

En aplicar aquesta plantilla als perfils van sorgir una sèrie de limitacions, que comento a continuació.

### Limitacions i primers resultats.

La primera limitació en un tractament semi-automàtic com el que presento és que, **normalment, no hi ha cap segment del perfil que tingui un pendent d'exactament  $10^\circ$** . Aquest problema, que he apuntat a l'apartat anterior, l'he resolt prenent un interval entre  $8^\circ$  i  $12^\circ$ , seleccionant tots els segments amb pendent inclòs en aquest interval (pot ser que n'hi hagi un o més), calculant tots els possibles angles  $\beta$  a partir d'aquests segments i, finalment, escollint el  $\beta$  que correspon al pendent més pròxim a  $10^\circ$ . Aquest últim pas, que podria ser automatitzat, l'he realitzat interactivament.

Adjel (com. pers.), que també treballa a partir de perfils obtinguts amb ArcInfo, ha resolt aquest problema a partir de la definició de  $\beta$  que fan McClung et al. (1989), en què consideren el punt  $\beta$  el primer en què el perfil assoleix  $10^\circ$ , mesurat des de l'inici de la zona de sortida. Adjel (com. pers.), amb un procés totalment automatitzat, considera que el punt  $\beta$  és el primer que es troba en què el pendent del segment superior és superior a  $10^\circ$  i el pendent del segment

inferior és inferior a  $10^\circ$ , considerat des de l'origen de la zona de sortida. Aquest mètode, en principi força bo, presenta problemes que discuteixo més endavant, en aquest mateix apartat.

Un altre problema és el de l'**existència de segments amb pendent de  $0^\circ$** , derivats dels triangles plans d'error que es creen en generar els tins amb ArcInfo. Els pocs que es poden formar a les canals que coincideixen amb les zones de trajecte de les allaus no tenen importància, però a la zona d'arribada poden coincidir fàcilment amb el sector on el pendent inclou el punt  $\beta$ .

He assumit que en tots els casos, aquests segments plans corresponen a topografies associades a cons de dejecció per tal de poder fer una correcció automàtica per a tots els casos, tot assumint que, en alguns casos introdueixo un error (els segments plans poden coincidir també amb incisions, però això passa en molts menys casos). (fig. 7.5.)

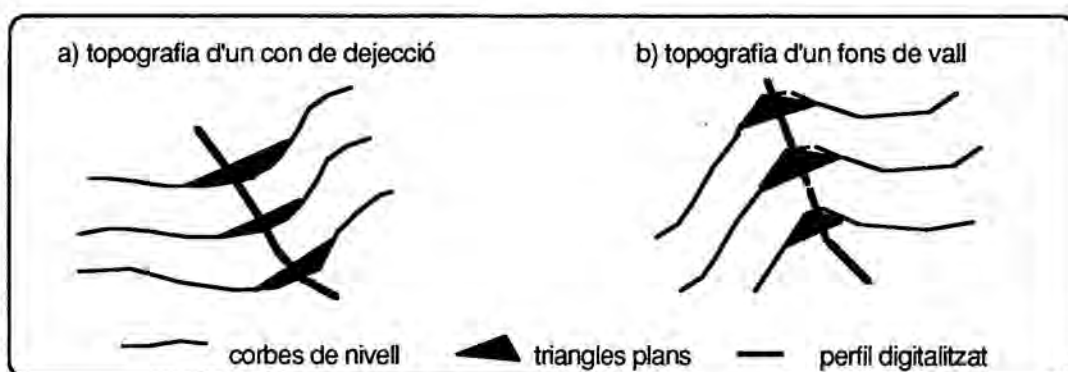


Fig. 7.5.: Generació de triangles plans i, per tant, de segments amb pendent =  $0^\circ$  en:  
 a) cons de dejecció; b) fons de valls encaixades.

He assumit que fins a tres segments ( $\approx 30$  m) es pot considerar un error per triangles plans al tin d'origen, i he incorporat a la plantilla de càlcul una correcció. Aquesta correcció consisteix en prendre el segment superior a un segment amb pendent de  $0^\circ$ , i calcular el pendent entre el punt més alt del segment superior i el punt més distal del segment pla, i així fins a tres segments. Amb això s'obvien errors induïts pel tractament de la topografia per mitja d'ArcInfo.

Adjel (com.pers), que ha partit d'una base topogràfica molt més detallada, ha obviat aquest problema seleccionant un interval de mostreig sobre el tin de manera que els triangles plans (de dimensions petites) quedin inclosos entre punt i punt de mostreig. Llavors, al perfil, el resultat és un segment amb un pendent intermig més pròxim al real.

Amb les dades topogràfiques de les que he disposat per a aquest treball, jo no em podia permetre augmentar l'interval de mostreig a costa de perdre resolució, però crec que, de cara a futurs treballs al Pirineu en què ja es disposi de bases topogràfiques molt més detallades, la idea d'Adjel és molt bona.

Un altre problema, que ja ha estat posat en evidència per Berthier (1989) i per Adjel (1994 i 1995), és el de les irregularitats del perfil. **En un perfil hi pot haver més d'un punt de  $10^\circ$  i, de fet, moltes vegades n'hi ha diversos.**

Si considerem només la zona d'arribada de l'allau, en principi, el punt  $\beta$  vàlid serà el que es trobi més amunt en el perfil, que és on començarà la desacceleració de l'allau. Però, com ja he dit, en el meu cas, l'existència de segments horitzontals provinents de triangles plans d'error provoca que aquesta aproximació no sigui vàlida. És per aquest motiu que, com he explicat a l'apartat anterior ("Creació d'una plantilla per al càlcul dels paràmetres topogràfics"), he decidit fer la selecció final del punt  $\beta$  amb les dades del pendent de cada segment al davant i tot aplicant el meu criteri per a descartar errors.

Un altre fet és que, sovint, un perfil complet presenta punts amb pendent de  $10^\circ$  al final de la zona de sortida i al llarg de la zona de trajecte, causats per barres rocoses, per l'existència de circs penjats amb fons més o menys plans, etc.

Per tant, el mètode automàtic d'Adjel per seleccionar el punt  $\beta$  pressuposa fer una selecció prèvia dels perfils que només tinguin un punt  $\beta$  o bé anar desestimant perfils a mesura que troba més d'un punt  $\beta$  per a un perfil. De fet, com diu el mateix Adjel (1994, 1995), **una de les grans limitacions d'aquest mètode estadístic és que pressuposa l'existència d'un únic punt  $\beta$** , i la seva aplicació estricta i d'una manera el màxim d'automatitzada possible (i per tant, objectiva) obliga a desestimar un nombre molt elevat de perfils de la mostra original.

És per simplificar aquest problema que, tal i com he explicat dins l'apartat 7.1.: "Primer tractament semi-automatitzat", he introduït la idea de Lied i Toppe (1989) (fig. 7.4.) que, a partir del millor ajust d'una paràbola, permet delimitar un interval de la zona d'arribada per a la qual els possibles punt  $\beta$  sí que tenen un sentit físic d'inici aproximat de la desacceleració de l'allau extrema (un replà o una sèrie d'irregularitats al llarg de la zona de trajecte no influencien en les condicions amb les que una allau extrema assoleix la zona d'arribada, Burkard, com. pers.).

Amb totes aquestes condicions fixades, (interval de l'inici de la zona d'arribada entre  $5^\circ$  i  $15^\circ$  sobre la paràbola ajustada; correcció de segments horitzontals; interval del punt  $\beta$  entre  $8^\circ$  i  $12^\circ$ ), he aplicat la plantilla de càlcul als fitxers dels perfils.

Com a primer resultat, dels 216 preseleccionats, **només hi ha 64 perfils en què s'ha pogut calcular  $\beta$**  (taula 7.1.). En la majoria de casos, la m.z.a. o extrem del perfil s'acaba per sobre del punt on la paràbola ajustada té un pendent de  $15^\circ$  i, per tant, no hi ha cap possible punt  $\beta$  que compleixi totes les condicions abans esmentades.

Evidentment, aquests 64 perfils tenen una morfologia clarament parabòlica i, des d'ara els anomenaré **perfils parabòlics**.

A la resta de perfils, l'ajust d'una paràbola deixa de ser representatiu i sigificantiu i indueix a error si es volen tenir en compte tots els paràmetres topogràfics proposats.

A la figura 7.6. he inclòs el gràfic de quatre perfils diferents amb les seves corresponents paràboles ajustades.

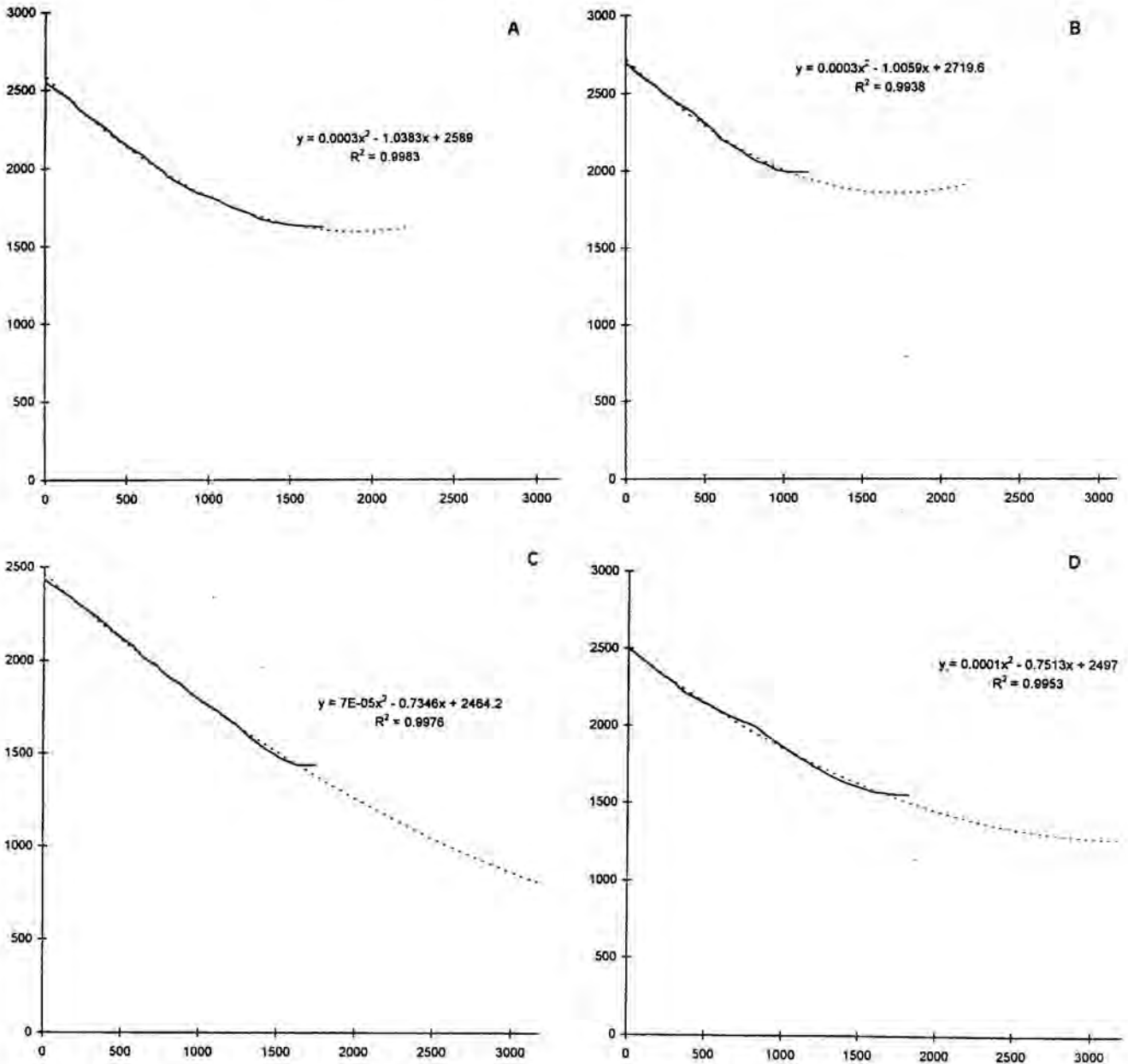


Figura 7.6.: Perfils topogràfics longitudinals de zones d'allaus amb les seves corresponents paràboles ajustades. A : La paràbola és representativa del perfil. B: Tot i que el perfil té una zona d'arribada "parabòlica", la paràbola corresponent no s'ajusta bé a la zona més baixa. C: Perfil amb zona d'arribada amb ruptura brusca del perfil; la paràbola no s'ajusta a la part baixa. D: El perfil té forma de dues paràboles superposades. En els tres últims casos les corresponents paràboles ajustades no són representatives de la curvatura dels perfils topogràfics ni del seu desnivell (comparat amb el desnivell fins al vèrtex de la paràbola).

Cal destacar que el coeficient de correlació de l'ajust és molt bò en tots els casos ( $R^2 > 0.99$ ). Però en tots els casos, excepte en el primer (A), és evident que la paràbola ajustada és poc representativa dels perfils (B,C,D):

- La zona de la paràbola amb pendents que es corresponen a zones d'arribada d'allaus no coincideixen amb les zones d'arribada reals als perfils.
- La curvatura de la paràbola ( $y''$ ) es pot correspondre aproximadament amb la curvatura a la zona de sortida, però en absolut a la curvatura a la zona d'arribada en els perfils. Per tant, deixa de ser representativa de la curvatura del perfil complet.
- El desnivell entre la m.z.a. real de l'allau i el vèrtex de la paràbola és variable, no despreciable en cap dels tres casos de la figura i, en algun d'ells, similar al desnivell total H de l'allau real. Això implica que el desnivell de l'allau i el desnivell entre la zona de sortida de l'allau i el vèrtex de la paràbola no són assimilables, i per tant, H deixa de ser vàlid com a estimador d' $\alpha$ .

Per tant, tenint en compte tot això, **els paràmetres H i  $y''$  només els consideraré vàlids per als perfils parabòlics.**

Una conseqüència immediata d'això és que **per tractar la resta de perfils preseleccionats, les regressions han de ser només d' $\alpha$  en funció de  $\beta$ .** A més, es convenient de **tractar els perfils segons la seva morfologia o, com a mínim, segons la seva morfologia a la zona d'arribada.**

A partir d'aquí, doncs, he reorientat el treball per tal de poder tractar els 216 perfils de manera separada, i per poder obtenir diferents models representatius de les diferents característiques de les zones d'allaus de l'àrea d'estudi.

### **Reseleccions dels perfils.**

El següent pas ha estat la **selecció visual dels perfils no parabòlics.** Els he seleccionat segons la morfologia de la seva zona d'arribada.

En aquest punt, cal dir que he considerat la zona d'arribada com la zona més baixa del perfil, en la què l'allau ha de decelerar. Els criteris són purament visuals i d'expert, i no he aplicat cap mètode automàtic ni semi-automàtic per fer les seleccions.

En primer lloc, he seleccionat els perfils que tenen una zona d'arribada força regular i en què el pendent disminueix progressivament, de manera que es podria dir que tenen una **zona d'arribada "parabòlica"** i així els anomenaré a partir d'ara. He seleccionat **62 perfils amb zona d'arribada parabòlica** (taula 7.2.).



## 64 perfils parabòlics

Perfil	alfa	beta10	teta28	H	y' (*10 <sup>3</sup> )	Perfil	alfa	beta10	teta28	H	y' (*10 <sup>3</sup> )
be10	22.94	28.66	34.18	886.50	0.4	es69	28.67	29.32	35.56	425.30	1
be31	28.89	30.96	36.68	1116.90	0.2	es75	27.32	29.46	38.42	549.07	0.8
be32	27.26	28.57	35.99	1061.60	0.4	es82	21.56	23.13	31.06	921.22	0.2
be6	24.68	28.02	35.84	842.79	0.4	es106	28.50	30.41	33.61	927.42	0.4
be9	20.90	23.48	28.90	960.77	0.2	es132	24.44	25.60	33.10	614.04	0.4
bc27	23.78	24.59	30.03	1431.80	0.2	es134	22.25	25.94	35.98	886.46	0.4
bc28	22.79	23.00	32.13	1231.30	0.1	es136	23.81	27.20	31.69	498.60	0.6
bc44	25.03	27.20	31.40	361.78	0.8	es137	21.76	24.88	28.28	680.71	0.2
bc46	25.62	27.99	31.18	717.93	0.4	is1	32.92	35.19	41.55	599.05	1.2
bc48	25.75	28.49	33.53	539.11	0.6	is2	32.90	35.32	40.95	656.62	1
bc49	26.26	30.58	32.26	504.78	0.8	is8	25.83	29.66	33.20	439.70	0.8
bc52	26.69	28.28	32.48	766.68	0.4	is14	22.60	23.65	36.81	1060	0.16
bc55	26.25	31.60	35.72	853.07	0.6	is15	18.23	24.95	34.45	1159	0.2
es1	22.74	24.62	32.12	983.72	0.2	is16	24.02	24.50	34.04	1120	0.2
es3	25.25	27.81	35.35	957.26	0.4	is17	21.94	23.41	32.40	999.13	0.2
es8	21.02	22.78	34.19	755.54	0.08	is20	18.78	23.05	29.49	1039.1	0.2
es9	19.85	24.68	34.14	553.16	0.4	is21	20.65	24.01	39.36	1100	0.2
es12	22.29	27.56	31.49	318.64	1	is29	21.26	23.21	25.70	342.38	0.4
es15	29.16	33.31	37.12	522.56	1	is30	20.82	24.13	33.71	1073.2	0.2
es17	25.89	27.94	35.14	706.67	0.6	is31	21.08	23.11	32.90	1039.1	0.2
es26	27.92	29.59	35.98	527.22	0.8	is32	18.62	21.78	30.97	970.48	0.14
es31	28.46	31.21	35.24	511.35	0.8	is34	22.33	23.83	30.38	598.02	0.4
es33	27.23	29.35	38.36	388.03	1.4	is36	17.57	26.10	32.12	634.85	0.4
es38	24.37	27.97	33.45	300.64	1	is37	18.55	20.69	27.81	808.56	0.14
es39	27.42	32.49	37.15	520.38	1	is38	23.86	26.28	36.76	839.82	0.4
es41	37.12	38.27	43.62	508.17	1.6	is39	20.89	27.44	32.62	819.42	0.4
es44	26.29	30.45	34.66	525.94	0.8	is47	20.32	21.28	29.02	956.01	0.14
es48	31.03	32.93	36.47	745.06	0.6	is48	21.57	22.31	30.24	925.24	0.2
es51	27.50	30.09	37.23	551.64	0.8	is54	23.22	27.23	32.39	915.24	0.4
es57	29.40	34.37	37.92	588.49	1	is58	26.83	20.07	32.24	833.21	0.4
es60	23.37	27.34	33.63	357.05	1	is62	27.33	30.43	36.61	1090.7	0.4
es65	30.59	31.82	37.83	608.85	0.8	is74	24.44	26.20	31.55	485.33	0.6

Taula 7.1.: Paràmetres topogràfics dels 64 perfils parabòlics.

## 34 perfils afegits a les seleccions anteriors

Perfil	alfa	beta	Perfil	alfa	beta	Perfil	alfa	beta	Perfil	alfa	beta
be17	25.49	25.84	bc8	28.86	29.7	es59	22	23.58	es103	39.05	40.56
be18	28.86	29.70	bc19	26.47	26.78	es63	29.10	30.42	es122	28.59	31.28
be19	28.59	31.28	bc22	27.09	28.09	es71	29.97	30.77	es123	39.05	40.56
be20	25.49	25.84	bc42	27.09	28.09	es77	35.71	36.18	is12	18.19	19.02
be27	18.41	20.44	bc51	29.78	30.81	is76	29.78	30.81	is16	34.56	35.45
be35	20.61	22.68	es6	35.71	36.18	es78	33.54	34.75	is42	26.74	28.00
be43	26.47	26.78	es13	27.84	30.57	es80	27.84	30.57	is44	22.00	23.58
bc2	24.94	28.18	es22	25.08	28.55	es93	29.1	30.42			
bc4	25.33	31.53	es54	26.74	28	es95	33.54	34.75			

Taula 7.4.: Paràmetres topogràfics de 34 perfils afegits a les seleccions anteriors

62 perfils (z.a. "parabòlica")

Perfil	alfa	beta10	Perfil	alfa	beta10	Perfil	alfa	beta10	Perfil	alfa	beta10
be12	23.89	27.45	bc56	32.50	33.86	es72	38.16	40.93	is13	28.87	30.51
be13	27.38	30.34	es7	25.46	27.10	es85	31.30	34.81	is27	23.12	24.47
be14	32.54	33.25	es20	29.97	31.35	es87	31.89	33.38	is28	25.06	25.96
be17	27.38	28.23	es23	30.30	32.12	es101	28.99	29.96	is33	22.48	24.79
be21	33.37	34.85	es24	28.08	29.28	es107	25.98	28.36	is35	25.39	27.56
be23	32.05	34.01	es27	24.57	27.56	es109	25.70	25.91	is40	23.42	24.19
be28	26.38	26.77	es28	29.66	31.56	es111	30.99	33.02	is50	24.58	27.71
be36	21.29	23.11	es36	30.47	31.74	es112	28.21	30.34	is53	25.19	27.49
be40	23.38	24.46	es42	39.78	41.70	es121	31.23	32.39	is60	25.77	27.91
be41	20.66	22.71	es47	31.48	32.95	es125	32.73	34.04	is63	31.12	33.58
be5	29.15	33.83	es49	29.31	30.11	es126	35.06	36.86	is65	27.37	28.48
be7	28.63	32.81	es50	27.48	28.25	es127	27.13	29.29	is67	24.00	25.39
be8	25.22	26.08	es56	31.87	34.47	es130	20.60	25.05	is73	28.92	29.95
bc30	24.36	25.50	es66	32.51	34.69	es131	33.20	34.15	is75	27.69	28.92
bc31	26.80	28.19	es68	29.84	33.96	es133	20.17	21.73			
bc45	26.03	27.98	es70	31.61	36.05	es138	24.68	26.32			

Taula 7.2.: Paràmetres topogràfics dels 62 perfils amb zona d'arribada parabòlica.

56 perfils (z.a. amb ruptura brusca)

Perfil	alfa	betaR	Perfil	alfa	betaR	Perfil	alfa	betaR	Perfil	alfa	betaR
be1	34.61	35.98	bc24	33.38	35.34	is22	23.22	25.28	es37	19.93	24.15
be2	32.94	33.41	bc25	25.01	25.36	is23	19.97	20.65	es46	35.55	37.67
be4	30.42	24.6	bc32	30.86	32.11	is25	24.02	24.32	es53	41.56	43.09
be5	29.15	33.52	bc33	29.01	29.75	is41	31.41	34.03	es55	40.91	41.91
be22	28.16	35.62	bc35	31.83	33.03	is45	33.63	34.58	es62	31.78	33.95
be24	31.3	37.58	bc47	21.99	26.45	is46	28.1	29.6	es64	26.3	30.47
be26	29.54	32.39	bc50	29.48	31.92	is55	25.77	27.86	es67	28.35	32.1
bc1	27.15	28.07	bc53	30.38	33.19	is69	32.68	35.43	es74	26.93	27.84
bc12	35.93	36.95	bc54	26.58	29.14	is70	33.3	34.34	es84	19.09	24.73
bc14	33.53	35.84	is3	34.54	37.31	is72	31.07	33.4	es113	39.56	40.74
bc15	35.95	37.57	is4	24.04	29.07	es14	23.67	26.32	es114	33.28	35.92
bc17	27.62	28.06	is7	28.83	29.05	es18	39.01	41.45	es119	33.39	36.08
bc18	26.74	27.12	is14	18.23	23.21	es21	28.59	29.77	es120	34.04	35.54
bc23	24.16	24.49	is19	29.5	30.88	es34	25.99	29.51	es139	19.19	22.72

Taula 7.3.: Paràmetres topogràfics dels 56 perfils amb zona d'arribada amb ruptura brusca.

Amb l'ajuda de la plantilla (que calcula el pendent de cada segment entre dos parells de coordenades), he seleccionat el punt  $\beta$  exclusivament amb criteris d'experta, tot considerant quina és la zona on es deu produir l'inici de la ralentització, els pendents, i quins d'aquests pendents són els més pròxims a  $10^\circ$ .

Seguidament, de forma també visual, he seleccionat els perfils que presenten una ruptura de pendent còncava molt brusca que marca l'inici de la zona d'arribada. La selecció comprèn **56 perfils**, que anomenaré des d'ara com a **perfils amb ruptura brusca** (taula 7.3).

Amb l'ajuda de la plantilla, que identifica el punt  $\beta R$  i calcula l'angle  $\beta R$  (sempre que hi ha una diferència  $> 10^\circ$  entre el pendent de dos segments consecutius), he obtingut aquests angles  $\beta R$ , que he considerat equiparables, en el sentit físic, a  $\beta$ .

Finalment, també de forma visual, amb criteris d'experta i amb ajuda de la plantilla, he calculat els angles  $\beta$  dels **34 perfils restants** fins als 216 preseleccionats (taula 7.4.). Això ho he fet perquè considero que la mida de les 3 mostres (perfils parabòlics, perfils amb zones d'arribada "parabòlica" i perfils amb ruptura brusca) és molt justa per a l'obenció de resultats amb significació estadística. Per tant, a més de tractar cada una de les mostres per separat, faig un tractament del conjunt dels 216 perfils en què només estimo  $\alpha$  en funció de  $\beta$ .

#### 7.4.2. Tractaments estadístics.

Els tractaments d'anàlisi per regressió els he realitzat:

- per a cada una de les mostres seleccionades,
- per a totes les mostres conjuntament, i
- per a les dues primeres mostres (perfils parabòlics i amb z.a. "parabòlica") preses conjuntament, en els que he fet assajos de classificació segons paràmetres topogràfics.

Tot seguit, doncs, presento l'estadística descriptiva de les mostres i els resultats de la modelització per regressió.

#### Estadística descriptiva.

En aquest apartat simplement presento les taules 7.5., 7.6., 7.7., 7.8. i 7.9., on es resumeixen les característiques dels paràmetres topogràfics que són considerats com a variables primàries en les anàlisis posteriors.

64 perfils (parabòlics)				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	24.67	3.90	24.41	17.57 - 37.12
beta10 (°)	27.34	3.90	27.39	20.07 - 38.27
teta28 (°)	34.01	3.38	33.67	25.70 - 43.62
H (m)	753.32	262.47	750.30	300,64 - 1431,80
y" (*10 <sup>3</sup> m-1)	0.528	0.348	0.4	0.08 - 1.6

Taula 7.5.: Estadística descriptiva de les variables primàries que he utilitzat en les regressions dels perfils parabòlics. Com explico a l'apartat següent, he creat algunes variables a partir de les variables primàries, de les que no incloc la descripció.

62 perfils (z.a. "parabòlica")				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	28.10	4.10	27.89	20.17 - 39.78
beta (°)	30.00	4.24	29.62	21.73 - 41.70
teta28 (°)	33.09	3.65	32.40	27.27 - 45.80
H (m)	771.50	205.77	766.54	376.57 - 1363.00

Taula 7.6.: Estadística descriptiva de les variables primàries i els paràmetres topogràfics que he utilitzat en les regressions dels perfils amb zona d'arribada "parabòlica", i en la classificació segons  $\theta$  i H per al tractament conjunt dels perfils parabòlics i amb z.a. "parabòlica".

56 perfils (z.a. amb ruptura brusca)				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	29.48	5.45	29.49	18.23 - 41.56
beta (°)	31.62	5.28	32.11	20.65 - 43.09

Taula 7.7.: Estadística descriptiva de les variables primàries que he utilitzat en les regressions dels perfils amb ruptura brusca a l'inici de la zona d'arribada.

216 perfils (tots els tractats)				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	27.27	4.91	27.14	17.57 - 41.56
beta (°)	29.52	4.77	29.14	19.02 - 43.09

Taula 7.8.: Estadística descriptiva de les variables  $\alpha$  i  $\beta$  que he utilitzat en la regressió dels 216 perfils.

126 perfils (parabòlica + z.a. "parabòlica")				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	26.36	4.34	26.01	17.57 - 39.78
beta10 (°)	28.79	4.24	28.21	20.07 - 41.70
teta28 (°)	33.36	3.46	32.83	25.60 - 45.80
H (m)	762.27	235.52	758.71	300.64 - 1431.80
52 perfils (de 126)				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	27.19	3.86	27.35	17.57 - 37.12
beta (°)	29.90	3.43	29.63	21.73 - 38.27
H (<700m)	536.58	101.12	544.09	300.64 - 699.33
74 perfils (de 126)				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	25.77	4.59	25.13	18.23 - 39.78
beta (°)	28.00	4.59	27.45	20.07 - 41.70
H (>700m)	920.86	161.42	896.61	706.67 - 1431.80
84 perfils (de 126)				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	25.54	3.04	25.54	19.95 - 31,89
beta (°)	28.01	2.97	27.98	22.71 - 33.96
teta28° (<35°)	32.00	2.03	32.32	27.62 - 34.93
42 perfils (de 126)				
	mitja aritm.	desv. estànd.	mediana	rang
alfa (°)	29.83	4.10	30.07	20.65 - 39.78
beta (°)	32.39	3.90	32.88	23.65 - 41.70
teta28° (>35°)	37.17	2.35	36.46	35.10 - 45.80

Taula 7.9.: Estadística descriptiva de les variables primàries  $\alpha$  i  $\beta$ , i els paràmetres topogràfics que he utilitzat en les regressions dels 126 perfils parabòlics i amb zona d'arribada "parabòlica", i en la classificació segons  $\theta$  i H per al tractament conjunt dels perfils parabòlics i amb z.a. "parabòlica".

La classificació segons paràmetres topogràfics que he fet ha estat segons H i segons  $\theta$ . En el primer cas, la intenció ha estat separar els perfils amb molt desnivell dels de poc desnivell. En el segon cas, la intenció ha estat separar els perfils amb zones de sortida poc pendents, on serà més difícil que es desencadenin allaus freqüentment, i els perfils amb zones de sortida molt pendents, on serà més fàcil que es desencadenin allaus freqüentment.

En aquestes taules es poden observar els valors mitjos i rangs de cada paràmetre; se'n pot destacar el valor d' $\alpha$  i el seu rang diferent segons la mostra considerada.

### La modelització per regressió

En aquest apartat presento una selecció de models, obtinguts per regressió lineal, per a l'estimació d' $\alpha$  en els diferents subconjunts o mostres de tipus de perfils topogràfics.

Per a cada grup de perfils presento algunes regressions, el seu coeficient  $R^2$ , la desviació estàndard dels residus  $\sigma$ , i una sèrie de gràfics on es representen per una banda les regressions en cas que siguin bivariades, i per l'altra els valors dels angles  $\alpha$  mesurats, utilitzats per fer la regressió, i els valors d' $\alpha$  estimats a partir de la regressió.

Els millors models els incloc en negreta.

#### **A partir de 64 perfils parabòlics:**

Per a aquesta mostra de perfils he realitzat regressions bivariades entre  $\alpha$  i  $\beta$ , i  $\alpha$  i  $\theta$  (és a dir, entre les variables primàries mesurades en graus).

$$\hat{\alpha} = 1.05 + 0.86\beta$$

$$R^2 = 0.75 \quad \sigma = 1.98^\circ \quad \text{Fig.7.7.}$$

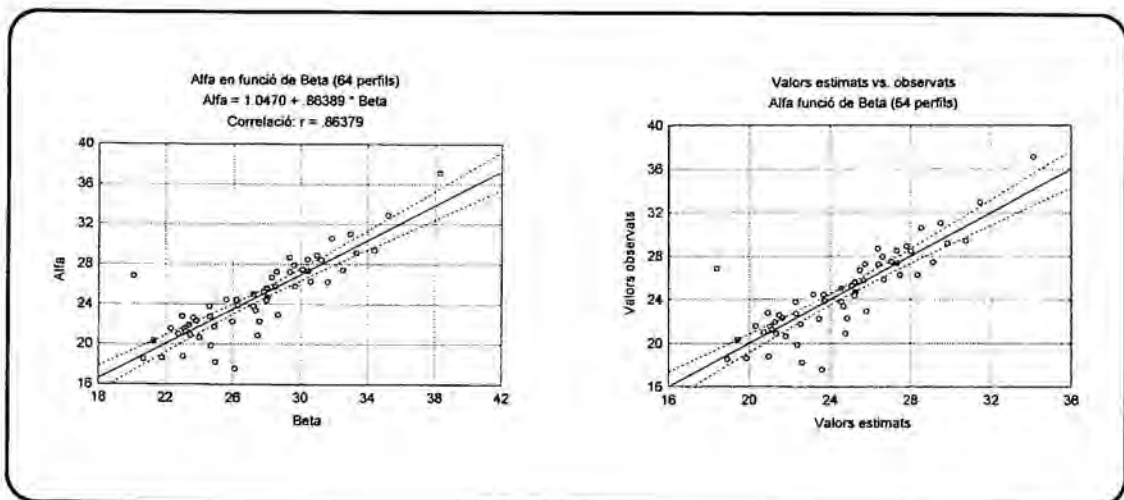


Figura 7.7.: Regressió per a 64 perfils parabòlics.

a) Regressió d'  $\alpha$  en funció de  $\beta$ . b) Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.

$$\alpha = -3.21 + 0.82\theta$$

$$R^2 = 0.50$$

$$\sigma = 2.77^\circ$$

Fig. 7.8.

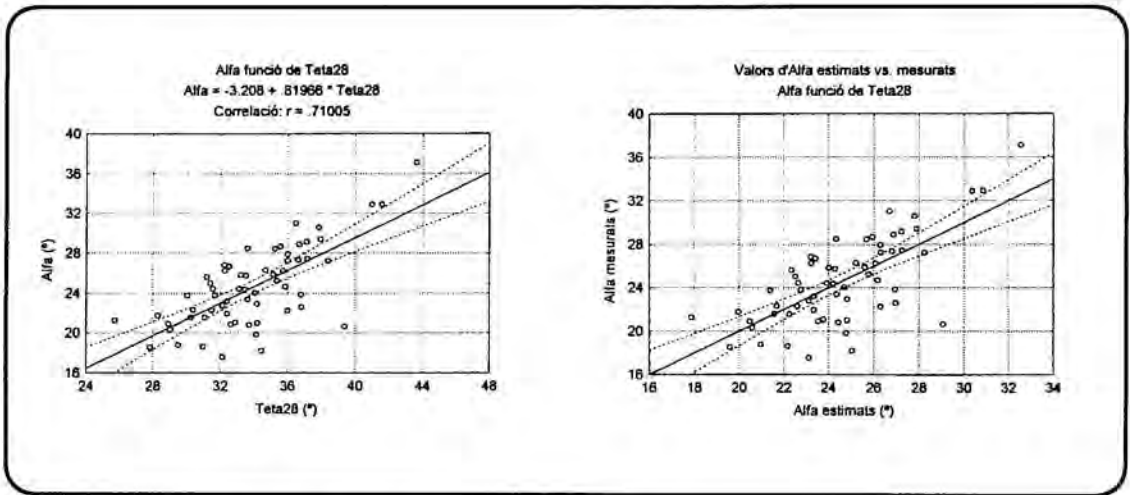


Figura 7.8.: Regressió per a 64 perfils parabòlics.

a) Regressió d'  $\alpha$  en funció de  $\theta$  b) Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.

També he realitzat regressions a partir de la creació de variables secundàries. Les variables secundàries creades han estat les següents ( $y$  ha estat multiplicada per  $10^3$  per a la seva introducció al càlcul dels models):  $Hy^\beta$  ( $^\circ$ ) i  $Hy^\theta$  ( $^\circ$ )

$$\hat{\alpha} = 8.45 + 0.48\beta + 10^{-3} 0.2Hy^\theta$$

$$R^2 = 0.78$$

$$\sigma = 1.85^\circ$$

Fig. 7.9.

$$\hat{\alpha} = 16.252 + 0.093\theta + 10^{-3} 0.5Hy^\beta$$

$$R^2 = 0.76$$

$$\sigma = 1.95^\circ$$

Fig. 7.10.

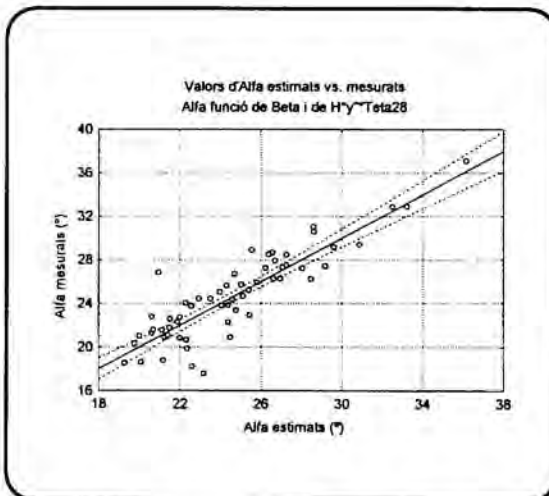


Figura 7.9.: Regressió 64 perfils parabòlics. Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.

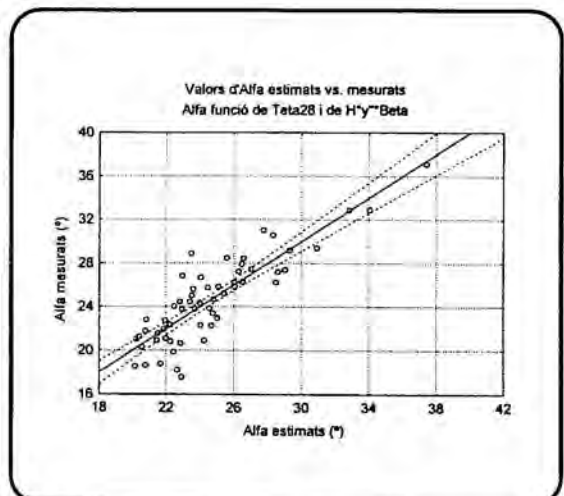


Figura 7.10.: Regressió 64 perfils parabòlics. Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.

**A partir de 62 perfils amb zona d'arribada "parabòlica":**

Per a aquesta mostra de perfils he realitzat regressions bivariades entre  $\alpha$  i  $\beta$ , i  $\alpha$  i  $\theta$ .

$$\hat{\alpha} = -0.03 + 0.94\beta \quad R^2 = 0.94 \quad \sigma = 1.01^\circ \quad \text{Fig.7.11.}$$

$$\hat{\alpha} = -4.06 + 0.97\theta \quad R^2 = 0.75 \quad \sigma = 2.06^\circ \quad \text{Fig.7.12.}$$

$$\hat{\alpha} = -0.24 + 0.92\beta + 0.020\theta \quad R^2 = 0.94 \quad \sigma = 1.01^\circ$$

En les dues últimes equacions,  $\theta$  ha resultat ser un estimador amb molt poca significació estadística.

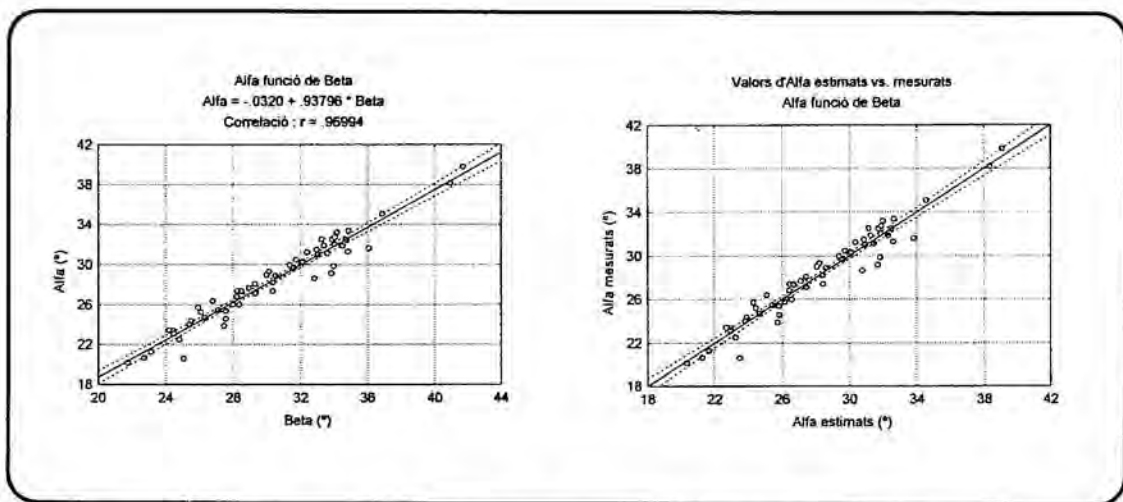


Figura 7.11.: Regressió per a 62 perfils amb zona d'arribada "parabòlica".

a) Regressió d'  $\alpha$  en funció de  $\beta$ . b) Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.

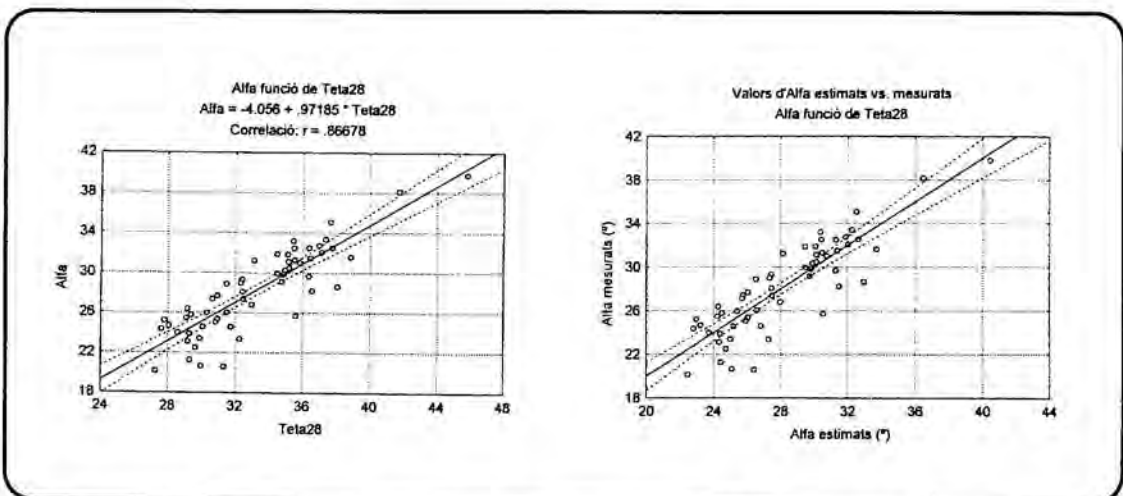


Figura 7.12.: Regressió per a 62 perfils amb zona d'arribada "parabòlica".

a) Regressió d'  $\alpha$  en funció de  $\theta$ . b) Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.



### A partir de 126 perfils parabòlics i amb zona d'arribada "parabòlica":

Per tal de disposar d'una mostra més gran, i tenint en compte que la morfologia de la zona d'arribada és similar, he considerat conjuntament els perfils parabòlics i els perfils amb zona d'arribada "parabòlica".

Per a aquesta mostra més gran he fet la regressió d' $\alpha$  en funció de  $\beta$ , ja que considero que la resta de variables derivades dels paràmetres topogràfics H i  $y$  no són representatives de la totalitat dels perfils de la mostra (vegeu apartat 7.4.1.).

$$\hat{\alpha} = -0.70 + 0.94\beta \quad R^2 = 0.84 \quad \sigma = 1.73^\circ \quad \text{Fig.7.13.}$$

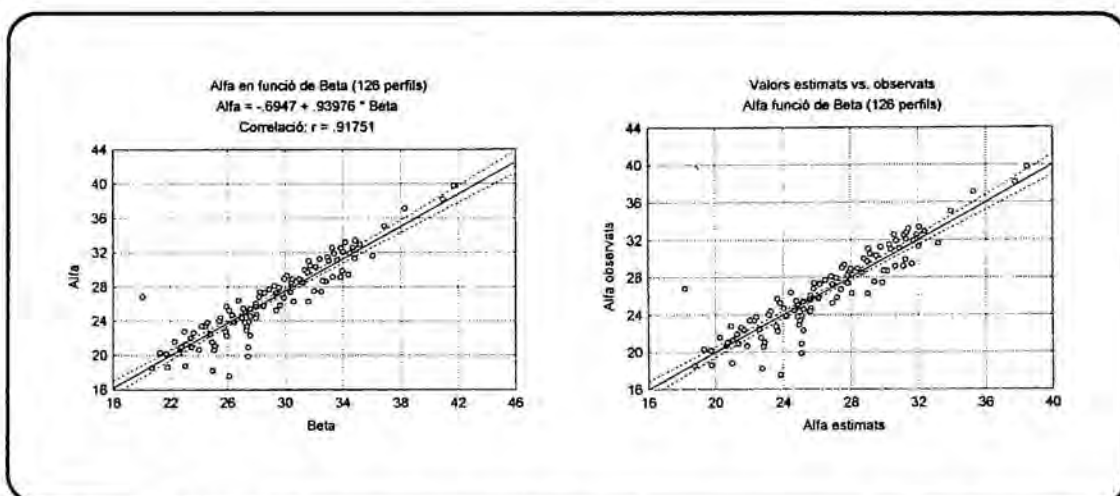


Figura 7.13: Regressió per a 126 perfils parabòlics i amb zona d'arribada "parabòlica".  
a) Regressió d'  $\alpha$  en funció de  $\beta$ . b) Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.

A més, per a aquesta mostra he fet una classificació en funció dels paràmetres  $\theta$  i H. Aquesta classificació l'he feta per veure si en classificar els perfils s'obtenen millors resultats. Les classificacions realitzades i els resultats obtinguts són els següents:

Per a  $\theta < 35^\circ$   
 $\hat{\alpha} = 0.99 + 0.99\beta \quad R^2 = 0.67 \quad \sigma = 1.89^\circ \quad (N = 84)$

Per a  $\theta \geq 35^\circ$   
 $\hat{\alpha} = -2.30 + 0.99\beta \quad R^2 = 0.89 \quad \sigma = 1.36^\circ \quad (N = 42)$

Per a  $H < 700\text{m}$   
 $\hat{\alpha} = -3.12 + 1.01\beta \quad R^2 = 0.81 \quad \sigma = 1.68^\circ \quad (N = 52)$

Per a  $H \geq 700\text{m}$   
 $\hat{\alpha} = -0.12 + 0.93\beta \quad R^2 = 0.86 \quad \sigma = 1.75^\circ \quad (N = 74)$

### A partir de 56 perfils amb zona d'arribada amb ruptura brusca:

Per a aquesta mostra de perfils he realitzat regressions bivariables entre  $\alpha$  i  $\beta$ , i  $\alpha$  i  $\theta$ .

$$\hat{\alpha} = -1.02 + 0.97\beta \quad R^2 = 0.87 \quad \sigma = 1.94^\circ \quad \text{Fig.7.14.}$$

$$\hat{\alpha} = -3.04 + 0.96\theta \quad R^2 = 0.51 \quad \sigma = 3.85^\circ \quad \text{Fig.7.15.}$$

$$\hat{\alpha} = -1.73 + 0.94\beta + 0.05\theta \quad R^2 = 0.87 \quad \sigma = 1.96^\circ$$

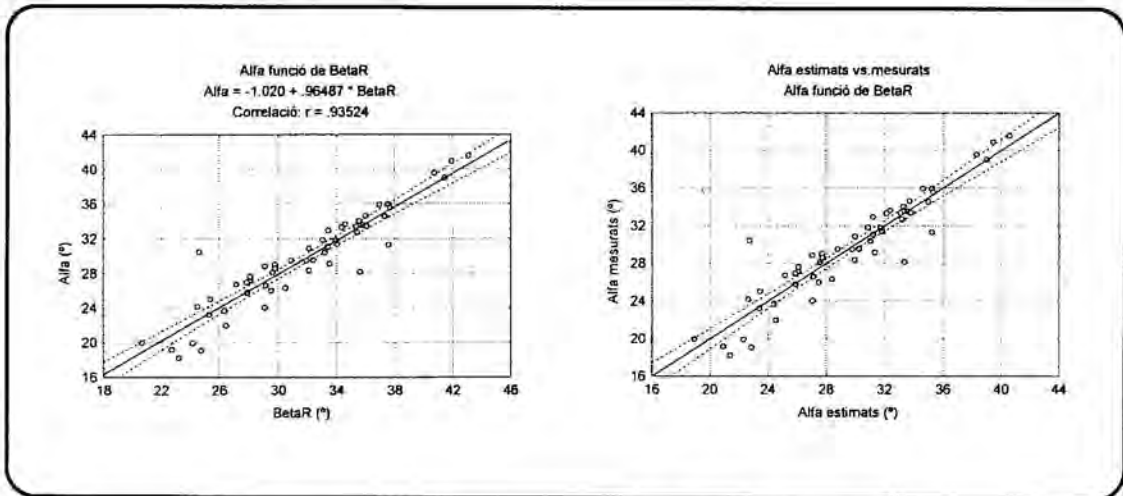


Figura 7.14.: Regressió per a 56 perfils amb zona d'arribada amb ruptura brusca.

a) Regressió d'  $\alpha$  en funció de  $\beta$ . b) Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.

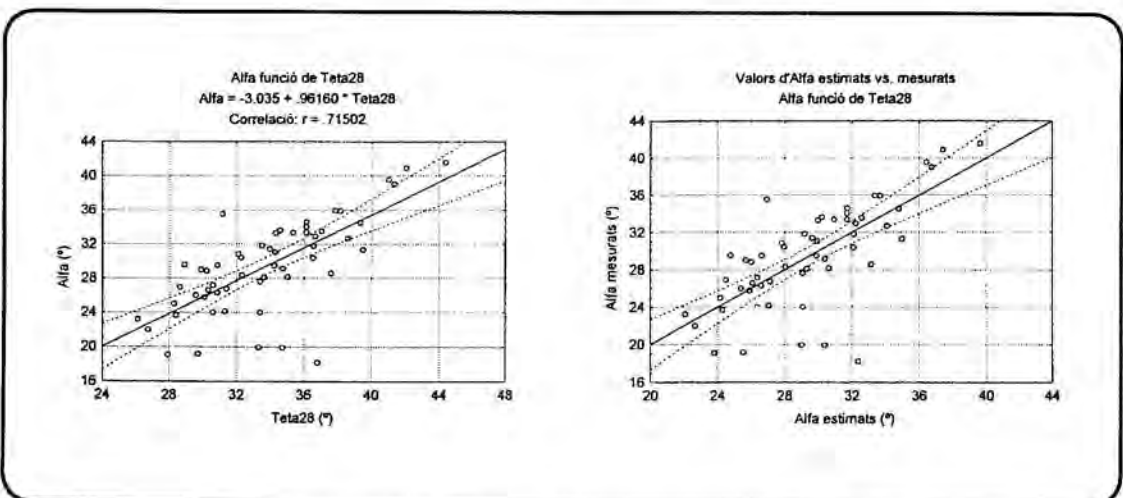


Figura 7.15.: Regressió per a 56 perfils amb zona d'arribada amb ruptura brusca.

a) Regressió d'  $\alpha$  en funció de  $\theta$ . b) Representació gràfica dels valors d' $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d' $\alpha$  estimats a partir del model.

A partir dels 216 perfils: parabòlics, amb z.a. "parabòlica" i amb z.a. amb ruptura brusca:

Per a aquesta mostra de perfils he realitzat la regressió bivariàble entre  $\alpha$  i  $\beta$ . Considero que tots els angles  $\beta$ , inclosos els  $\beta_R$ , són comparables, ja que tenen el mateix sentit de gradient del trajecte de l'allau fins a l'inici de la zona d'arribada.

El resultat és el següent:

$$\hat{\alpha} = -1.20 + 0.97\beta$$

$$R^2 = 0.87 \quad \sigma = 1.74^\circ \quad \text{Fig.7.16.}$$

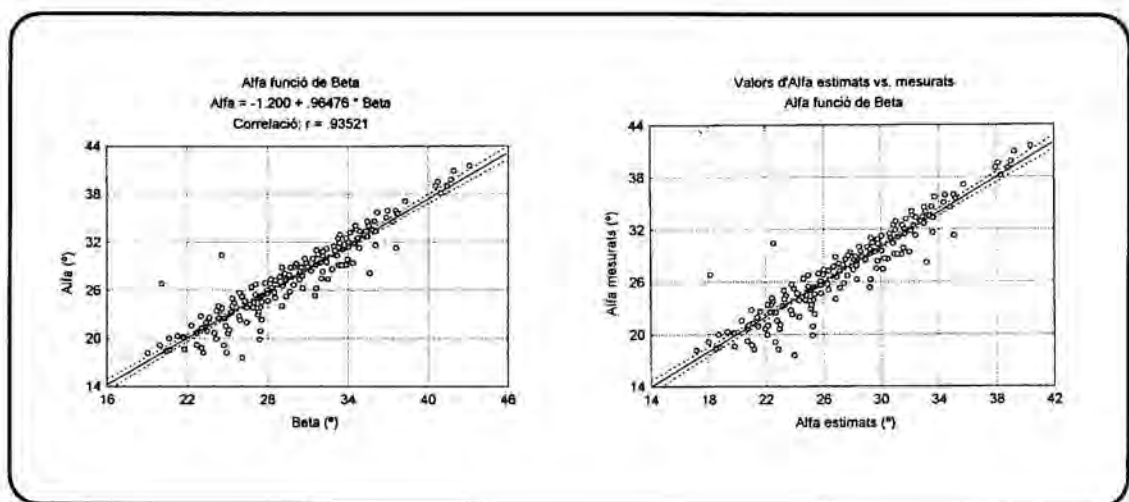


Figura 7.16.: Regressió per als 216 perfils preseleccionats.

a) Regressió d'  $\alpha$  en funció de  $\beta$ . b) Representació gràfica dels valors d'  $\alpha$  introduïts per al càlcul del model, i dels valors d'  $\alpha$  estimats a partir del model.

### Estimació de m.z.a. no conegudes o aplicació dels models

Una qüestió important és veure fins a quin punt aquests models poden predir acuradament les m.z.a. desconegudes de zones d'allaus.

Tot fent una primera aproximació i assumint, com Lied i Bakkehoi (1980) que la zona d'arribada és horitzontal, es pot expressar la diferència  $\Delta L$  com:

$$\Delta L = L - L' = H (1 / \tan \alpha - 1 / \tan (\alpha + \Delta\alpha)) \quad (\text{on } L = \text{desplaçament horitzontal total})$$

Si, també com a aproximació, considerem  $\Delta\alpha = 1$  desviació estàndard (tot considerant, lògicament la desviació estàndard dels residus de cada model), podem fer diverses aproximacions, tot utilitzant els millors models obtinguts (tot i que les aproximacions les faig fins al cm, cal tenir en compte que les dades de partida son extretes de mapes a escala 1:50.000, en els que s'aprecien clarament les desenes de m):

- **Suposem un perfil amb  $\beta = 28^\circ$  i  $H = 750$  m:**

(zona d'allau de l'ordre de 1600 m de longitud):

Si el perfil és parabòlic:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= 25.24^\circ \pm 1.98^\circ & \text{d'on } L &= 1591.24 \text{ m} + 154.18 \text{ m} \\ & & \text{i } L &= 1591.24 \text{ m} - 133.08 \text{ m}; \\ & & \text{llavors la variació d'L} &= 287.26 \text{ m} \end{aligned}$$

287.26 m  $\approx$  un error d'un18 % en l'estimació de la longitud total de la zona d'allau.

Suposa una imprecisió d'uns 6 mm sobre un mapa 1:50.000

Si, per al mateix perfil parabòlic considerem  $y' = 0.5$ ;  $\theta = 35^\circ$

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= 25.29^\circ \pm 1.85^\circ & \text{d'on } L &= 1587.46 \text{ m} + 142.37 \text{ m} \\ & & \text{i } L &= 1587.46 \text{ m} - 124.10 \text{ m}; \\ & & \text{llavors la variació d'L} &= 266.80 \text{ m} \end{aligned}$$

266.80 m  $\approx$  un error d'un17 % en l'estimació de la longitud total de la zona d'allau.

Suposa una imprecisió d'uns 5 mm sobre un mapa 1:50.000

Si el perfil és amb zona d'arribada parabòlica:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= 25.62^\circ \pm 1.73^\circ & \text{d'on } L &= 1564.08 \text{ m} + 129.59 \text{ m} \\ & & \text{i } L &= 1564.08 \text{ m} - 114.21 \text{ m}; \\ & & \text{llavors la variació d'L} &= 243.80 \text{ m} \end{aligned}$$

243.80 m  $\approx$  un error d'un15 % en l'estimació de la longitud total de la zona d'allau.

Suposa una imprecisió d'uns 5 mm sobre un mapa 1:50.000

Si el perfil és amb zona d'arribada amb ruptura brusca:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= 28.04^\circ \pm 1.94^\circ & \text{d'on } L &= 1408.17 \text{ m} + 122.77 \text{ m} \\ & & \text{i } L &= 1408.17 \text{ m} - 108.17 \text{ m}; \\ & & \text{llavors la variació d'L} &= 230.94 \text{ m} \end{aligned}$$

230.94 m  $\approx$  un error d'un14.5 % en l'estimació de la longitud total de la zona d'allau.

Suposa una imprecisió d'uns 4-5 mm sobre un mapa 1:50.000

Si la m.z.a. s'estima amb el model obtingut per al conjunt de les 216 allaus:

$$\hat{\alpha} = 25.81^\circ \pm 1.74^\circ \quad \text{d'on} \quad L = 1550.51 \text{ m} + 128.49 \text{ m}$$
$$i \quad L = 1550.51 \text{ m} - 113.21 \text{ m};$$
$$\text{llavors la variació d'L} = 241.70 \text{ m}$$

241.70 m  $\approx$  un error d'un 15 % en l'estimació de la longitud total de la zona d'allau.

Suposa una imprecisió d'uns 5 mm sobre un mapa 1:50.000

De tot això se'n desprèn una primera constatació: els perfils amb z.a. amb ruptura brusca són més abruptes i més pendents que els perfils amb z.a. "parabòlica" i que aquests són, alhora, més abruptes i més pendents que els perfils parabòlics (fet ja observat i reflectit a la fig. 7.6.)

Per tant, si s'aplica el model més general a un perfil, si aquest és aproximadament parabòlic, la seva z.a. serà **lleugerament infraestimada**, i si és amb z.a. amb ruptura brusca, **serà sobreestimada**. De tota manera, aquesta infraestimació o sobreestimació pot representar al voltant d'1 mm sobre un mapa a escala 1:50.000.

- **Suposem un perfil amb  $b = 28^\circ$  i  $H = 1400$  m:**

(zona d'allau de l'ordre de 3000 m de longitud):

Si el perfil és parabòlic:

$$\hat{\alpha} = 25.24^\circ \pm 1.98^\circ \quad \text{d'on} \quad L = 2970.32 \text{ m} + 287.81 \text{ m}$$
$$i \quad L = 2970.32 \text{ m} - 248.42 \text{ m};$$
$$\text{llavors la variació d'L} = 536.23 \text{ m}$$

Suposa una imprecisió d'uns 11 mm sobre un mapa 1:50.000, que és molt important.

Si la m.z.a. s'estima amb el model obtingut per al conjunt de les 216 allaus:

$$\hat{\alpha} = 25.81^\circ \pm 1.74^\circ \quad \text{d'on} \quad L = 2894.35 \text{ m} + 239.19 \text{ m}$$
$$i \quad L = 2894.35 \text{ m} - 211.39 \text{ m};$$
$$\text{llavors la variació d'L} = 450.58 \text{ m}$$

Suposa una imprecisió d'uns 9 mm sobre un mapa 1:50.000, que és molt important.

Tot i que aquestes aproximacions indiquen, de fet, un ordre de magnitud, es pot concloure el següent:

Mentre que per a zones d'allaus amb desnivells mitjans ( $\approx 750$  m) els models donen uns resultats relativament similars i acceptables quan les m.z.a. són situades sobre un mapa, a mesura que el desnivell augmenta, el grau de precisió en la localització sobre el mapa disminueix i, per tant, els resultats obtinguts amb els models deixen de ser una ajuda per a la cartografia acurada.

## 7.5. CONSIDERACIONS I CONCLUSIONS

D'aquest treball se'n desprenen una sèrie de consideracions i conclusions, que es poden resumir bàsicament en set punts:

1.- Respecte a la utilització d'aquests models, cal deixar molt clar de cara als possibles usuaris les possibles deficiències i **limitacions de les dades utilitzades en l'elaboració dels models**. En aquest sentit, i en el cas d'aquest treball, les limitacions existents i imposades a priori han estat les següents:

- **Dades topogràfiques a escala 1:50.000, al límit de la resolució acceptable** en aquest tipus de treball, que limiten la precisió amb la que poden ser obtinguts els paràmetres topogràfics que serveixen per elaborar els models.
- **Desconeixement dels períodes de retorn de les allaus considerades en l'elaboració dels models**. La manca de dades històriques fa que aquests períodes puguin oscil·lar entre 30 anys (amb zona d'arribada més reduïda) i 100 anys (amb m.z.a. més extensa i llarga). Això implica que **les m.z.a. calculades a partir dels models poden resultar lleugerament infraestimades**.
- Es realitza una selecció prèvia de les zones d'allaus a tractar amb criteris de no confinament ni presència d'obstacles topogràfics a la zona d'arribada. A més, en aquest treball he desestimat les allaus amb  $H < 300$  m i les que remunten pel vessant oposat.

**Si s'apliquen estrictament els criteris establerts per Lied i Bakkehoi (1980), la mostra de les zones d'allaus seleccionades no és representativa de les zones d'allaus de l'àrea d'estudi.**

De tota manera, als models no he incorporat una representació de totes les diferents zones d'allaus, per tant, **no totes les possibles zones d'allaus poden ser estimades a partir d'aquests models.**

**2.- Dels 307 perfils d'allaus preseleccionats només n'he pogut tractar 216**, és a dir, d'una mostra ja parcial en el seu origen, **només un 70% pot ser tractada**. Aquests 216 perfils els he hagut de classificar per tractar-los per separat, amb el següent resultat:

64 perfils parabòlics:	20.85% del total (307 perfils)
62 perfils amb zona d'arribada "parabòlica":	20.20% del total (307 perfils)
56 perfils amb zona d'arribada amb ruptura brusca:	18.24% del total (307 perfils)
[34 perfils difícilment classificables:	11.07% del total (307 perfils)]
<b>Total: 216 perfils tractables:</b>	<b>70.36% del total (307 perfils)</b>

Això dóna una idea de la representativitat dels models que s'obtenen a partir d'aquests grups de perfils.

**3.- Els paràmetres topogràfics H i y" només són vàlids per als perfils parabòlics.** Per a la resta de perfils (70.37% dels 216 tractables) aquests paràmetres no tenen sentit, ja que la millor paràbola ajustada al perfil, encara que presenta una correlació molt bona amb aquest, no n'és representativa:

- El desnivell H del perfil no és assimilable al desnivell entre el punt més alt de la zona de sortida i el vèrtex de la paràbola, i aquest segon desnivell no sembla, a primera vista, que guardi relació amb el perfil.
- y" deixa de ser representativa del radi de curvatura del perfil.

**4.- He obtingut diferents models** pel mètode de regressió lineal, per a cada una de les classes de perfils:

64 perfils parabòlics:			
$\hat{\alpha} = 1.05 + 0.86\beta$	$R^2 = 0.75$	$\sigma = 1.98^\circ$	
$\hat{\alpha} = 8.45 + 0.48\beta + 10^{-3} 0.2Hy''\theta$	$R^2 = 0.78$	$\sigma = 1.85^\circ$	
La segona equació millora lleugerament l'estimació d' $\alpha$ .			

62 perfils amb zona d'arribada "parabòlica":

$$\hat{\alpha} = -0.03 + 0.94\beta \quad R^2 = 0.94 \quad \sigma = 1.01^\circ$$

56 perfils amb zona d'arribada amb ruptura brusca:

$$\hat{\alpha} = -1.02 + 0.97\beta \quad R^2 = 0.87 \quad \sigma = 1.94^\circ$$

Dels 216 perfils tractats conjuntament se n'obté:

$$\hat{\alpha} = -1.20 + 0.97\beta \quad R^2 = 0.87 \quad \sigma = 1.74^\circ$$

Lògicament, es produeixen lleugeres diferències en l'estimació d' $\alpha$  per a la mateixa àrea d'estudi. Aquestes diferències venen donades per:

- El nombre de perfils de cada mostra (amb 216 perfils es milloren, des del punt de vista de significació estadística, tots els models excepte 1).
- La homogeneïtat entre els perfils d'una mateixa mostra i les seves diferències amb els de les altres mostres.

**Per al model realitzat a partir de 216 perfils, les m.z.a. dels perfils parabòlics resulten una mica infraestimades i les m.z.a. dels perfils amb z.a. amb ruptura brusca resulten lleugerament sobreestimats.** De tota manera, aquesta infraestimació o sobreestimació pot representar al voltant d'1 mm sobre un mapa a escala 1:50.000. Per tant, qualsevol dels tres tipus de perfil pot ser tractat amb aquest model sense que hi hagi una pèrdua de resolució excessiva en traslladar el resultat sobre un mapa a escala 1:50.000.

També he constatat que els perfils amb z.a. amb ruptura brusca són una mica més abruptes i més pendents que els perfils amb z.a. "parabòlica" i que aquests són, alhora, més abruptes i més pendents que els perfils parabòlics. Probablement, doncs, la diferència entre les distàncies d'arribada assolides per allaus amb períodes de retorn de 30 anys (que permeten la recuperació del bosc) i 100 anys sigui més llarga per als perfils parabòlics que per a la resta de perfils. Com que segur que en aquests models he incorporat "m.z.a." representatives de períodes de retorn entre 30 i 100 anys, potser això pot explicar, en part, que el model obtingut per als perfils parabòlics no sigui tan bo com els altres.

Per al conjunt de 126 perfils parabòlics i amb zona d'arribada "parabòlica", el model que crec que té més rellevància és:

$$\text{per a } \theta \geq 35^\circ: \quad \hat{\alpha} = -2.297 + 0.992\beta \quad R^2 = 0.89 \quad \sigma = 1.36^\circ$$

Per a perfils amb zones de sortida amb pendents forts, les m.z.a. són més curtes que per a perfils amb zones de sortida amb pendents febles. Lògicament, l'allau es desencadenarà abans en els vessants més pendents i la massa de neu involucrada serà menor que en vessants amb pendents més suaus (Lied i Bakkehoi, 1980). Si prenc la discussió de més amunt,



respecte a les distàncies assolides per allaus amb períodes de retorn entre 30 i 100 anys, s'explica, en part, que si es separen els perfils segons aquest criteri, la regressió millori sensiblement (alhora que empitjora per a  $\theta < 35^\circ$ ).

**5.- La variable independent  $\beta$  és, en tots els casos, la que millor explica la variable a estimar  $\alpha$ .**

**6.- Els models per regressió obtinguts depenen força de la morfologia dels perfils utilitzats en cada cas**, que està condicionat pel modelat heretat de l'última glaciació quaternària i, en menor grau, per l'evolució postglacial del relleu. Aquest fet obre una línia de treball que comento al pròxim apartat.

**7.- Un tractament el màxim d'objectiu possible ha de poder ser el màxim d'automatitzat.** En aquest sentit, al llarg d'aquest treball han anat sorgint una sèrie de **limitacions per fer un tractament completament automatitzat**, que es concreten en les següents:

- En aquest treball i per limitacions apriorístiques d'escala, existeixen segments amb pendent de  $0^\circ$ . Aquests segments sovint poden estar localitzats en el sector pròxim al punt teòric de  $10^\circ$ , i poden desvirtuar la localització i càlcul de  $\beta$ .

A més, tot fent una correcció automàtica he introduït un nou error, ja que els segments de  $0^\circ$  generats a partir de triangles plans en incisions els he considerat com si corresponguessin a cons de dejecció.

Aquest problema és fàcilment resoluble si es disposa de dades topogràfiques amb millor resolució.

- **Ben sovint, en un perfil existeixen diversos punts de  $10^\circ$** , o millor dit, diversos punts on, teòricament el perfil ha de tenir  $10^\circ$ , ja que els segments traçats entre els parells de coordenades consecutius tenen un pendent superior i inferior a aquests  $10^\circ$ .

En un tractament automatitzat això implica:

- l'eliminació de molts perfils si es posa la condició que només hi pot haver un punt de  $10^\circ$ ;
- l'eliminació de molts perfils si es posa la condició que el punt de  $10^\circ$  ha d'estar dins d'un interval definit a partir de la millor paràbola ajustada al perfil.

Això implica que **hi ha una necessitat no resolta de trobar un mètode automàtic que permeti la delimitació aproximada de la zona d'arribada per als perfils no parabòlics i amb més d'un punt de  $10^\circ$ .**

## 7. 6 PERSPECTIVES.

Respecte a la utilització de models estadístics al Pirineu de Catalunya, les perspectives passen per: 1) la millora de les dades, 2) facilitar la seva aplicació tot integrant-los en un S.I.G., 3) l'aplicació del mètode basat en la predicció per valors extrems (McClung i Lied, 1987; McClung et al., 1989; McClung i Mears, 1991), i 4) un canvi d'enfoc que permeti el tractament de tots els tipus de zones d'allaus, siguin més o menys regulars.

1) La millora de les dades s'ha de considerar en dos sentits:

- Millora de les  $\alpha$  que s'introdueixen per elaborar els models, a partir de la millora del cadastre; és a dir, caldria reelaborar els models presentats i fer-ne altres de més complexos (si cal), a mesura que es coneixen màximes zones d'arribada més acuradament (per descobriment de nous registres històrics o perquè es produeixen allaus que destrueixen massa forestal ben desenvolupada). Una possibilitat és la realització d'estudis dendrocronològics que permetin afinar millor les m.z.a. i els períodes de retorn d'algunes allaus significatives.

- Millora de les dades topogràfiques; aquesta millora és desitjable tant si els perfils topogràfics s'elaboren manualment com si s'extreuen d'un model digital d'elevació o una superfície funcional (per mitjà, per exemple, de l'ús d'ArcInfo). Això permetria una localització més precisa del punt on el vessant té un pendent de  $10^\circ$ , així com el càlcul més precís de qualsevol altre paràmetre topogràfic. En aquest sentit, es podrien utilitzar Models Digitals d'Elevació detallats, ja disponibles a l'ICC.

2) Respecte a facilitar l'aplicació dels models, en el cas de Catalunya, en què l'organisme responsable de la cartografia d'allaus és el Servei Geològic (I.C.C.), el pas més immediat és el d'integrar l'equació de regressió més general (la que permet tractar més tipus de perfils) en el S.I.G., de tal manera que en indicar un perfil topogràfic s'obtingui la màxima zona d'arribada i el valor de l'interval de confiança.

3) Podria ser útil fer un model basat en la predicció per valors extrems (McClung i Lied, 1987; McClung et al., 1989; McClung i Mears, 1991; Adjel, 1994), comparar els seus resultats amb els models obtinguts tot utilitzant el mètode Noruec i veure quin dels dos dóna millors aproximacions.

4) En aquest punt voldria fer una reflexió una mica més general. Penso que, en general, cal un treball interdisciplinari més estret entre els experts en cartografia de zones d'allaus i experts en estadística i, potser, en morfometria.

Tot i que el mètode de predicció per valors extrems en principi permet tractar més perfils de zones d'allaus que el mètode Noruec en sentit estricte, com ja s'ha comentat en aquest treball i en altres treballs anteriors (Berthier, 1986; Adjel, 1994; Adjel, 1995) aquests mètodes postulen l'existència d'un "punt  $\beta$ " i, a més, que aquest punt és únic per a un perfil donat. Com ja s'ha vist, això, que és vàlid per als perfils de tipus parabòlic, es troba lluny de la realitat per a la major part de casos.

Una possibilitat, doncs, seria estudiar els tipus de perfils per als quals l'assimilació a una paràbola no és significativa, encara que sigui bona en termes d'ajust d'una funció.

Coneguts els diferents tipus de perfils topogràfics, s'hauria d'elaborar un mètode que permetés definir automàticament un interval en el perfil per al qual el punt més pròxim a  $10^\circ$  fos el punt significatiu per al càlcul de  $\beta$ . També es podria revisar si hi ha altres pendents que donen millors resultat que el de  $10^\circ$ .

Sense un mètode automàtic fiable de determinació de l'angle  $\beta$ , sempre farà falta el treball d'un expert per localitzar el punt al voltant del qual es produeix el trànsit entre la zona de trajecte i la zona d'arribada de l'allau.

A més, si es té en compte que les irregularitats topogràfiques a la zona de desacceleració de l'allau poden modificar molt la m.z.a. (sobretot a les parts més distals), caldria fer especial atenció a aquest sector del perfil. Es podria definir algun tipus de paràmetre descriptiu de la irregularitat o sinuositat de la zona d'arribada (considerada en sentit ampli) que pogués ser inclòs als models. Una aproximació empírica en aquest sentit es podria basar en l'estudi de la distribució dels residus d'una funció que s'ajustés raonablement bé al perfil de la zona d'arribada (J. Corbera, com.pers.).

Tot i que aquestes últimes consideracions són poc definides i el seu desenvolupament no és gens trivial, crec que l'avenç de mètodes empírics de càlcul de m.z.a. s'ha de basar sobretot en la incorporació de mètodes que permetin tractar la màxima diversitat de zones d'allaus d'una manera el més automàtica possible i, per tant, aplicar els models tan independentment d'un expert com sigui possible. Mentre sigui necessari el treball d'un expert en l'elecció i càlcul dels paràmetres topogràfics (per exemple del "punt  $\beta$ "), els models (i també la seva aplicació) estaran subjectes a un grau de subjectivitat considerable i, per tant, lluny d'una de les principals premisses que ens justifiquen la seva utilització.

També cal recordar que en aquests treballs es parteix del presupòsit que la zona de sortida és ben coneguda o que es pot aproximar molt bé per mètodes clàssics (fotointerpretació, reconeixement de terreny). En aquest sentit, els treballs en la línia de Borrel (1995), amb l'objectiu de localitzar i delimitar les zones de sortida de la manera més automàtica possible mitjançant l'utilització d'un S.I.G. és també molt important i clarament complementària.

Per altra banda i des d'un punt de vista més geològic i d'explotació de S.I.G., crec que seria interessant fer una classificació dels perfils en funció del substrat geològic sobre el que es troben (quan es disposi del mapa geològic a una escala adequada incorporat al S.I.G. de l'I.C.C., per exemple), i calcular novament les equacions de regressió d' $\alpha$  en funció de  $\beta$ .

Com ja he comentat, la morfologia dels vessants on es produeixen les allaus està fortament condicionada pel modelat glacial quaternari, i aquest presenta característiques ben diferenciades segons el tipus de substrat sobre el que s'instal·len les glaceres.

Per tant, m'atreveixo a aventurar que la classificació de les zones d'allau segons el substrat (que, en definitiva és un indicador de la morfologia del vessant), pot donar resultats força bons.

## **8. CONCLUSIONS**

Al llarg de tota aquesta Tesi he anat exposant conclusions dels diferents aspectes que tracto al treball.

Al capítol 3 he comentat la utilitat de les cartografies i registres de zones d'allaus obtinguts.

Al capítol 4 he presentat diversos resultats parcials, com la simplificació i resolució de les cobertores de topografia i l'estructuració de la base de dades d'allaus en ArcInfo; he fet una valoració del mòdul de restitució d'ArcInfo i, a l'annex 2, incloc els mapes resultants.

Al capítol 5 he presentat i avaluat el millor model tin que he pogut obtenir tot tenint en compte les característiques del treball a realitzar en els capítols posteriors. Als annexos 3 i 4 presento el resultat gràfic de la utilització del tin, en forma de mapes d'orientacions i de pendents i de gràfics dels perfils topogràfics de les zones d'allaus tractades al capítol 7.

Al capítol 6 incloc un apartat complet de conclusions respecte a l'anàlisi realitzada tot creuant les dades d'allaus amb les d'orientacions i pendents.

Al capítol 7 també incloc un apartat de presentació dels millors models estadístics obtinguts i conclusions.

En aquest capítol, doncs, pretenc presentar de forma sintètica els principals resultats i conclusions als que he arribat.

### **8.1. CONCLUSIONS RESPECTE A LA METODOLOGIA D'OBTENCIO I REPRESENTACIO DE DADES D'ALLAUS.**

- La metodologia de treball utilitzada (fotointerpretació, reconeixement de camp i enquesta a la població) resulta molt adequada donades les dimensions i característiques del fenomen natural a cartografiar, ja que cada una de les etapes complementa l'altra.

- En la representació de les dades cartogràfiques i en l'estructuració del banc de dades en el S.I.G. ArcInfo és molt important reflectir l'origen de la informació, és a dir, si les dades han estat obtingudes per fotointerpretació, per reconeixement sobre el terreny o per enquesta a la població.

En aquest sentit i per evitar al màxim que cada cartògraf pugui aplicar criteris subjectius, és fonamental no barrejar informacions i mantenir un criteri estricte si se'n volen agrupar algunes, com en el cas d'aquest treball:

amb carabassa: informació obtinguda per fotointerpretació

amb lila: informació obtinguda per reconeixement de camp + enquesta.

- Els documents cartogràfics obtinguts són **mapes de zonificació del perill natural de les allaus**, en els que es localitzen les envoltants de totes les possibles allaus que s'han produït en una zona d'allaus concreta.

## 8.2. CONCLUSIONS RESPECTE A LA IMPLEMENTACIO DE LES DADES D'ALLAUS AL S.I.G. ARCINFO

- De cara a optimitzar l'espai de disc ocupat i el temps de càlcul en processos posteriors és molt important controlar la resolució de les cobtores de topografia.

En el cas d'aquest treball, he pogut simplificar les cobtores tot aplicant una tolerància weed = 5 metres. Amb això he pogut reduir el nombre de punts que les constitueixen aproximadament a la meitat sense perdre pràcticament gens de resolució.

- En la creació de la base de dades georeferenciades de les zones d'allaus cal tenir en compte l'origen de la informació. Tot i que el procés d'adquisició de dades esdevé més llarg, és més que recomanable separar en diferents cobtores la informació areal de la linial i la informació en carabassa de la informació en lila, ja que la base de dades resulta més ben estructurada i més senzilla.

Tot i així, per al cas de les zones d'allaus és necessària la introducció del concepte de regió (encara no utilitzat en aquest treball) de cara a la correcta codificació dels polígons d'allaus.

- Respecte als mòduls d'edició i restitució de les dades cartogràfiques (ArcEdit i ArcPlot), cal dir que en ambdós casos la seva utilització resulta farragosa, lenta i molt pesada. Cal un treball extremadament metòdic per obtenir resultats acceptables, realitzat a base de l'escriptura ben ordenada de comandes.

Es per aquest motiu que, en general, per editar s'utilitzen altres programes de disseny assistit per ordinador, com AUTOCAD (usat en aquest treball).

Per a la restitució, la utilització de nous programes compatibles amb ArcInfo, de l'estil d'ArcView, poden suposar una gran ajuda, alhora que un incentiu per a la utilització d'aquest S.I.G., ja que poden facilitar enormement la presentació de resultats.

El mòdul ArcPlot té un gran avantatge sobre molts programes de disseny gràfic: permet controlar exactament l'escala de sortida dels mapes quan es fa la restitució sobre paper.

- En la generació de tins, cal tenir en compte la resolució de les dades topogràfiques de partida i de les dades resultants, sobretot quan es vol treballar amb objectes petits (zones d'allaus) situats en àrees molt extenses (fulls topogràfics 1:50 000). És, doncs, imprescindible, l'aplicació de mètodes de verificació de la bondat dels tins.

Els mètodes de verificació que he utilitzat són la representació dels triangles plans dels tins, i la generació de noves corbes de nivell i la seva superposició a les corbes originals.

El millor tin l'he obtingut a partir de les cobertores de corbes de nivell simplificades (tolerància weed = 5 metres) i sense línies de ruptura en tàlvegs ni carenes.

La resolució adequada per a la generació de perfils topogràfics de les zones d'allaus a partir dels tins l'he obtinguda amb un interval de mostreig de 10 metres.

### **8.3. CONCLUSIONS RESPECTE A L'EXPLOTACIO DE LA CARTOGRAFIA NUMERICA.**

- La superfície real de l'àrea estudiada és de l'ordre del 20% superior a la mateixa àrea planimètrica. Aquest fet ressalta l'interès d'utilitzar l'anàlisi de superfícies (S.I.G.) en àrees de muntanya, tant en l'estudi i avaluació de fenòmens naturals com en la seva aplicació en la Planificació Territorial.

- La superfície afectada per allaus és d'un 40% a un 60% de la superfície real. Per a l'àrea > 1500 m la superfície afectada per allaus és sempre superior al 50% de la superfície real (excepte en casos locals, com el de la vall de Valarties).
- L'existència de grans vessants (amb desnivells de l'ordre de 800 a 1000m) relativament regulars, que són afectats per grans allaus, és el que fa augmentar més considerablement el % de superfície afectada per allaus. Per contra, a les àrees d'alta muntanya, caracteritzades per l'existència de nombrosos circs glacials (molts amb fons plans) i vessants més irregulars i sense tant desnivell, tot i que la innivació és més abundant i les allaus més freqüents, el % de superfície afectada per les allaus és menor (cas del full d'Esterri i de la vall de Valarties).
- Les orientacions reflecteixen fonamentalment el modelat glacial heretat de l'última glaciació quaternària, que és el que caracteritza tota l'àrea estudiada:

A les àrees on hi ha grans antigues valls glacials, a la distribució d'orientacions hi predominen les orientacions dels grans vessants regulars d'aquestes grans valls.

A les àrees caracteritzades per una gran presència de circs, en general amb altituds superiors, la distribució és molt més homogènia, per causa de la variació en les parets semicirculars dels circs.

- Malgrat que les orientacions reflecteixen el relleu glacial heretat i que les allaus ocupen els vessants d'aquest modelat, les orientacions de les zones d'allaus reflecteixen si hi ha o no vents dominants en una gran àrea.
- Menys de 50% del territori estudiat té pendents inferiors a 28°. Això reflecteix que es tracta d'una zona de muntanya en general força abrupta.
- En els intervals de 0°-10° i 10°-28° hi ha inclosos els fons de vall importants, les extenses restes d'antigues superfícies d'erosió situades entre 2100 m i 2300 m, i els fons de circs plans, a part de vessants. Encara que poc menys de la meitat de la superfície total estigui entre 0° i 28° (pendents en que, en principi, no es desencadenen allaus), no implica que hi hagi un perill d'allaus baix, ja que les superfícies d'erosió poden aportar molta neu al vessants de sotavent i afavorir-ne el desencadenament.
- Aproximadament el 50% del territori presenta un pendent entre 28° i 50°. Aquests pendents estan majoritàriament per sobre de 1500 m. i per tant es pot considerar



que són favorables al desencadenament d'allaus, encara que no tots estan afectats (bé per l'existència de bosc espès, be per la rugositat del terreny).

- Les zones afectades per allaus amb pendents entre 28° i 50° representen 1/3 de la superfície total del territori per sobre de 1500 m. Sempre més del 50% de la superfície afectada per allaus correspon a l'interval de 28° a 50°.

Hi ha una tendència a que les potencials zones de sortida d'allaus vagin sent afectades i actuïn com a tals si es donen les condicions favorables de feble rugositat i vegetació arbòria dispersa o inexistent. Això confirma el fet conegut de que cal mantenir el bosc sa per a que compleixi un paper protector contra el desencadenament d'allaus.

## **8.4. CONCLUSIONS RESPECTE A LA PREDICCIÓ ESTADÍSTICA DE MAXIMES ZONES D'ARRIBADA D'ALLAUS**

### **8.4.1. Les dades**

De cara als possibles usuaris, cal deixar molt clar les condicions de partida i les limitacions de les dades utilitzades en l'elaboració dels models.

- a.- Si s'apliquen estrictament els criteris establerts per Lied i Bakkehoi (1980), la mostra de les zones d'allaus seleccionades no és representativa de les zones d'allaus de l'àrea d'estudi.
- b.- No totes les possibles zones d'allaus poden ser estimades a partir d'aquests models.
- c.- Dels 307 perfils d'allaus preseleccionats només n'he pogut tractar 216, és a dir, d'una mostra ja parcial en el seu origen, només un 70% pot ser tractada. Aquests 216 perfils els he hagut de classificar per tractar-los per separat en:
  - perfils parabòlics
  - perfils amb zona d'arribada "parabòlica":
  - perfils amb zona d'arribada amb ruptura brusca
  - perfils difícilment classificables

- d.- Els paràmetres topogràfics  $H$  i  $y'$  només són vàlids per als perfils parabòlics. Per a la resta de perfils (70.37% dels 216 tractables) aquests paràmetres no tenen sentit, ja que la millor paràbola ajustada al perfil, encara que presenta una correlació molt bona amb aquest, no n'és representativa

#### 8.4.2. Els models

- He obtingut diferents models pel mètode de regressió lineal, per a cada una de les classes de perfils:

64 perfils parabòlics:

$$\alpha = 1.047 + 0.864\beta \quad R^2 = 0.75 \quad \sigma = 1.98^\circ$$

$$\alpha = 8.451 + 0.483\beta + 0.0002Hy''\theta \quad R^2 = 0.78 \quad \sigma = 1.85^\circ$$

La segona equació millora lleugerament l'estimació d' $\alpha$ .

62 perfils amb zona d'arribada "parabòlica":

$$\alpha = -0.032 + 0.938\beta \quad R^2 = 0.94 \quad \sigma = 1.01^\circ$$

56 perfils amb zona d'arribada amb ruptura brusca:

$$\alpha = -1.020 + 0.965\beta \quad R^2 = 0.87 \quad \sigma = 1.94^\circ$$

Dels 216 perfils tractats conjuntament se n'obté:

$$\alpha = -1.200 + 0.965\beta \quad R^2 = 0.87 \quad \sigma = 1.74^\circ$$

- Lògicament, es produeixen lleugeres diferències en l'estimació d' $\alpha$  per a la mateixa àrea d'estudi. Aquestes diferències venen donades per:
  - El nombre de perfils de cada mostra (amb 216 perfils es milloren, des del punt de vista de significació estadística, tots els models excepte 1).
  - La homogeneïtat entre els perfils d'una mateixa mostra i les seves diferències amb els de les altres mostres.
- Per al model realitzat a partir de 216 perfils, les m.z.a. dels perfils parabòlics resulten una mica infraestimades i les m.z.a. dels perfils amb z.a. amb ruptura brusca resulten lleugerament sobreestimats. De tota manera, aquesta infraestimació o sobreestimació pot representar al voltant d'1 mm sobre un mapa a escala 1:50.000. Per tant, qualsevol dels tres tipus de perfil pot ser tractat amb aquest model sense que hi hagi una pèrdua de resolució excessiva en traslladar el resultat sobre un mapa a escala 1:50.000.

- La variable independent  $\beta$  és, sempre, la que millor explica la variable a estimar  $\alpha$ .

#### 8.4.3. Reflexions sobre els models

- La millora d'aquest tipus de models depèn en primer terme de la millora de les dades de partida:

Millora de les  $\alpha$  que s'introdueixen per elaborar els models, a partir de la millora del cadastre. Una possibilitat és la realització d'estudis dendrocronològics que permetin afinar millor les m.z.a. i els períodes de retorn d'algunes allaus significatives.

Millora de les dades topogràfiques; aquesta millora és desitjable tant si els perfils topogràfics s'elaboren manualment com si s'extreuen d'un model digital d'elevació o una superfície funcional. Això permetria una localització més precisa del punt on el vessant té un pendent de  $10^\circ$ , així com el càlcul més precís de qualsevol altre paràmetre topogràfic.

- Un tractament el màxim d'objectiu possible ha de poder ser el màxim d'automatitzat. En aquest treball m'he trobat amb moltes limitacions per poder-lo fer .

Això implica que hi ha una necessitat no resolta de trobar un mètode automàtic que permeti la delimitació aproximada de la zona d'arribada per als perfils no parabòlics i amb més d'un punt de  $10^\circ$ .

- En el futur caldria millorar la interrelació entre les dades cartogràfiques, els possibles tractaments morfomètrics i les anàlisis estadístiques.

Sense un mètode automàtic fiable de determinació de l'angle  $\beta$ , sempre farà falta el treball d'un expert per localitzar el punt al voltant del qual es produeix el trànsit entre la zona de trajecte i la zona d'arribada de l'allau. Mentre sigui necessari el treball d'un expert en l'elecció i càlcul dels paràmetres topogràfics (per exemple del "punt  $\beta$ "), els models (i també la seva aplicació) estaran subjectes a un grau de subjectivitat considerable i, per tant, lluny d'una de les principals premisses que ens justifiquen la seva utilització.

### 8.5. PROPOSTES DERIVADES DELS RESULTATS DEL TREBALL

A continuació destaco una sèrie de propostes que apunten cap a l'aplicació dels resultats del present treball a la Gestió dels Riscos Naturals i la seva incidència en la Planificació Territorial.

- En qualsevol estudi sobre la Planificació Territorial a l'àrea daquest treball caldrà tenir en compte les següents dades:
  - La superfície real de l'àrea estudiada és un 20% superior a la seva superfície planimètrica, el que significa 26124 Ha superior (147702 Ha superfície real; 121578 Ha superfície planimètrica).
  - La superfície afectada per allaus representa 74344 Ha (entre el 40% i el 60% de la superfície real total).
  - Per al territori amb altituds superiors a 1500 m, la superfície afectada per allaus representa 69285 Ha (més del 50% de la superfície total).
  
- L'estudi aprofundit d'una conca concreta d'alta muntanya pot ser útil per a la identificació dels aspectes físics a considerar en la ordenació d'un espai natural d'alta muntanya. La introducció i estudi de dades tant gràfiques com descriptives respecte a geomorfologia i vegetació pot ser interessant per al tractament d'una àrea com el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici i la seva àrea d'influència.
  
- Amb vistes a futurs estudis de base per a l'ordenació del territori en municipis de muntanya afectats per allaus, cal abordar diferenciadament les zones d'alta muntanya i els grans vessants i fons de vall principals, no tan sols perquè l'ús del sòl és habitualment ben diferent en ambdues zones, sinò perquè tant la freqüència com la distribució i extensió de les allaus presenten característiques diferents.
  
- Els models per regressió obtinguts (que són una eina d'ajuda a la cartografia i, per tant, a la Gestió dels Riscos Naturals), depenen força de la morfologia dels perfils utilitzats utilitzats en cada cas, que està condicionat pel modelat heretat de l'última glaciació quaternària. Aquest presenta característiques ben diferenciades segons el tipus de substrat sobre el que s'instal.laren les glaceres.

La classificació de les zones d'allau segons el substrat (que, en definitiva és un indicador de la morfologia del vessant), podria donar resultats força bons.

- Una altra possible aplicació consisteix en la superposició topològica de les dades d'allaus amb la planimetria, per tal de crear un *Inventari semiautomàtic de Zones Conflictives*, on les zones d'allaus afecten carreteres, poblacions i altres infraestructures. Aquest seria el següent pas, previ a l'elaboració de Mapes de Risc.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Adjel, G. (1994). Méthodes statistiques pour la détermination de la distance d'arrêt maximale des avalanches. *Houille Blanche*. 5 p.
- Adjel, G. (1995). Estimation de la distance d'arrêt maximale des avalanches. *Neige et avalanches*. (68): 19-22
- Armstrong, R., i Armstrong, L. (1977). *Avalanche Atlas. Ouray County, Colorado*. I.A.A.R. University of Colorado. Occasional Paper, 25.
- Armstrong, B. i Williams, K. (1986). *The avalanche book*. Fulcrum inc. Golden, Colorado. 231 p.
- Bakkehoi, S., Domaas, U., i Lied, K. (1983). Calculation of snow avalanche run-out distance. *Annals of Glac.* (4).
- Bakkehoi, S. i Norem, H. (en premsa). Comparing topographical and dynamical run-out models by ideas of "Nearest Neighbour Method". En *2nd. Avalanche Dynamics Workshop*, Innsbruck, Austria.
- Berthier, B. (1986). Evaluation statistique des limites maximales atteintes par les avalanches à partir des données topographiques. Rapport de stage. CEMAGREF, Division Nivologie. 36 p.
- Bolmont, a. (1992). *Vers une modélisation statistique d'évaluation des limites d'arrêt des avalanches*. Mémoire de Maitrise. Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, 95 p., inèdita.
- Bordonau, J. (1985). *Estudi geomorfològic del sector sudoccidental de la Vall d'Aran. L'evolució quaternària de les valls dels rius Jòeu i Nere*. Tesi de Llicenciatura, Dpt. de Geomorfologia i Tectònica, Universitat de Barcelona, 141 p., inèdita.
- Bordonau, J. (1987). El glaciariósmo cuaternario en la cuenca del rio Nere (Val d'Aran, Pirineos Centrales). *Actas de la VII Reunión del Cuaternario Ibérico, AEQUA. Santander*. 163-166.
- Bordonau, J. i Vilaplana, J.M. (1986) Géomorphologie et tectonique récentedans le Val d'Aran (Zone Axiale des Pyrenees Centrales, Espagne). *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*. 27 (5): 303-310
- Bordonau, J., Serrat, D. i Vilaplana, J.M. (1992) Las fases glaciares cuaternarias en los Pirineos. En: Cearreta, A., Ugarte, F.M. (Eds.): *The Late Quaternary in the Western Pyrenean Region*, 303-312. Servicio Editorial Universidad del País Vasco, Bilbao.
- Borrel, G. (1995). Quelques orientations nouvelles de la cartographie numérique des avalanches. En Actes de colloque 'Les apports de la recherche scientifique à la sécurité néige, glace et avalanche. ANENA-CEMAGREF. p.227-234

- Bosch, X., i Vilaplana, J. M. (1988). Evolución del manto nival y riesgo de aludes en el Pirineo Catalán. En E. Alonso, J. Corominas (Eds.): *II Simposio sobre Taludes y Laderas Inestables*. Andorra la Vella. Vol Comunicaciones. p. 13-24.
- Bosque Sendra, J. (1992). *Sistemas de Información Geográfica* (1 ed.). Madrid: Ediciones Rialp, S.A. 451 p.
- Bovis, M.J. i Mears, A.I. (1976). Statistical predictiobon snow avalanche run out from terrain variables in Colorado. *Arctic and Alpine Res.* 8 (1): 115-120.
- Bracken, i Wesbter. (1990). *Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S.* . Londres: Routledge.
- Brú, J., Gómez Ortiz, A., Serrat, D., Ventura, J. i Vilaplana, J.M. (1985). Síntesis de la dinámica glacial cuaternaria en la vertiente meridional del Pirineo Catalán. *Actas de la I Reunión del Cuaternario Ibérico, GETC-GTPEQ*, Lisboa. I: 165-183.
- Burrough, P. (1988). *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment.* . Oxford: Oxford University Press.
- Buser, O., Fohn, P., Gubler, H., i Salm, B. (1985). Different methods for the assessment of avalanche danger. *Cold Regions Science and Technology*, (10), 199-218.
- Castelle, T., Hertig, J.A. i Fallot, J.M. (1991). *Protection des routes alpines contre les congères*. OFR, FN, Ecole Polytechnique Fédérae de Lausanne.
- Cebrian, J. A., i Mark, D. (1986). Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos. *Estudios Geográficos*, (188), 277-299.
- CEMAGREF. (1981). *Plan des zones exposées aux avalanches* . Ministère de l'Agriculture. France.
- CEMAGREF. (1983). *Neige et avalanches* . Ministère de l'Agriculture. France. 78 p.
- CEMAGREF. (1995). UEE Risques Naturels. Sesion Neige et avalanches. Brugnot, g. (ed.). 407 p.
- Colbeck, S. C. (1987). History of the snow-cover research. *Jour. of Glac.*, (Special Issue), 60-65.
- Daffern, T. (1983) VAvalanche safety for skiers and climbers. Rocky Mountains Books. 172 p.
- Didion, E. (1990). *Systemes d'Information Geographique: Concepts, Fonctions, Aplications*. Laboratoire Common de Télédetection. CEMAGREF/ENGREF. Montpellier. 44 p.



- ESRI (1987). *Understanding GIS. The Arc/Info method*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Arc/Info data model. Concepts & Key tTerms*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Arc Command References. A-I*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Arc Command References. I-Z*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Editing Coverages & Tables with ArcEdit*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *ArcEditCommand References. A- M*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Arc EditCommand References..N-Z*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Map Dysplay & Query*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *ArcPlot Command References. A- M*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *ArcPlot Command References. N- Z*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Surface Modeling withTin*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Info Reference Manual*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Managing tabular data*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *AML Users's Guide*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.
- ESRI (1987). *Changed pages for the AML Users's Guide*. Environmental System Research Institute, Inc., Redlands, CA, USA.

- Fitzharris, B. B., y Schaerer, P. (1980). Frequency of major avalanche winters. *Jour. of Glac.*, 26 (94), 43.
- Föhn, P., i Meister, R. (1983). Distribution of snow drifts on ridge slopes: measurements and theoretical approximations. *Annals of Glac.* (4):52-57.
- Föhn, P. (1995). *Mountain meteorology*. En Brugnot, G. (ed.) UEE Risques Naturels. Neige et Avalanches. CEMAGREF editions. p. 39-49.
- Fujisawa, K., Tsunaki, R. i Kamiishi, I. (1993). Estimating snow avalanche runout distances from topographic data. *Annals of Glac.* (18): 239-244.
- Furdada, G., i Vilaplana, J. M. (1988). *Memòria del Mapa de Localització Probable d'Allaus. Atlas de Zones Probables d'Allaus. Fase I de l'Estudi del Risc d'Allaus al Pirineu de Catalunya.* . Informe intern, Servei Geològic de Catalunya; Generalitat de Catalunya / Dpt. de Geologia Dinàmica, G. i P.; U.B.
- Furdada, G., Vilaplana, J. M., i Bosch, X. (1989). Predicción de zonas con peligro de alud. Consecuencias socioeconómicas de la falta de planificación territorial. En Fundación MAPFRE/ITSEMAP (Eds.): *Encuentro Internacional "Catástrofes y Sociedad"*. Madrid. Vol. Comunicaciones: 249-264.
- Furdada, G., i Vilaplana, J. M. (1989). *Memòria del Mapa de Localització Probable d'Allaus. Atlas de Zones Probables d'Allaus: Tasques complementàries. Fase II de l'Estudi del Risc d'Allaus al Pirineu de Catalunya.* . Informe intern, Servei Geològic de Catalunya; Generalitat de Catalunya / Dpt. de Geologia Dinàmica, G. i P.; U.B.
- Gubler, H. (1995). *Measurements and modelling to improve our understand of avalanche formation* . En Brugnot, G. (ed.) UEE Risques Naturels. Neige et Avalanches. CEMAGREF editions. p. 89-98
- IFENA (1970). Directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire. Office Fédéral des Forêts. Suisse. 23 pp.
- Informàtica de Recerca i Docència (1993). *Introducción a Arc/Info*. Apunts de Servei d'Informàtica. Informàtica de Recerca i Docència U.B. 41 p.
- Informàtica de Recerca i Docència (1993). *Curs d'usuaris de l'ordinador natura.geo.ub.es (Sun. Unix)*. Apunts de Servei d'Informàtica. Informàtica de Recerca i Docència, Sistemes Distribuïts, U.B.
- Instituto Nacional de Meteorología (1984). *Nivometeorología del Pirineo. Invierno 1982-83*. Serie A-88. Centro Meteorológico Zonal del Ebro. INM. Madrid. 72 p.

- LaChapelle, E.R. (1969). *Field guide of snow crystals*. I.G.S. Cambridge. 101 p.
- Lied, K. i Bakkehoid, S. (1980). Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Jour. of Glac.* (26) 94: 165-177.
- Lied, K. i Toppe, R. (1989). Calculation on maximum snow-avalanche run-out distance by use of digital terrain models. *Annals of Glac.* (13): 164-169.
- Lied, K., Weiler, Ch., Bakkehoid, S. i Hopf, J. (en premsa) Calculation methods for avalanche runout distance for the Austrian Alps. En ANENA (ed): *Symposium Neige et Avalanches., Chamonix 1995*. Chamonix, França.
- Martí Bono, C.E., Serrat, D. i González, C. (1978). Los fenómenos glaciares en la vertiente meridional de los Pirineos. *Actas V Coloquio de Geografía*, Granada, 67-74.
- Martí Riba, J. (1980). *Morfologia Glacial i Periglacial de la Ribera de Sant Nicolau (Alta Ribagorça). Iniciació a l'estudi de la dinàmica actual*. Tesi de Llicenciatura, Dpt. de Geografia, Universitat de Barcelona, 129 p., inèdita.
- Martí Soler, M. (1988). *Estudi Geomorfològic del massís central de la Vall d'Aran (Pirineu Central)*. Tesi de Llicenciatura, Dpt. de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional, Universitat de Barcelona, 194 p., inèdita.
- Martí, G., Oller, P., Bisson, B., Gavaldà, J., Garcia, C. i Martínez, P. (1995). Project of elaboration of a cadastre of avalanche paths in the catalan Pyrenees. En Actes de colloque 'Les apports de la recherche scientifique à la sécurité neige, glace et avalanche. ANENA-CEMAGREF. p.103-108
- Martinelli Jr., M. (1974). *Snow avalanche sites. Their identification and evaluation*. Agriculture Information Bulletin 360. Forest Service. U.S. Government Printing Office. 27 p.
- Mases, M. (1991). *Estudi geomorfològic de la dinàmica nival i risc d'allaus a la Vallferrera (Pallars Sobirà)*. Dpt. Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia; Universitat de Barcelona. Tesi de Llicenciatura. 115 p., inèdita.
- Mases, M., i Vilaplana, J. M. (1991). Zonas de aludes en la Vallferrera: clasificación y riesgo geomorfológico. *Pirineos*, (138): 38-52.
- McClung, D. i Lied, K. (1987). Statistical and geometrical definition of snow avalanche runout. *Cold Reg. Sci. and Technol.*, 13 (2): 107-119.
- McClung, D., Mears, A.I. i Schaerer, P. (1989). Extreme avalanche run-out from four mountain ranges. *Annals of Glac.* (13): 180-184

- McClung, D. i Mears, A.I. (1991). Extreme value prediction of snow avalanche runout. *Cold Reg. Sci. and Technol.*, (19) 2: 163-175.
- McClung, D. i Schaerer, P. (1993). *Avalanche Handbook. The mountaineers.* 272 p.
- McClung, D. i Mears, A.I. (1995). Dry-flowing avalanche run-up and run-out. *Jour. of Glac.* 41 (138): 359-372.
- McKittrick, L.R. i Brown, R.L. (1993). A statistical model for maximum avalanche run-out distances in southwest Montana. *Annals of Glac.* (18): 295-299.
- Mears, A.I. (1988). Comparisons of Colorado, East Sierra, coastal Alaska and western Norway runout data. En *Proceedings of the International Snow Science Workshop* Whistler, Vancouver. 232-238.
- Mears, A.I. (1989). Regional comparisons of avalanche-profile and run-out data. *Artic and Alpine Research.* (21)3: 283-287.
- Mears, A.I. (1992) *Snow Avalanche Hazard Analysis for Land-Use Planning and Engineering.* Colorado Geological Survey; Dpt. of Natural Resources. Bulletin 49. Denver, Colorado. 54 p.
- Mellor, M. (1965). *Blowing Snow.* CRREL. Part III, Section A3c.
- Morehouse, S. (1992). The Arc/Info Geographic Information System. *Computers and Geosciences.* 18 (4): 435-441.
- Muñoz, P. (1988). *Prevención y defensa contra aludes. Aplicación práctica al Pirineo Aragonés.* Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral. 498 p.
- Naaïm, F. i Brugnot, G. (1992). *Transport de la neige par le vent. Connaissances de base et recommandations.* CEMAGREF/Division de Nivologie. ISBN 2-85362-312-2.
- NCGIA. (1990). *I. Introduction to G.I.S.*, Santa Bárbara: Cal. National Center for Geographic Information and Analysis/University of California.
- NCGIA. (1990). *II. Technical issues in G.I.S.*, Santa Bárbara: Cal. National Center for Geographic Information and Analysis/University of California.
- NCGIA. (1990). *III. Application issues in G.I.S.* . Santa Bárbara: Cal. National Center for Geographic Information and Analysis/University of California.
- Nixon, D.J. i McClung, D. (1993). Snow avalanche runout from two Canadian mountain ranges. *Annals of Glac.* (18): 1-6.

- Norem, H. (1991). Discussion on the modelling of snow avalanche flow. *Mitteilugen EIFSL* (48), Davos.
- Norem, H. (1991). Estimating snow avalanche impact pressures on towers. En *Proceedings of ANENA Symposium*. Chamonix.
- Norem, H. i Bakkehoi, S. (1992) UEE Risques Natulrels. Neige et Avalanches. CEMAGREF editions.
- Oller, P. (1992). *Les allaus i ell seu risc a la Vall Fosca (Pallars Jussà)*. Dpt. Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia; Universitat de Barcelona. Tesi de Llicenciatura. 151 p., inèdita.
- Oller, P., Cuevas, J. L., Furdada, G., Mases, M., i Vilaplana, J. M. (1992). Cartografia de zones de aludes en el Pirineo Catalán y el uso de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). En J. Corominas, E. Alonso (Eds): *III Simposio sobre Taludes y Laderas Inestables*. La Coruña, España. Vol. Comunicaciones: 135-146.
- Owens, I.F. i Fitzharris, B.B. (1989). Assessing avalanche-risk levels on walking tracks in Fiorland, New Zeland. *Annals of Glaciology*. (13): 231-236.
- Pahaut, E. (1975). Les cristaux de neige et leurs métamorphoses. Monog. Météo Nationale. 96.
- Pahaut, E. i Sergent, C. (1991) *La neige. Formation et évolution*. CEN, Météo France. 35 p.
- Pejouan, H. (1983). La neige et les avalanches. H. Pejouan (Ed.). Perpinyà.
- Perla, R. i Martinelli, M.. (1976). The Avalanche Handbook. USDA Agricultural handbook 489. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. 238 p.
- Perla, R., Cheng, T.T. i McClung, D. (1980). A two parameter model of snow avalanche motion. *Jour. of Glac.* 26 (94): 197-207.
- Pietri, C. (1992). *Elément de connaissance sur la cartographie thématique de base*. Stage d'Arc/Info. CEMAGREF, Division nivologie. 26 p.
- Pietri, C. (1992). *Les normes cartographiques: Leur utilisation dans Arc/Info*. Stage d'Arc/Info. CEMAGREF, Division nivologie. 24 p.
- Pietri, C. (1993): La carte de localisation probable des avalanches et sa renovation. *Rev. Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. 63 (1): 97-112.
- Rey, L. (1976). *La neige, ses metamorphoses, les avalanches*. 2a. edició ANENA (Ed.) Grenoble. 212 p.

- Saez, M.T. i Ríos, S. (1995). Etude du risque d'avalanches dans la partie centrale des Pyrénées espagnoles (région aragonaise). En Actes de colloque 'Les apports de la recherche scientifique à la sécurité neige, glace et avalanche. ANENA-CEMAGREF. p. 273-276.
- Salm, B. (1983). *Guide pratique sur les avalanches*. Club Alpin Suisse. Burg. 148 p.
- Seligman, G. (1980). *Snow structure and ski fields*. Mc Millan. London.
- Sergent, C. (1993). *Propriétés physiques de la neige*. CEN, Météo France. 26 p.
- Sergent, C. (1995). *Effects of meteorological parameters on the snow stability*. En Brugnot, G. (ed.) UEE Risques Naturels. Neige et Avalanches. CEMAGREF editions. p. 111-120
- Serrat, D. i Vilaplana, J.M. (1992). Origen i evolució del relleu actual: El Glaciarisme. *Història Natural dels Països Catalans*, Enciclopèdia Catalana, Barcelona. 2: 439-460.
- Serrat, D., Bordonau, J., Furdada, G., Martí, J., Martí, M., Salvador, F., Ventura, J. i Vilaplana, J.M. (1994). Síntesis cartogràfica del glaciarisme surpirenaco oriental. En: Martí Bono, C. i García-Ruiz, J.M. (Eds.): *El Glaciarismo surpirenaico: Nuevas aportaciones*. Geofoma ediciones, Logroño. p. 9-15.
- Tabler, R. (1975). Predicting profiles of snowdrifts in topographic catchments. *Wet Snow Conference. Coronado, California. Proc.* (43): 87-97.
- Toppe, R. (1987). Terrain models: a tool for natural hazard mapping. En Gubler, H. i Salm, B. (Eds.): *Avalanche formation, Movement and Effects*. Simposium Davos 1986. IAHS, 162: 629-638.
- UNESCO (1981). *Avalanche atlas*. Courvosier, S.A. La Chaux de Fonds.
- Vallà, F. (1991) Ski et sécurité. ANENA. 127 p.
- Ventura, J. (1986a). *Geomorfologia de la vall d'Espot (Pallars Sobirà, Pirineu Central)* Tesi de Llicenciatura, Dpt. de Geografia, Universitat de Barcelona, 231 p., inèdita.
- Ventura, J. (1986b). La vall de Son. *Revista Catalana de Geografia*, 1 (2): 57-69.
- Vilaplana, J. M. (1983a). *Estudi del glaciarisme quaternari de les altes valls de la Ribagorça*. Tesi Doctoral, Dpt. de Geomorfologia i Tectònica, Universitat de Barcelona. 322 p.
- Vilaplana, J. M. (1983b). Quaternary Glacial Geology of Alta Ribagorça Basin (Central South Pyrenees). *Acta Geológica Hispánica*, 18 (3-4): 217-233.

- Vilaplana, J. M., Bosch, X., i Furdada, G. (1989). Los aludes: un riesgo mal conocido en España. En Fundación MAPFRE/ITSEMAP (Eds.): *Encuentro Internacional "Catástrofes y Sociedad"*. Vol. Comunicaciones. Madrid:
- Voellmy, A. (1955). Über die Zerstörungskraft von Lawinen. *Schweiz. Bauzeitung. Jahrg. 5*. 159-165, 212-217, 246-249, 280-285.
- Walsh, S.J., Butter, R., Brown, G. i Ling Bian (1990). Cartographic Modeling of Snow Avalanche Path Location within Glacier National Park, Montana. *American Soc. for Photogrametry and Remote Sensing*. 56 (5): 615-621
- Wiscombe, W. i Warren, S.G. (1990). A model for the spectral albedo of snow.I.Pure snow. *Jour. of Atm. Sciences*.