

MODELITZACIÓ ESTADÍSTICA APLICADA A L’AVALUACIÓ DE L’ABAST D’ALLAUS AL PIRINEU CATALÀ

Pere OLLER^(1,2), Cristina BAEZA⁽³⁾ i Glòria FURDADA⁽²⁾

⁽¹⁾ GeoNeu Risk, Barcelona

⁽²⁾ RISKNAT; Institut de Recerca Geomodels; Dpt. Dinàmica de la Terra i de l’Oceà; Facultat de Ciències de la Terra; Universitat de Barcelona

⁽³⁾ Scientific Department, ACUIDAD Consulting, Barcelona, Spain



Introducció

El coneixement de la distància d’abast és un paràmetre fonamental per a la cartografia de perillositat en la planificació territorial i urbanística.

S’obté partir de:

- Indicis sobre el terreny geomorfològics, topogràfics, de vegetació
- Informació històrico-testimonial
- Anàlisis de dades dendrocronològiques
- Anàlisi d’imatges aèries i del modelo digital del terreny (MDT)
- Modelització del fenomen

Models de càlcul: eina complementària (Lied, 1998; Gauer et al., 2010)

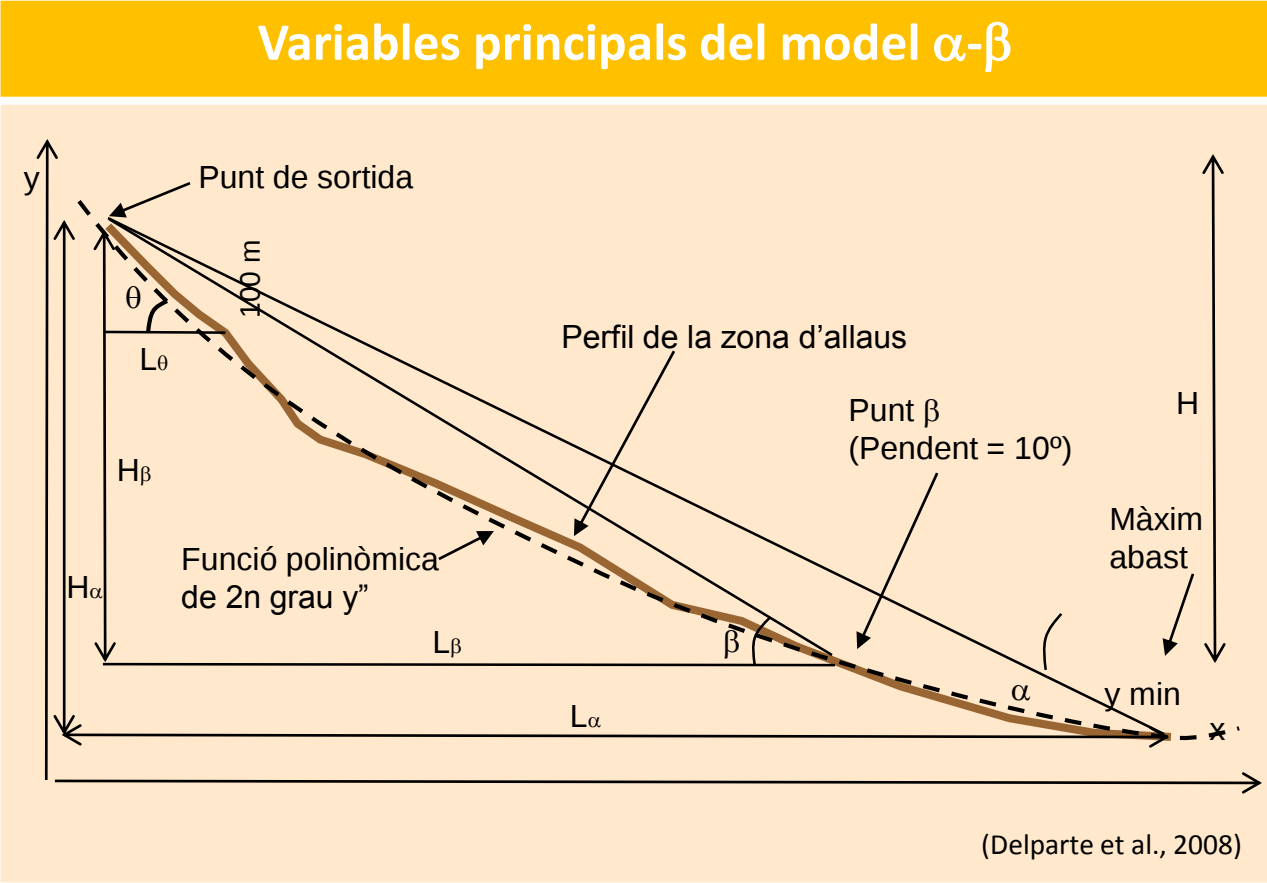


Models físics
- Permeten obtenir velocitat, altura de flux, pressió d’impacte i abast - Especialment adequats en enginyeria - La informació que els nodreix (volum de neu de partida, coeficients de fricció, etc), ha de ser estimada, sovint, a partir de poques dades

Models estadístics
- Permeten obtenir la distància d’abast al llarg d’un perfil topogràfic de la zona d’allaus - El model es construeix mitjançant una mostra representativa de paràmetres d’allaus l’abast dels quals és conegut - Permet contrastar els resultats obtinguts a partir dels models de dinàmica (físics)

Model de regressió α - β (Lied i Bakkehoi, 1980)

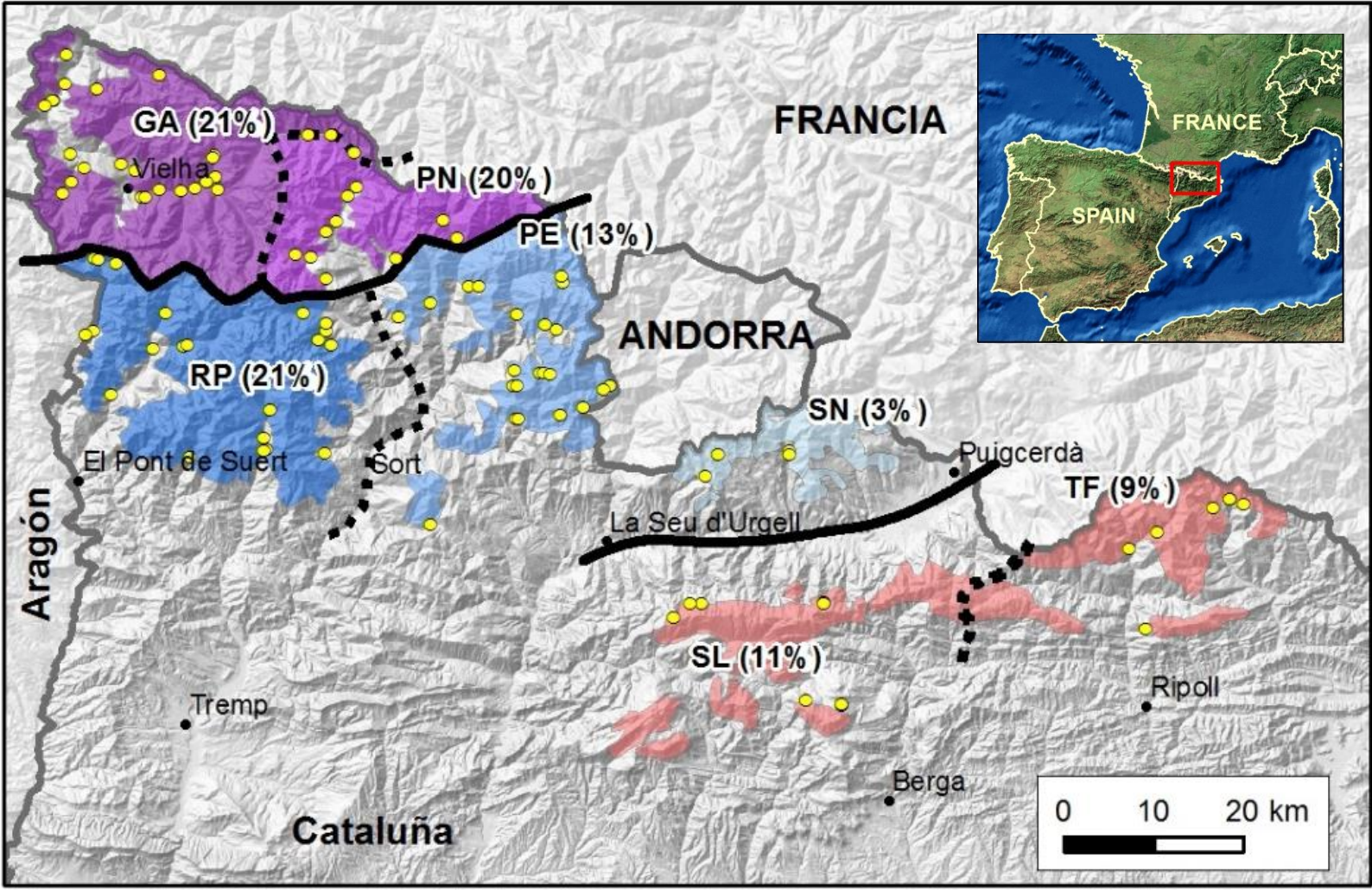
- β és l’únic predictor significatiu
 $\alpha=0,96\beta-1,40^\circ$ $R^2=0,85$ $S=2,3^\circ$ $N=206$
- Furdada i Vilaplana (1998) apliquen per primera vegada als Pirineus el model α - β
 - β es la variable que millor explica α .
 - La morfologia del perfil topogràfic té una marcada influència en la distància d’abast i obtenen 4 models de regressió.
 - Treball realitzat amb els mitjans aleshores disponibles:
 - base topogràfica 1:50.000
 - Dades d’allaus obtingudes en les primeres campanyes de cartografia
 - Destaquen que:
 - Escala de la base topogràfica 1:50.000: limitada
 - Desconeixement de T d’allaus tractades, que estimen >30 a.
 - Per a treballs futurs recomanen
 - (i) millorar el cadastre d’allaus per a treballar amb dades més fiables
 - (ii) millorar la precisió de les bases topogràfiques
 - (iii) ús de MDT, sobre tot per identificació de punt β



- Evolució de la informació de base els darrers 20 anys:
 - (i) s’implementa la BDAC (ICGC), amb gran disponibilitat d’ortoimatge digital que cobreix tot el territori
 - (ii) base topogràfica digital 1:5.000 de tot el territori
 - (iii) model digital del terreny (MDT) 5x5 i 2x2 de tot el territori

Objectius de l’estudi
- Actualitzar el model α-β per al Pirineu Català a partir de les eines cartogràfiques actualment disponibles i del coneixement actual de la dinàmica d’allaus en aquesta zona - Analitzar els factors que influeixen en la distància d’abast i, per tant, en la probabilitat d’abastar el punt β

Zona d’estudi



La zona d’estudi correspon al Pirineu català.

- Zones susceptibles al desencadenament d’allaus amb clima d’influència oceànica.
- Zones susceptibles al desencadenament d’allaus amb clima de transició.
- Zones susceptibles al desencadenament d’allaus amb clima d’influència mediterrània.

La intensitat del color indica la freqüència d’afectació d’episodis d’allaus majors (% entre parèntesi; Oller et al., 2015).

Zones nivològiques d’allaus majors: GA (Garona), PN (Pallaresa Nord), RP (Ribagorçana – Pallaresa), PE (Pallaresa Est), SN (Segre Nord), SL (Segre – Llobregat), TF (Ter – Freser)

- Esdeveniments d’allaus utilitzats per a la realització del present treball

Material i mètodes

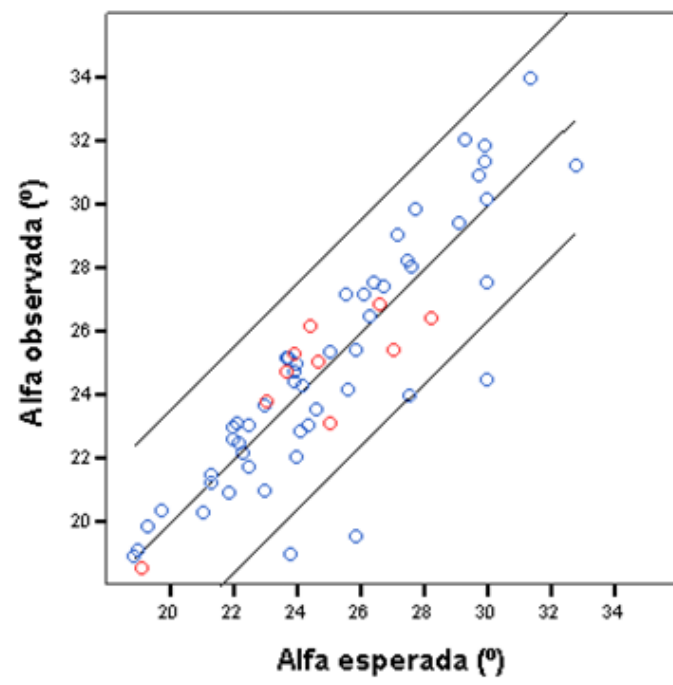
- Les dades s’han obtingut a partir de la BDAC de l’ICGC i a partir de campanyes de cartografia pròpies: s’han inventariat **897 allaus majors**
- Per a les allaus seleccionades, s’obtenen els paràmetres morfomètrics i dinàmics que tenen major influència sobre α : H, β , y'' , θ , i altres paràmetres que es considera que també podien tenir influència en la distància d’abast:
 - Forma longitudinal del perfil del terreny (PT)
 - Àrea de la zona de sortida de l’allau (Azs)
 - Àrea de la massa forestal devastada (Afo)
 - Orientació de la zona de sortida de l’allau (Ozs)
 - Canalització de l’allau (Can)
 - Zona climàtica a la qual pertanyen les allaus (Cli)
- Selecció d’allaus per a a l’aplicació del model α - β (82 esdeveniments)
 - T=100
 - desnivell mínim de 350 m
 - perfil del terreny sense contrapendents ni irregularitats a la zona d’arribada
 - zona de sortida diferenciada i única
 - No haver estat modificada antròpicament
- Resultat: **82 esdeveniments**

Resultats

Obtenció del model α - β

Donat el limitat conjunt de dades, en primera fase es construeix un model general:

- Selecció d’un conjunt de 63 esdeveniments, excloent els que no arriben a β
- Construcció i validació del model
- Obtenim: $\alpha=0,85\beta+2,10^\circ$ $R^2=0,76$ $S=1,87^\circ$ $N=53$



Equació general obtinguda per Furdada i Vilaplana (1998):

$$\alpha=0,97\beta-1,20^\circ \quad R^2=0,87 \quad S=1,74^\circ \quad N=216$$

- Per tant, ambdós models es troben en el mateix rang de magnitud i sempre dins del rang de la desviació estàndard => **El conjunt de dades utilitzat per aquests autors es trobaria en el rang de T100.**

Per a 6 allaus de T> 100 a. (cassos identificats a partir de documentació històrica, ocorreguts entre els segles XV i XIX), obtenim:

$$\alpha=0,85\beta+1,75^\circ \quad R^2=0,90 \quad S=1,17^\circ \quad N=6$$

Resta de variables analitzades:

- S’ha realitzat un anàlisis de variables de forma categòrica per així homogeneïtzar els esdeveniments del conjunt de dades. A partir d’aquestes classe, s’han obtingut els següents models:

Variable	Classe	a mitjà	Equació	R ²	S	N
Perfil longitudinal del terreny (PT)	RECT+PARA	25,2	$\alpha=0,86 \beta + 1,69^\circ$	0,78	1,73°	54
	HOCK	28,8	$\alpha=0,62 \beta + 9,59^\circ$	0,99	0,06°	4
Canalització (Can)	NC (NC-NC+NC-C)	26,4	$\alpha=0,94 \beta + 0,16^\circ$	0,85	1,41°	20
	C (C-NC+C-C)	24,7	$\alpha=0,79 \beta + 3,33^\circ$	0,73	1,94°	43
Àrea de la zona de sortida (Azs)	MP+P	26,4	$\alpha=0,85\beta+2,39^\circ$	0,75	2,22°	14
	M+G	24,8	$\alpha=0,84 \beta + 2,23^\circ$	0,76	1,72°	51
Orientació de la zona de sortida (Ozs)	NO	26,0	$\alpha=0,94 \beta - 0,13^\circ$	0,76	1,48°	23
	SE	24,7	$\alpha=0,80 \beta + 3,10^\circ$	0,77	1,94°	40
Clima (Cli)	OCE+TRA	25,1	$\alpha=0,82 \beta + 2,84^\circ$	0,75	1,78°	55
	MED	25,8	$\alpha=0,90 \beta + 0,44^\circ$	0,83	1,99°	8

- Allaus que no superen el punt β
 - Domina el perfil del terreny rectilini o còncav
 - Zona de sortida orientada principalment al N i W
 - En general canalitzades
 - Mida mitjana de les zones de sortida significativament més petita.
 - A les zones de transició i mediterrània principalment.

Variable	N	Mitjana	D. estàndard	Minim	Màxim
α (°)	19	26,5	2,6	22,1	33,0
θ (°)	19	33,4	2,5	29,2	39,6
y'' (m ⁻¹)	19	0,0003	0,0001	0,0001	0,0006
H α (m)	19	808	298,8	300	1289
L α (m)	19	1643	647	541	2840
PT (ordinal)	19	1,7	0,5	1	2
Azs (Ha)	19	3,46	3,38	0,38	11,52
Afo (Ha)	8	2,01	1,44	0,32	3,66
Ozs (°)	19	271	85	54	360
Can (ordinal)	19	3,3	1,2	1	4
Cli (ordinal)	19	2,2	0,7	1	3

Anàlisi de les allaus que no arriben a β

- Ens preguntem quines són les variables que expliquen que l’allau no arribi a β mitjançant **Regressió Logística**
 - Diferenciem les allaus que arriben a β (1) respecte a les que no hi arriben (0)
 - Tenim variables explicatives contínues i variables categòriques. Per a aplicar la regressió logística, tenint en compte el nombre reduït de dades, les passem a categòriques dicotòmiques.
- L’aplicació de les taules de contingència indica que les variables amb significació en relació a que l’allau no arribi a β són l’àrea de la zona de sortida (Azs) i l’orientació (Ori). Les variables PT, Azs, Ori i Cli són significatives amb valor de p menor al 5% ($\alpha<0.05$).
- A partir d’aplicar la matriu de correlacions bivariades identifiquem que la variable clima (Cli) no és independent i l’eliminem.

Variable	Sign.
θ	0,054
y''	0,729
L β	0,613
PT	0,005
Azs	0,006
Ori	0,000
Can	0,089
Cli	0,004

	Coefficients	OR (IC 95%)	p
Àrea zona de sortida petita i molt petita	-1,080	0,34 (0,13 ; 0,87)	0,025
Orientació NW	-1,933	0,15 (0,06 ; 0,35)	<0,001
constant	1,745		<0,001

- El model de regressió logística mostra que l’**Orientació (Ozs)** i **Àrea (Azs) de la zona de sortida** són significatives amb valor de p menor del 5%. Indicant la seva associació amb la probabilitat d’arribada al punt β .
 - Les allaus provinents de zones de sortida orientades al NW tenen un 85,5% menys de probabilitat d’arribar a β que les provinents de zones d’orientació SE**
 - Les allaus provinents de zones de sortida petites i molt petites tenen un 66% menys de probabilitat d’arribar al punt β que les provinents de zones de sortida mitjanes i grans**
 - La funció és més sensible a la identificació de les allaus que no arriben a β respecte de les que hi arriben
 - Es ratifica la bondat del model logístic mitjançant el valor de 0,766 de l’àrea sota la corba (COR)

Conclusions

- S’ha obtingut una equació general del model de regressió α - β a partir de 63 allaus de T al voltant de 100 anys. El resultat és proper al model obtingut per Furdada i Vilaplana (1998).
- S’han analitzat els factors que influeixen en la distància d’abast. Hem obtingut les equacions específiques per a cada cas.
- S’han caracteritzat les allaus que no arriben al punt β . Hipòtesi: la baixa freqüència d’episodis majors en les zones climàtiques de transició i mediterrània, especialment en vessants orientats a N i NW.
- L’aplicació de Regressió Logística ha permès identificar quins són els paràmetres que millor expliquen les allaus que no arriben a β , així com quantificar la seva probabilitat. Aquests són l’orientació (NW) i l’àrea (petita i molt petita) de la zona de sortida.
- Els resultats obtinguts signifiquen un avenç en el coneixement i la fiabilitat dels models estadístics al Pirineu Català, i a la vegada aporten informació de referència per a l’aplicació dels models físics.

Referències

- Furdada, G., Vilaplana, J.M. 1998. Statistical prediction of maximum avalanche run-out distances from topographic data in the western Catalan Pyrenees (northeast Spain). *Annals of Glaciology* 26: 285-288.
- Gauer, P., Kronholm, K., Lied, K., Kristensen, K., Bakkehoi, S. 2010. Can we learn more from the data underlying the statistical α - β model with respect to the dynamical behavior of avalanches? *Cold Reg. Sci. Technol.* 62(1), pp. 42-54.
- Lied, K., 1998. Snow avalanche experience through 25 years at NGI. In: E. Hestnes (Editor), Proceedings of the Anniversary Conference 25 Years of Snow Avalanche Research, Voss, 12-16 May 1998. Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, pp. 7-14.
- Lied, K. and S. Bakkehoi. 1980. Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *J. Glaciol.* , 26(94): 165- 177.
- Oller, P., Muntán, E., García-Sellés, C., Furdada, G., Baeza, C., Angulo, C., (2015). Characterizing major avalanche episodes in space and time in the twentieth and early twenty-first centuries in the Catalan Pyrenees. *Cold Reg. Sci. Technol.* 110:129-148