

4es Jornades Tècniques de Neu i Allaus Homenatge a Xavier Bosch i Martí

Actes

25, 26 i 27 de maig de 2011
Vielha e Mijaran, Val d'Aran



Foto: R. Baylina i C. Ciurana

Col·laboradors



Organitzadors:

Institut Geològic de Catalunya, Conselh Generau d'Aran, Servei Meteorològic de Catalunya

Col·laboradors:

Associació Catalana d'Estacions d'Esquí i Activitats de Muntanya, Direcció General de Protecció Civil, Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona – Grup Risknat, Federació d'Entitats Excursionistes de Catalunya, Service Restauration des Terrains en Montagne – Pyrénées, Associació per al Coneixement de la Neu i les Allaus, Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra, Escuela Militar de Montaña y Operaciones Especiales.

Patrocinadors:

GEOBRUGG, Campbell Scientific, ADASA, INACCÉS Geotècnia Vertical, MONTAZ equipement, Techniques de Muntanya / Technologie Alpine de Sécurité.

SUMARI

Presentació	1
Meteorologia de muntanya / Meteorologia de monthana / Meteorología de montaña / Météorologie de montagne	
<i>Un regard sur la mesure de la neige et montagne et les traitements climatologiques,</i> per Dominique Vrecoart	7
<i>Modelització d'episodis de nord a Andorra utilitzant el model mesoescalar WRF,</i> per Laura Trapero i Pere Esteban	11
<i>Tècniques de millora del perfil vertical de temperatura en zones d'orografia complexa,</i> per Meritxell Pagès, Josep R. Miró, Abdelmalik Sairouni i Jordi Moré	15
Canvi Climàtic i Recursos Hídrics / Cambi climatic e recorsi idrics / Cambio Climático y recursos hídricos / Changement climatique et ressources hydriques	
<i>El lidar aplicat a l'estudi dels recursos hídrics en forma de neu al Pirineu Oriental: un cas pràctic, la Vall de Núria,</i> per Ignacio Moreno, Antonio Ruiz, Jordi Marturià, Pere Oller, Jordi Piña, Carles García i Pere Martínez.....	21
<i>Projeccions Climàtiques regionalitzades al Pirineu durant el segle XXI,</i> per Antoni Barrera-Escoda	25
<i>La incidència del canvi climàtic en el turisme hivernal. S'ha acabat l'esquí?,</i> Joan Carles Llurdés i Coit, David Saurí	29
Predicció d'allaus / Prediccion de lauegi / Predicción de aludes / Prédiction d'avalanches	
<i>Si la neu és el problema, la solució és en el terreny: aplicació de l'escala de classificació del terreny allavós a la Val d'Aran,</i> per Montserrat Bacardit, Ivan Moner i Jordi Gavalda	35
<i>Túnel transfronterizo de Bielsa-Aragouet, prevención y defensa contra aludes,</i> per Patrick Persona y Bernard Hugand	41
Dinàmica d'allaus / Dinamica de lauegi / Dinámica de aludes / Dynamique d'avalanches	
<i>Un nou model formal per simular allaus emprant un autòmat cel·lular multicapa,</i> per Pau Fonseca, Màxim Colls i Josep Casanovas	47
<i>Sensors inalàmbrics per investigar la dinàmica interna de les allaus de neu,</i> per I. Vilajosana, E. Suriñach, J. Llosa i X. Vilajosana	51
<i>Contribución de las señales sismo-acústicas generadas por aludes de nieve al conocimiento de su dinàmica,</i> Per Emma Suriñach, Cristina Pérez, Ignasi Vilajosana, Arnold Kogelnig y Gloria Furdada	55

Cartografia d'allaus / Cartografia de lauegi / Cartografia de aludes / Cartographie d'avalanches

Estimación del riesgo de aludes en el PR-PNPE 21: Vega de Urriellu, macizo central de los Picos de Europa,
per José Antonio Vada Manzanal 61

Zonificació del terreny en base a la perillositat d'allaus als Pirineus de Catalunya. Constrast de metodologies en una zona pilot a Naut Aran (Val d'Aran),
per Marc Janeras, Judit Pons, Pere Oller, Olga Costa, Stefan Margreth, Elena Muntán i Pere Martínez 65

Realidad Chilena y Argentina en la gestión de los riesgos invernales,
per Daniel Vásquez 71

Prevenió i protecció / Prevencion e proteccion / Prevención y protección / Prévention et protection

La Planificació de les emergències per allaus a Catalunya: El pla especial Allaucat
per Xavier Saenz de Buruaga i Manel Pardo 77

L'expertise des risques d'avalanche pour la prevision localisee et l'appui a la gestion de crise. L'experience des services RTM
per Claudet Roland, JeanYves Lasplaces et Michel Truche 81

Seguretat en activitats de muntanya / Seguretat en activitats de montanha / Seguridad en actividades de montaña / Sécurité lors d'activités en montagne

L'ACNA: Una iniciativa per a la divulgació de la neu i les allaus,
Per Helena Serred, Glòria Martí, Pere Oller, Jordi Gavaldà i Pere Martínez 87

Resums pòsters 91-119

IV JORNADES TÈCNIQUES DE NEU I ALLAUS. HOMENATGE A XAVIER BOSCH I MARTÍ

Les actes que teniu a les mans recullen les ponències i els resums del pòsters presentats a les IV Jornades Tècniques de Neu i Allaus – Homenatge a Xavier Bosch i Martí, que se celebren al Parador Nacional de Vielha del 25 al 27 de maig de 2011, i que han estat organitzades per l'Institut Geològic de Catalunya, el Conselh Generau d'Aran i el Servei Meteorològic de Catalunya. En total inclou 17 resums estesos de ponències i 27 resums de pòsters que abasten l'àmbit temàtic de les Jornades: meteorologia de muntanya, canvi climàtic i recursos hídrics, predicció d'allaus, cartografia, perillositat i risc, dinàmica d'allaus, prevenció i protecció, i seguretat en activitats de muntanya. Tot amb la voluntat d'incloure en l'àmbit d'aquestes Jornades el món científic i tècnic, tant a nivell professional com amateur, que precisa en les seves activitats aquests coneixements.

Aquesta edició de les Jornades coincideix amb el 25è aniversari del "Projecte d'Estudi del Risc d'Allaus al Pirineu de Catalunya", iniciat al Servei Geològic de Catalunya en col·laboració amb la Universitat de Barcelona, l'any 1986. L'hem dedicat a Xavier Bosch i Martí (1953-1990), geòleg, esquiador de muntanya i un dels principals impulsors d'aquest projecte. El seu entusiasme i la seva gran capacitat de treball van fer possible que l'estudi del risc d'allaus al Pirineu es convertís en poc temps en una realitat actualment reconeguda internacionalment.

Pere Martínez

Director de les IV Jornades Tècniques de Neu i Allaus - Homenatge a Xavier Bosch i Martí

IV JORNADAS TÈCNIQUES DE NHÈU E LAUEGI. AUMENATGE A XAVIER BOSCH I MARTÍ

Es actes qu'auetz enes mans recuelhen es ponéncias e es resums des pòsters presentadi enes IV Jornades Tecniques de Nhèu e Lauegi – Aumenatge a Xavier Bosch i Martí – que se celèbren en Parador Nacionau de Vielha deth 25 ath 27 de mai de 2011, organizades per Institut Geològic de Catalunya, eth Conselh Generau d'Aran e eth Servei Meteorològic de Catalunya. En totau includissen 17 amplis resums des ponéncias e 27 resums de pòsters que contien es encastres tematics des Jornades: meteorologia de muntanha, cambi climatic e recorsi idrics, predicción de lauegi, cartografia, perilhositat e risc, dinàmica de lauegi, prevenciòn e proteccion, e seguretat en activitats de montanha. Tot damb era volontat d'includir en domeni d'aguestes Jornades eth mon scientific e tecnic, tant a nivèu professionau coma amateur, qu'a de besonh enes sues activitats aguesti coneishements.

Aguesta edició des Jornades coincidís damb eth 25au aniversari deth "Projècte d'Estudi deth Risc de Lauegi en Pirinèu de Catalonha", iniciat en Servei Geològic de Catalunya en collaboracion damb era Universitat de Barcelona, er an 1986. L'auem dedicat a Xavier Bosch i Martí (1953-1990), geòleg, esquiador de montanha e un des principaus impulsors d'aguest projècte. Eth sòn entossiasme e era sua grana capacitat de treballh heren posible qu'er estudi deth risc de lauegi en Pirinèu se convertisse, en pòc temps, en ua realitat actuaument reconeishuda internacionaument.

Pere Martínez

Director des IV Jornades Tecniques de Nhèu e Lauegi – Aumenatge a Xavier Bosch i Martí

IV JORNADAS TÉCNICAS DE NIEVE Y ALUDES. HOMENAJE A XAVIER BOSCH I MARTÍ

Estas actas recogen las ponencias y los resúmenes de los posters presentados en las IV Jornadas Técnicas de Nieve y Aludes – Homenaje a Xavier Bosch y Martí, que se celebran en el Parador Nacional de Vielha del 25 al 27 de mayo de 2011, y que han sido organizadas por el Institut Geològic de Catalunya, el Conselh Generau d'Aran y el Servei Meteorològic de Catalunya. En total incluye 17 resúmenes extendidos de ponencias y 27 resúmenes de posters que abarcan el ámbito temático de la Jornadas: meteorología de montaña, cambio climático y recursos hídricos, predicción de aludes, cartografía, peligrosidad y riesgo, dinámica de aludes, prevención y protección, y seguridad en actividades de montaña. Todo con la voluntad de incluir en el ámbito de estas Jornadas al mundo científico y técnico, tanto a nivel profesional como amateur, que precisa en sus actividades de estos conocimientos.

Esta edición de las jornadas coincide con el 25 aniversario del "Proyecto de Estudios del Riesgo de Aludes en el Pirineo de Cataluña", iniciado en el Servei Geològic de Catalunya en colaboración con la Universitat de Barcelona, el año 1986. La hemos dedicado a Xavier Bosch y Martí (1953-1990), geólogo, esquiador de travesía y uno de los principales impulsores de este proyecto. Su entusiasmo y su gran capacidad de trabajo hicieron posible que el estudio de riesgo de aludes en el Pirineo se convirtiese en poco tiempo en una realidad actualmente reconocida internacionalmente.

Pere Martínez

Director de las IV Jornadas Técnicas de Nieve y Aludes. Homenaje a Xavier Bosch i Martí

IV^e RENCONTRE TECHNIQUE SUR LA NEIGE ET LES AVALANCHES. HOMMAGE À XAVIER BOSCH I MARTÍ

Les présents documents recueillent les interventions et les résumés des posters présentés à la quatrième rencontre technique sur la neige et les avalanches - hommage à Xavier Bosch i Martí, qui sera célébrée au Parador national de Vielha du 25 au 27 mai 2011, et qui a été organisée par l'Institut géologique de Catalogne, le Conseil général du Val d'Aran et le Service météorologique de Catalogne. Ils comprennent en tout 17 résumés complets d'interventions et 27 résumés de posters qui englobent les domaines suivants : météorologie de montagne, changement climatique et ressources hydriques, prédiction d'avalanches, cartographie, danger et du risque, dynamique d'avalanches, prévention et protection, et sécurité lors d'activités de montagne. Les organisateurs souhaitent vivement inclure dans le cadre de cette rencontre les personnes issues du monde scientifique et technique, aussi bien au plan professionnel qu'amateur, qui travaillent dans ce domaine.

Cette édition des rencontres coïncide avec le 25^e anniversaire du « Projet d'étude de risques d'avalanches dans les Pyrénées catalanes », lancé en 1986 par le Service géologique de Catalogne, en collaboration avec l'Université de Barcelone. Cette édition est dédiée à Xavier Bosch i Martí (1953 – 1990), géologue, skieur de montagne et l'un des principaux fondateurs de ce projet. Son enthousiasme et sa grande capacité de travail ont permis de faire en sorte que l'étude du risque d'avalanches dans les Pyrénées devienne rapidement une réalité reconnue actuellement dans le monde entier.

Pere Martínez

Directeur de la IV^e Rencontre technique sur la neige et les avalanches - hommage à Xavier Bosch i Martí

Meteorologia de muntanya
Meteorologia de montanha
Meteorología de montaña
Météorologie de montagne

UN REGARD SUR LA MESURE DE LA NEIGE EN MONTAGNE ET LES TRAITEMENTS CLIMATOLOGIQUES

Dominique VRECOURT ⁽¹⁾

(1) METEO-FRANCE. dominique.vrecourt@meteo.fr

RÉSUMÉ

La mesure de la hauteur de neige en montagne est une préoccupation relativement récente. Les premiers services à s'y intéresser activement ont été les entreprises de production d'électricité qui ont cherché à connaître dès l'hiver les quantités d'eau qui iraient alimenter les barrages au printemps. Avec l'accroissement des loisirs de montagne d'hiver dans les années 60 et 70, la prévision des risques d'avalanches a amené à connaître les hauteurs de neige. Les préoccupations actuelles du changement climatique et ses répercussions déjà perçues sur l'enneigement font naître des demandes d'évaluation de l'évolution de l'enneigement. A cette question banale, la réponse n'est pas immédiate. En effet, il s'avère que le suivi de la hauteur de neige n'est pas une chose aisée et que les traitements climatologiques sont variés.

LES DIFFICULTES DE CONSTITUER DES SERIES DE HAUTEUR DE NEIGE DE QUALITE

La mesure de la neige

La mesure de la neige n'est pas, a priori, une entreprise très difficile, il suffit de planter une perche à l'automne, de lire chaque jour la hauteur et de la noter. Fig 1



Fig. 1 Mesure de neige par une simple « perche à neige »

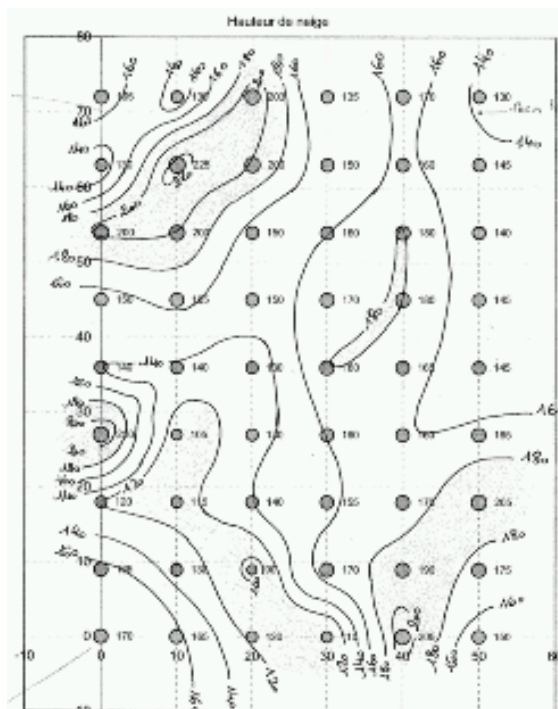


Fig. 2 Hauteurs de neige sur un site de 60*70 m



Fig. 3 Le site de mesures de neige pendant l'été.

Peut-on mesurer n'importe où ?

Il s'avère sur une expérience ponctuelle, sur un terrain peu accidenté, en herbe, en pente de 10% ,fig 3, que les hauteurs de neige mesurées sur un rectangle de 50 x 70 m de côtés variaient du simple au double lors de deux mesures sur deux hivers différents, fig 2. Les endroits des maximums et des minimums de hauteur neige sont « presque » les mêmes lors des deux mesures. Donc, dans notre cas, le vent n'a que peu modifié la répartition de la neige au cours de ces deux hivers. Par contre, la neige a tendance à lisser le relief et les différences de hauteurs de neige révèlent les plus petites différences de hauteur du sol.

Donc, peut-on planter la perche de mesure de neige n'importe où? Non. Mais pour autant, à quel endroit la planter? Et comment entreprendre de comparer la hauteur de neige mesurée sur un site avec la hauteur de neige mesurée sur un massif voisin?

L'influence du vent:

Voici un exemple hauteurs de neige mesurées toutes les heures sur un site qui est connu pour être venté. Il est tombé 40 cm de neige en quelques heures le 16 novembre et trois jours plus tard, le vent a soufflé à plus de 100 km/h et la hauteur de neige a diminué de plus de 40 cm, fig 4. Cet exemple est extrême mais sur certains sites de mesures il se produit régulièrement: après une chute de neige, lorsque le vent se met à souffler suffisamment fort, il emporte la neige meuble. Nous n'avons jamais rencontré le phénomène inverse, c'est à dire que, sur nos sites de mesure, la hauteur de neige augmente par l'effet seul du vent, sans chute de neige. Il semble donc que globalement le vent érode le manteau neigeux, qu'il y ait donc une perte de neige. Ce constat est fréquent à haute altitude, et beaucoup moins à basse altitude.



Fig. 4 Hauteurs de neige du 15 au 20/11/2010 au Maupas (France-dép 31)

Des mesures longues et complètes:

Pour réaliser une climatologie de la hauteur de la neige la série de mesures doit être la plus complète possible. Les données doivent être disponibles pour chaque année, du début à la fin de l'hiver, quelles que soient les conditions météorologiques et enfin sans que le site de mesure soit perturbé par les activités humaines. Il s'avère que de telles séries sont rares. En effet, les sites de montagne habités l'hiver sont liés au ski, stations de ski ou refuges. Les périodes de fonctionnement fluctuent d'une année à l'autre soit pour des raisons économiques soit à cause de l'enneigement, les sites de mesure sont régulièrement gênés par l'extension des domaines skiables ou enfin inaccessibles lors chutes de neige les plus importantes. L'idéal semble donc être une mesure par station automatique, assez loin des activités humaines pour ne pas être perturbée et fonctionnant du début à la fin de l'hiver quelles que soient les conditions météorologiques.

QUELS TYPES DE TRAITEMENT CLIMATOLOGIQUE SUR DES DONNEES D'ENNEIGEMENT ?

Les chutes de neige :

Il est tombé cet hiver 4, 5, 8, 12 mètres de neige! Ce chiffre est intéressant et très demandé ; il est très lié au nombre d'heures de fonctionnement des chasse-neige mais il est aussi un des plus difficile à connaître précisément. Les chutes de neige de début et de fin d'hiver sont parfois ignorées et

celles des plus grosses chutes non mesurées. Enfin cette mesure n'est pas automatisable, elle reste une mesure manuelle.

La hauteur de neige moyenne :

Elle représente naturellement la hauteur de neige rencontrée en moyenne soit à une date donnée soit pour un hiver et une certaine période (Il y a en moyenne 80 cm de neige le 1^{er} mars ou il y a eu en moyenne 50 cm en janvier cette année). C'est le capital d'une station de ski ou d'un barrage hydroélectrique. L'enneigement dépend certes de la quantité de neige tombée, mais aussi si celle-ci est tombée en début ou fin d'hiver et des températures après les chutes de neige. La notion de moyenne perd de sa pertinence s'il y a beaucoup d'occurrence de 0, c'est la cas des sites de basse altitude et des débuts et fin de saison.

La durée de l'enneigement :

L'unité n'est plus une hauteur mais une durée. L'hiver a-t-il été long ? Ce paramètre fait très bien ressortir les hivers peu enneigés mais il nécessite des mesures régulières même si l'enneigement est faible.

APPLICATIONS :

Enneigement du versant atlantique et méditerranéen des Pyrénées françaises :

Le versant nord des Pyrénées françaises peut être divisé en deux zones principales, le côté atlantique qui s'étend du Pays-Basque jusqu'au col du

Puymorens et le côté méditerranéen qui s'étend du col du Puymorens au Canigou.

L'enneigement de la grande façade atlantique se réalise avec les perturbations surtout de nord-ouest mais aussi de nord ou de nord-est. Au cours de certains hivers ces perturbations ont été rares et donc l'enneigement faible mais l'enneigement y est relativement régulier. Ainsi sur les 15 dernières années, à 2450 m d'altitude, l'enneigement au cœur de l'hiver varie dans un rapport de 1 à 3 suivant les années.

L'enneigement de la façade Est se fait grâce aux perturbations qui circulent sur la Méditerranée. Elles sont beaucoup plus irrégulières ; certaines années ces perturbations sont quasiment inexistantes. Ainsi au Canigou, à 2150 m d'altitude, l'enneigement en plein hiver varie de 0 à deux mètres.

CONCLUSION :

La mesure de la hauteur de neige en montagne est une entreprise délicate. Le transport de la neige en montagne fait tellement varier les hauteurs de neige qu'une mesure en un point ne peut prétendre représenter la hauteur de neige sur un massif sans une grande marge d'incertitude. Cependant, de longues séries de mesures de hauteurs de neige sur des sites peu perturbés par le vent sont et seront précieuses pour suivre les évolutions de l'enneigement au fil du temps.

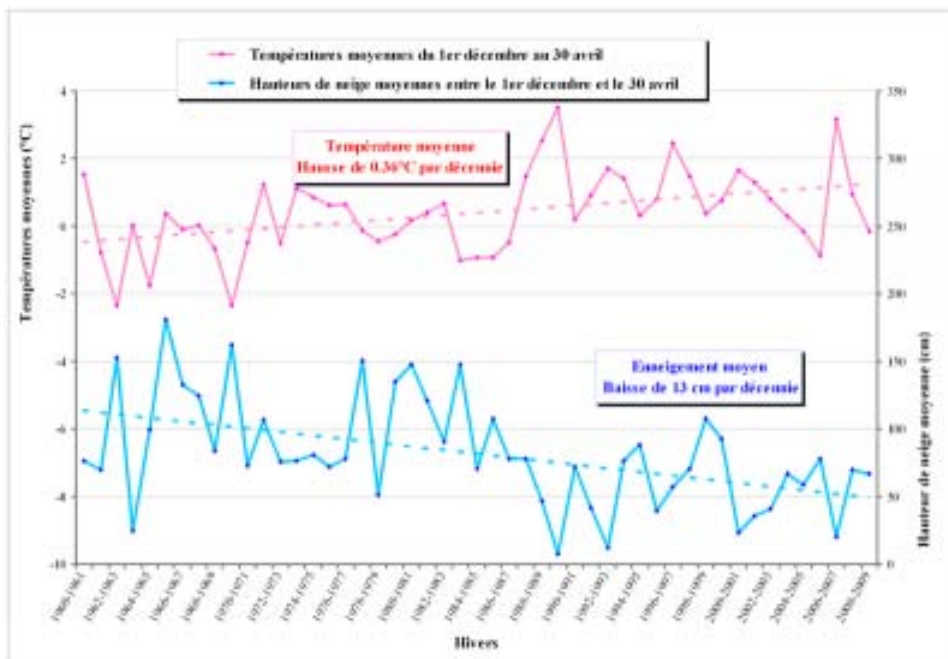


Fig. 5 Enneigement moyen au col de Porte (Alpes, Chartreuse) du 1^{er} décembre au 30 avril, de 1961 à 2009. Il montre une baisse des hauteurs de neige moyennes annuelles depuis le début des observations au début des années 1960.

Conclusion :

MODELITZACIÓ D'EPISODIS DE NORD A ANDORRA UTILITZANT EL MODEL MESOESCALAR WRF

Laura Trapero Bagué ⁽¹⁾ i Pere Esteban Veà ⁽¹⁾

(1) Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA-IEA). Av. Rocafort, 21-23. Edifici Molí, 3r pis, AD600 Sant Julià Lòria. E-mail: ltrapero.cenma@iea.ad

RESUM

Sovint els episodis de nord que afecten els Pirineus durant l'hivern s'associen a forts vents i nevades al vessant septentrional d'aquesta serralada. En canvi, predir els seus efectes, i en especial al vessant sud, presenta una major complexitat. Andorra és una zona molt sensible a aquest tipus d'episodis, ja que a causa de la seva situació geogràfica es veu fàcilment afectada per l'extensió d'aquest fenomen al vessant sud i als diversos fenòmens nivometeorològics que es poden desencadenar.

En aquest treball s'han escollit diferents episodis de nord que han afectat el Principat, s'han modelitzat utilitzant el model meteorològic WRF (Weather and Research Forecast Model), definint un domini sobre els Pirineus, centrat a Andorra, amb un resolució de 3 km. L'objectiu és analitzar amb detall la interacció del flux de nord amb la serralada, els efectes associats i detectar característiques que permetin diferenciar-los.

PARAULES CLAU: Episodis nord, modelització, WRF, Andorra.

INTRODUCCIÓ

Els episodis de nord que afecten Andorra (Pirineus) són un repte a l'hora de predir les seves conseqüències, especialment a l'hivern. Sovint aquests episodis poden ser extrems i anar acompanyats de nevades intenses i de forts vents, fet que pot incrementar considerablement el risc i l'ocurrència d'accidents (Pasqual, et.al., 2010) o incidències en els transports en aquest país muntanyós de només 468 km² (Fig. 1).

EL REPTE:

Durant aquests episodis la precipitació afecta principalment el vessant nord dels Pirineus i algunes zones properes. En alguns casos però, factors concrets afavoreixen que la precipitació creui la serralada i nevades intenses afectin el vessant sud i cotes baixes. El repte, se centra doncs, en la dificultat que tenen els models mesoescalars en predir els efectes d'aquest tipus d'episodis com conèixer fins on es pot estendre la nevada al vessant sud dels Pirineus.

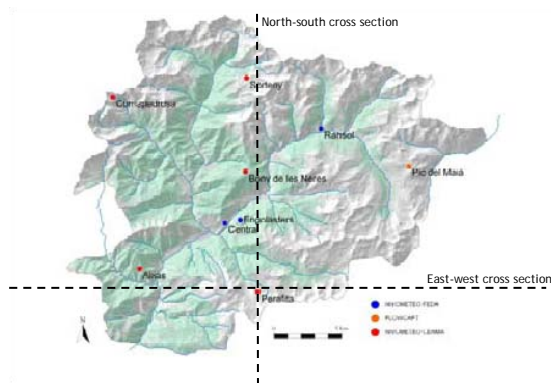


Figura 1 – Distribució geogràfica de les estacions meteorològiques a Andorra. Les línies negres discontinües corresponen als talls nord-sud i est-oest utilitzats a les modelitzacions.

METODOLOGIA

Per a seleccionar els episodis d'estudi els criteris utilitzats són: la presència de vents de component nord sobre el Pirineus i la quantitat de precipitació enregistrada a les estacions meteorològiques del CENMA. Els 4 episodis que s'han escollit presenten una variació important tant en intensitat com en la distribució de la precipitació al llarg d'un eix nord-sud sobre Andorra, com es pot veure a la Taula 1.

Malgrat que tots els episodis seleccionats comparteixen la similitud que a nivell sinòptic tenim un flux de nord que interactua amb els Pirineus, en aquest article es vol fer èmfasi de les marcades diferències que es poden observar entre ells, ja sigui, per la precipitació mesurada, la intensitat del vent, la nuvolositat observada, com altres aspectes que s'han detectat.

Per a estudiar amb més detall els episodis seleccionats i detectar elements claus, s'ha utilitzat el model meteorològic WRF-ARW (Weather and Research Forecasting System), on s'han definit 4 dominis centrats sobre Andorra amb resolucions horitzontals de 27, 9, 3 i 1 km respectivament. Per determinar la configuració del model es va fer un estudi preliminar per un cas concret (episodi 1) per veure la sensibilitat del model a diferents parametrizacions microfísiques. Per més detalls de la configuració utilitzada podeu consultar Traperó, et al. (2010). L'esquema utilitzat és el de Lin (Chen and Sun, 2002) que inclou 6 classes d'hidrometeors diferents. Aquest esquema és poc utilitzat en la predicció operativa ja que computacionalment és costós.

EPISODI (48h)	Sorteny (mm)	Bony Neres (mm)	Perafita (mm)
1 20090210	56,5	52,2	33,8
2 20081215	11,7	5,1	5,4
3 20081218	4,4	0,1	1,5
4 20090207	23,5	12,8	4,9

Taula 1 – Precipitació acumulada (48h) a les estacions meteorològiques del CENMA. Les estacions seleccionades es troben en latituds similars per tal de mostrar les diferències en la distribució nord-sud de la precipitació.

Per fer l'anàlisi primer s'ha identificat la situació sinòptica de l'episodi (27 km) i a continuació s'han representat els talls verticals fets sobre Andorra en direcció nord-sud (Fig.1), per analitzar les diferències entre els dos vessants dels Pirineus tant dels perfils d'humitat relativa com de temperatura potencial obtinguts a 3 km. Així mateix, s'ha representat el camp de precipitació predit per cada un dels episodis. Els gràfics els podeu consultar a la Figura 2.

EPISODI 1 (10-11 febrer 2009)

La situació sinòptica ve definida pel desplaçament cap al nord-est tant de l'anticicló de les Açores com el de la baixa situada al sud d'Anglaterra, generant un flux del nord-oest en superfície i també en alçada (300 hPa) sobre els Pirineus, això afavoreix un important aport d'humitat des de l'Atlàntic. Aquest flux va associat a un front fred que avança en direcció sud-est. Durant l'episodi es van registrar nevades, que es van iniciar el dia 10 al vessant nord i posteriorment coincidint amb el pas del jet en alçada van creuar la serralada, arribant a cotes de 500 m (dia 11 matí). Es van registrar gruixos d'entre 30-100 cm de

neu nova i ràfegues de vent superiors als 25 m/s generant un important transport de neu pel vent. Per aquest episodi el risc d'allaus es va activar a nivell 5, i es van prendre mesures com l'evacuació d'un edifici o el tancament de les estacions d'esquí.

Els elements claus que s'han detectat a mesoescala són:

- Presència simultània d'un corrent en jet del nord-oest tant a nivells mitjos (60kt a 700hPa) com alts (100 kt a 300 hPa).
- Elevat contingut d'humitat a 700 hPa.
- Les propietats de la massa d'aire es propaguen al vessant sud (humitat, temperatura potencial, veure tall vertical).
- L'esquema de microfísica utilitzat mostra el millor camp de precipitació: tant per extensió com per quantitats acumulades.
- El límit de 5400 m entre 1000-500hPa: bona referència per distingir el límit pluja/neu a cotes baixes (Esteban, et.al., 2005).

EPISODI 2 (15-16 desembre 2008)

La situació sinòptica ve dominada per una baixa situada al golf de Lleó que genera una advecció Mediterrània amb un flux del nord, nord-est afavorint l'aport d'humitat.

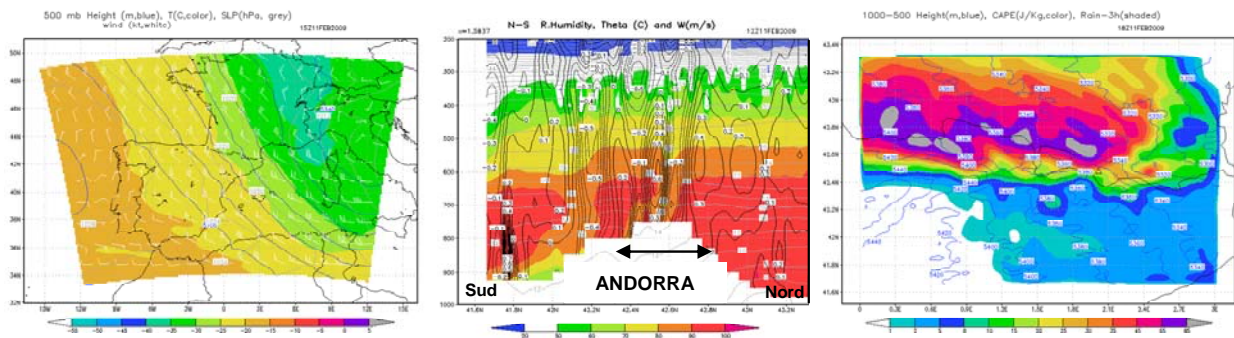
- Patró de precipitació per aquest episodi a Andorra: disminució gradual de nord a sud de l'acumulació enregistrada.
- Increment de la precipitació al vessant sud dels Pirineus: el flux de l'est a 700hPa d'origen mediterrani afavoreix una important advecció d'humitat a nivells mitjos des d'aquesta component.

EPISODI 3 (18-19 desembre 2008)

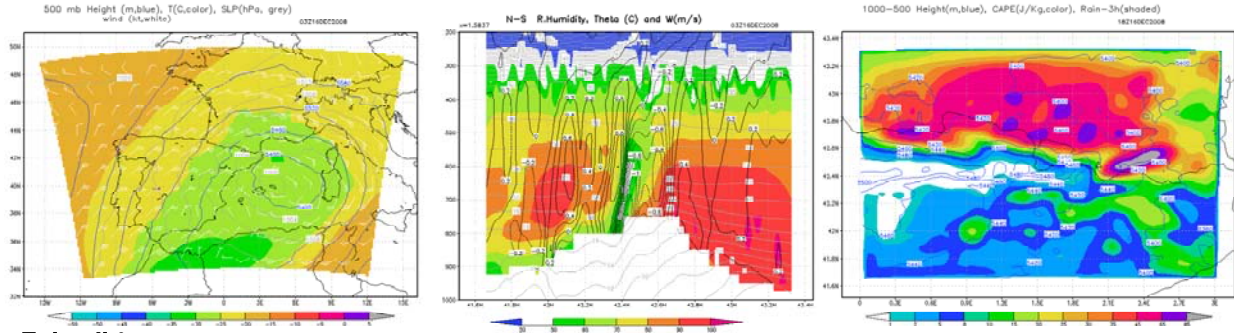
Un centre d'altres pressions (1028 hPa) que avarca tota la península domina aquest episodi, amb entrada de vent de nord a tots els nivells.

- Entrada de la dorsal a nivells mitjos, alts (inversió de subsidència).
- Es van originar ones de muntanya a causa de l'estratificació estable del flux de nord interaccionant amb la serralada.
- La nuvolositat retinguda al vessant nord dels Pirineus, va acumular petites quantitats de precipitació (4,4 mm).
- Formació d'altocúmulus lenticulars a sotavent de la serralada.
- Al sud de la vall d'Andorra (frontera amb Catalunya), es detecta un lleuger increment de la temperatura amb vents moderats (efecte Föhn -fogony).

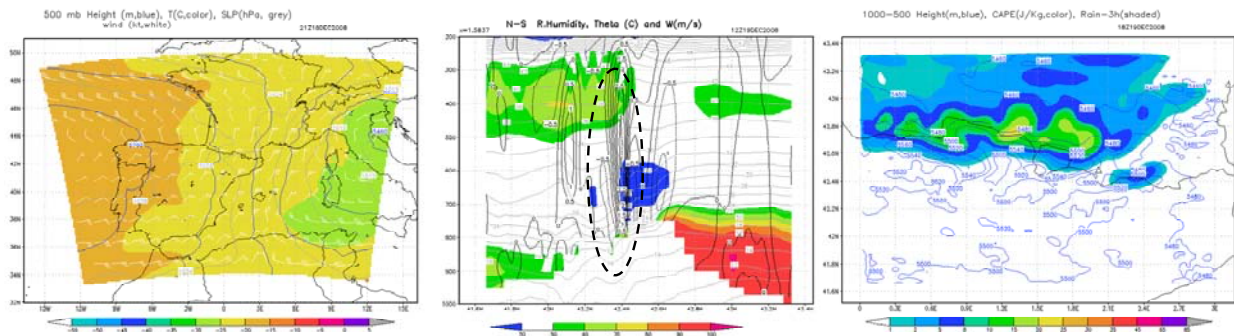
Episodi 1



Episodi 2



Episodi 3



Episodi 4

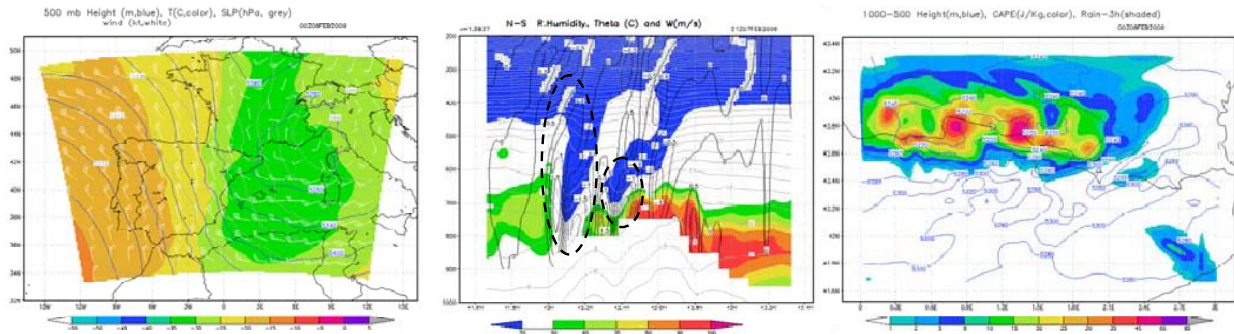


Figura 2 – Modelitzacions realitzades per cada un dels episodis. Primera columna: Pressió i vent en superfície, geopotencial i temperatura a 500hPa (color). Segona columna: Talls verticals en direcció nord-sud de la humitat relativa (color), temperatura potencial i velocitat vertical. Tercera columna: Camp de precipitació i greix entre els nivells de 1000-500hPa.

EPISODI 4 (7-8 febrer 2009)

Aquest episodi correspon a la situació prèvia a l'episodi 1, on dominava una circulació del nord-oest en superfície a causa de l'anticicló de les Açores, però a diferència dels dies posteriors els

corrents a nivells alts són més dèbils. En aquest cas la precipitació va afectar principalment el vessant nord, on es van enregistrar quantitats de 23.5 mm. Es tracta d'un episodi on la component de reforç orogràfic és important.

En aquest episodi l'element mesoescolar detectat ha estat:

- Intrusió d'aire sec estratosfèric a sotavent de la serralada. Aquest tipus d'intrusions poden originar increments en els nivells d'ozó en superfície, com va ser el cas d'aquest episodi en què les estacions de mesura a Andorra la Vella van registrar un pic de 111 microg/m³. Aquest pic es troba dins dels límits admissibles de concentració no perjudicials per la salut.
- Les precipitacions no van creuar al vessant sud.
- No es detecta, la presència d'un corrent en jet a nivells mitjos ni alts.

CONCLUSIONS

La situació geogràfica d'Andorra es veu fàcilment afectada pels marcats canvis que hi ha entre els dos vessants dels Pirineus quan interaccionen els fluxos de nord amb la serralada. Els fenòmens meteorològics que tenen lloc varien en pocs quilòmetres i poden ser molt diferents per situacions que a nivell sinòptic podrien ser similars. L'objectiu d'aquest estudi és una primera avaluació dels elements que diferencien aquests episodis i dels factors que afavoreixen els fenòmens associats.

L'acoblament del corrent en jet a tots els nivells observat a l'episodi 1, corrobora la hipòtesi plantejada a Esteban (2006), on aquest fort acoblament es descriu com la causa del reforç de les precipitacions i el fet que aquestes s'estengui al vessant sud coincidint amb l'eix zonal de velocitats màximes. Malgrat que a l'episodi 3 també tenim un acoblament a tots els nivells, la massa d'aire té característiques molt diferents (seca) i va acompanyada de l'entrada de la dorsal a nivells mitjos (estabilitat). Finalment destacar, també, la detecció de la intrusió d'aire estratosfèric a l'episodi 4, i el pic d'ozó enregistrat.

Aquests primers resultats ens han permès confirmar algunes hipòtesis plantejades i detectar nous elements que poden ajudar a millorar i entendre les prediccions en zones de muntanya com és el cas d'Andorra. En aquest sentit, es vol aprofundir en alguns punts de l'estudi com són les modificacions del flux a sotavent de la serralada (intrusions estratosfèriques) o el reforç orogràfic més o menys marcat de la precipitació.

AGRAÏMENTS

Volem agrair a Marc Rossell i Antoni Vila, de la unitat de medi atmosfèric del Departament de Medi Ambient del Govern d'Andorra, per facilitar-nos les dades d'ozó.

REFERÈNCIES

- CHEN, S.H., and SUN, W.Y., 2002. A one-dimensional time dependent cloud model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 80, 99-118.
- ESTEBAN, P., 2006. La complexitat de la meteorologia de muntanya. 2a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 26-27 juny 2006.
- ESTEBAN, P., JONES, P.D., MARTÍN-VIDE, J., MASES, M., 2005. Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees. *Int. J. Climatol.* 25. 319-329.
- PASQUAL, R., CALLADO, A., 2010. Accidents de muntanya i temporals hivernals. *Tethys* 2010, 7, 41-55.
- TRAPERO, L., ESTEBAN, P., 2010. Modelisation of northerly snow episodes over Andorra (Pyrenees) using WRF. EMS Annual Meeting Poster in the EMS Annual Meeting, September 2010, Zurich, Switzerland.

TÈCNiques DE MILLORA DEL PERFIL VERTICAL DE TEMPERATURA EN ZONES D'OROGRAFIA COMPLEXA

Meritxell Pagès Secall ⁽¹⁾; Josep R. Miró Cubells ⁽¹⁾; Abdelmalik Sairouni Afif ⁽¹⁾ i Jordi Moré Pratdesaba ⁽¹⁾

(1) Servei Meteorològic de Catalunya. C/Berlín 38-48 4rt 08029 Barcelona. mpages@meteo.cat

RESUM

A les zones d'orografia complexa les variables meteorològiques tenen un comportament més difícil de preveure que a les zones de relleu poc marcat donat que l'orografia provoca comportaments locals que fan que cada vall tingui el seu microclima particular. Concretament la temperatura és una de les variables que mostra més diferències notables entre zones molt properes, amb un relleu molt marcat, i això fa que els perfils verticals de temperatura variïn també molt d'un lloc a l'altre fent que les diferències de temperatura entre diferents vessants siguin importants. Un bon coneixement d'aquesta variable té molta importància de cara a la previsió de temperatures òptimes, ja sigui per la producció de neu artificial, de cara a la previsió dels perfils de temperatura que s'usen de cara a planificar els ascensos, o de cara a la previsió d'allaus; per això, des del Servei Meteorològic de Catalunya s'ha decidit dur a terme una treball de millora d'aquests perfils verticals de temperatura a partir dels models meteorològics juntament amb mètodes estadístics.

PARAULES CLAU: perfil vertical de temperatura, cota de neu, orografia complexa, models numèrics, mesoscala, microscala.

D'altra banda, també la temperatura conjuntament amb la proporció de mescla pot fer variar la humitat relativa i fer aparèixer condensació en forma de boires.

INTRODUCCIÓ

En les zones d'orografia complexa les variables meteorològiques presenten molta variabilitat degut a la forta interacció que s'estableix entre el relleu i l'atmosfera. Aquesta interacció fa que zones molt properes entre elles tinguin característiques meteorològiques i climàtiques molt diferents i això fa que a l'hora de fer pronòstics hi hagi força dificultats.

Els models meteorològics tenen mancances de predir l'ocurrència de fenòmens meteorològics extrems que tenen lloc en zones de d'orografia complexa, ja que l'escala que necessitarien per resoldre aquests fenòmens queden lluny del que es coneix com a mesoscala, i les parametritzacions que usem no deixen de ser simplificacions amb totes les limitacions que això suposa.

Una de les variables més importants de les zones d'orografia complexa és la temperatura, especialment pel fet que moltes altres variables i fenòmens meteorològics, així com moltes activitats en depenen i van lligades al seu comportament. En el cas de les precipitacions sòlides, segons la temperatura es pot tenir un tipus de precipitació o una altra, o diferències en el tipus de neu, o com evolucionarà la neu al terra.

I no només és important conèixer puntualment la temperatura a nivell de superfície, sinó que resulta encara més útil conèixer el perfil vertical de temperatura sobretot per sota dels 3000 metres d'altitud, que representa l'atmosfera que queda sota el que es coneix com atmosfera lliure a la nostra àrea d'estudi, la qual cosa és molt útil de cara a la previsió d'allaus, la previsió de neu a cotes baixes lligades a inversió tèrmica, o fins i tot en la planificació de la producció de neu artificial.

MÈTODES

Des de l'àrea de recerca aplicada i modelització (RAM) del Servei Meteorològic de Catalunya es treballa per tal de millorar els pronòstics que s'obtenen a partir dels models numèrics, sobretot pel que fa al càlcul de la cota de neu. Per això s'han desenvolupat diferents mètodes, basats en el perfil vertical de la temperatura previst pel model que quan no s'ajusta bé a la realitat provoca desajustos notables entre la cota de neu real i la calculada. En el cas del càlcul dels perfils de temperatura, les principals limitacions són, d'una banda la representació de la topografia que fa que molts punts de muntanya es trobin realment per sota del nivell més baix del model, la qual cosa obliga a realitzar extrapolacions, i d'altra banda la limitació en la resolució dels fenòmens de capa límit.

Per afrontar aquestes limitacions, s'ha optat per utilitzar mètodes estadístics basant-se amb les dades de les estacions meteorològiques per ajustar les prediccions donades pels models numèrics i mètodes empírics o una combinació de les dues. També, s'ha plantejat d'utilitzar models d'escala més fina, el que es coneix com a microescala, de cara a millorar els resultats basant-se en la física i la dinàmica.

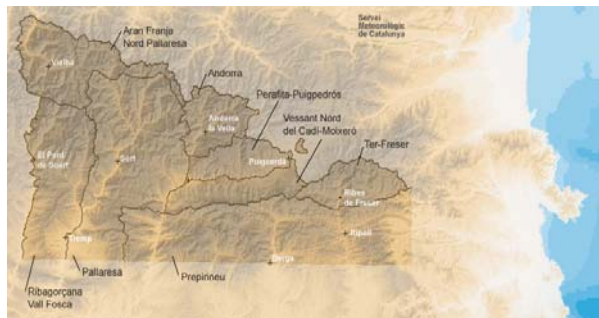


Figura 1 – Zones nivoclimàtiques del Pirineu

CÀLCUL DE LA COTA DE NEU

Per a calcular la cota de neu s'utilitzen dos sistemes diferents segons el tipus de producte que vulguem.

- Cota de neu puntual:

El pronòstic de la cota de neu puntual, en aquest cas per a cada zona nivoclimàtica (Figura 1) del butlletí de predicció del Pirineu, es calcula a partir de les dades del model MM5 de 36 km a un horitzó de 72 hores.

Aleshores es considera que la cota de neu es situa en el punt en que aquesta passa de ser positiva a negativa, és a dir quan $T_w=0$ (Figura 3).

Per a cada zona es dóna una taula on apareix aquesta informació (Figura 2). Per a determinar la cota de neu quan la humitat relativa supera el 60%, primer es calcula la temperatura del termòmetre humit (T_w) combinant les prediccions de la humitat relativa i la temperatura.

	 Matinada 22 Feb 6 T.U.		 Matí 22 Feb 12 T.U.		 Tarda 22 Feb 18 T.U.		 Nit 22 Feb 24 T.U.	
Isozero (m)	2600		2200		2100		2000	
Isoterma -10 (m)	4100		4100		4200		4400	
Cota de neu (m)	1600		1800		1300		1800	
Risc de tempesta	Baix		Baix		Baix		Baix	
Cota 1500 (m)	3°C	↓	5°C	↓	3°C	↓	3°C	↓
	54%		43%		61%		98%	
	-7°C	99 km/h	-1°C	60 km/h	-4°C	47 km/h	-4°C	42 km/h
Cota 2000 (m)	1°C	↓	1°C	↓	1°C	↓	0°C	↓
	21%		40%		70%		91%	
	-10°C	108 km/h	-7°C	66 km/h	-8°C	59 km/h	-9°C	59 km/h
Cota 2500 (m)	0°C	↓	-2°C	↓	-2°C	↓	-2°C	↓
	12%		28%		74%		81%	
	-10°C	111 km/h	-12°C	73 km/h	-12°C	73 km/h	-12°C	74 km/h
Cota 3000 (m)	-2°C	↓	-4°C	↓	-4°C	↓	-4°C	↓
	9%		34%		74%		70%	
	-14°C	112 km/h	-15°C	81 km/h	-15°C	86 km/h	-15°C	83 km/h

Figura 2 – Taula de predicció donada pel model numèric MM5 36km i revisada manualment pel predictor per tal d'evitar els errors que es deriven de les prediccions automàtiques realitzades pels models.

Per saber on es troba aquest valor al model es fa una interpolació entre dos nivells on es passi de valors de temperatura positius a negatius, però en cas que tots els valors de T_w al model siguin negatius, amb la qual cosa la cota de neu es troba per sota del nivell del sòl del model, es realitza una extrapolació considerant un gradient de temperatura estàndard ($0.6^\circ\text{C}/100\text{m}$).

Quan la humitat relativa està per sota del 60%, la cota de neu s'obté a partir de restar 200 metres al valor de la isozero.

- Mapa de la cota de neu

Davant la necessitat d'oferir una idea de com es distribueix la cota de neu pel territori es realitzen mapes de diferents escales d'aquesta variable.

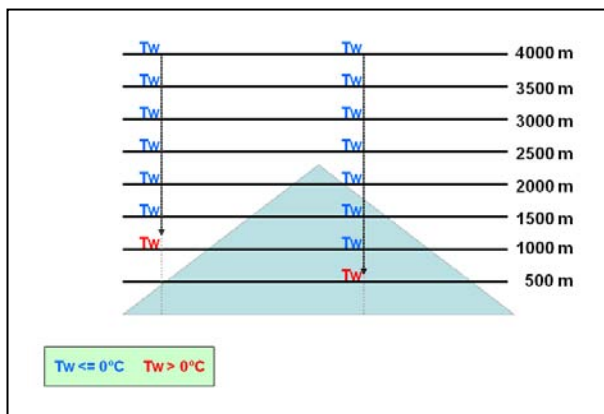


Figura 3 – Esquema on es mostren els diferents nivells d'altura. Allí on canvi de signe la T_w es correspon amb l'altura de la cota de neu

S'utilitza la mateixa variable que per a la cota de neu puntual, la temperatura del termòmetre humit, si bé en aquest cas no s'utilitzen tots els nivells de pressió del model, donada la càrrega de dades excessiva per al càlcul, sinó que s'empra la T_w en els talls horitzontals a les pressions constants de 950 hPa, 850 hPa, 700 hPa i 500 hPa, i la temperatura a 2 metres que dona el model quan la cota estaria per sota dels 950 hPa.

Novament, en funció de la humitat relativa ($\text{RH}<60\%$ o $\text{RH}>60\%$) i seguint els mateixos criteris que s'han esmentat en la cota de neu puntual, per a calcular la cota de neu dels mapes es realitza una interpolació entre els dos nivells entre els quals hi ha un canvi de signe, i en cas que no hi hagi el canvi de signe s'extrapola considerant que la T_w disminueix a raó de $0.6^\circ\text{C}/100\text{m}$ (Figura 4).

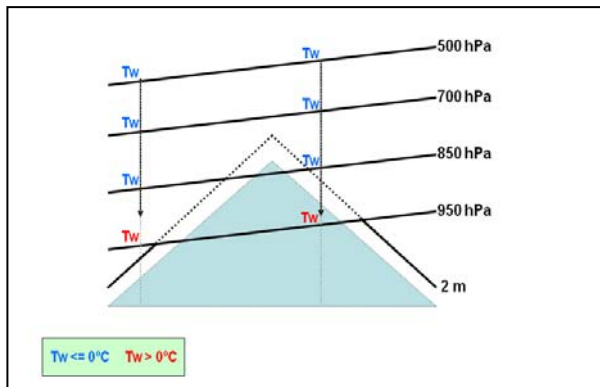


Figura 4 – Esquema on es mostren els diferents nivells de pressió amb que treballem. Allí on canvi de signe la T_w es correspon amb l'altura de la cota de neu.

PERFILS VERTICALS

Com s'ha vist en la utilització dels mètodes de càlcul de la cota de neu, el perfil vertical de temperatura hi juga un paper clau. D'aquí que per a una millora de la predicció de la cota de neu és necessari millorar el perfil vertical de temperatura sobretot per sota del nivell més baix del model. Per assolir aquestes millores es va pensar en la possibilitat d'usar el mètode de l'adiabàtica humida (lapse rate) i mètodes estadístics la VWR.

- Mètode de l'adiabàtica humida

Donada la necessitat d'extrapolar la temperatura del model per al càlcul de la cota de neu quan es troba per sota del nivell més baix, en el cas de tenir precipitació s'ha considerat òptim realitzar aquesta extrapolació mitjançant aquest mètode que consisteix en seguir el gradient de temperatura que ens donaria la adiabàtica humida.

- VWR (Vertically Weighted Regression)

En aquest cas no s'usen directament els perfils verticals de temperatura que dona el model, sinó que es construeixen a partir de regressions multilineals obtingudes a partir de la relació entre les sortides de model en un punt concret de fons de vall i un altre d'alta muntanya. A partir d'aquestes regressions i aplicant una variant del Geographically Weighted Regression (GWR) s'obté un perfil de temperatura basat en el fet que la dinàmica de fons de vall i d'alta muntanya són totalment diferents i que fins a certa altura el comportament de les temperatures serà pròxim al que es dona a fons de vall, i a partir de certa altura el comportament de les temperatures serà pròxim al que es dona a alta muntanya.

CONCLUSIONS

Els enfocaments proposats de cara a resoldre el problema dels perfils verticals de temperatura no aporten una solució global al problema, i tots tenen els seus punts forts i els seus punts febles que tot seguit quedaran exposats.

D'una banda els mètodes estadístics tenen l'avantatge d'adaptar-se a les observacions i per tant aproximar-se bé a la realitat, que sol ser molt particular en les zones d'orografia complexa. Però per altra banda perquè donin bons resultats cal disposar d'una llarga i consistent base de dades de models i d'estacions meteorològiques, sovint difícil de tenir-ho disponible, sobretot perquè els models meteorològiques estan en continua evolució.

Els mètodes empírics, en canvi, tenen el desavantatge que al basar-se en perfils climatològics solen ser coherents només en casos en que es disposi de situacions que s'acosten a la mitjana, fet que en zones d'orografia complexa no sol passar. L'avantatge principal és que una aproximació que no necessita cap base de dades i els errors no solen ser dramàtics, sobretot en casos amb poca estabilitat i en punts situats a alta muntanya.

BIBLIOGRAFIA

- FOTHERINGHAM, A. S., BRUNSDON, C. AND CHARLTON, M., 2002: Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. John Wiley and Sons
- GRELL, G. A., DUDHIA, J., AND STAUFFER, D. R., 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, 117 pp.
- PAGÈS M, MIRÓ J.R. 2010. Determining temperature lapse rates over mountain slopes using vertically weighted regression: a case study from the Pyrenees. *Meteorological Applications* 17: 53 – 63.
- SAIROUNI, A., MORÉ, J., TODA, J., MIRÓ, J.R., ARAN, M. AND CUNILLERA, J. (2008): Operative Mesoscale Models Verification running in the Meteorological Service of Catalonia. Notes d'estudi del Servei Meteorològic de Catalunya, 71.
- WILKS, D.S., 1995: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an Introduction. International Geophysics Series, 59, Academic Press, 464 pp..

Canvi climàtic i recursos hídrics
Cambi climatic e recorsi idrics
Cambio climático y recursos hídricos
Changement climatique et ressources hydriques

EL LIDAR APLICAT A L'ESTUDI DELS RECURSOS HÍDRICS EN FORMA DE NEU AL PIRINEU ORIENTAL: UN CAS PRÀCTIC, LA VALL DE NÚRIA.

Ignacio Moreno ⁽¹⁾, Antoni Ruiz ⁽²⁾, Jordi Marturià ⁽¹⁾, Pere Oller ⁽¹⁾, Jordi Piña ⁽¹⁾, Carles García ⁽¹⁾ i Pere Martínez ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Institut Geològic de Catalunya (IGC), C/ Balmes, 209-211. E08006-BCN . natxo.moreno@gmail.com

⁽²⁾ Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), Parc de Montjuïc - E08038 BCN.

RESUM

L'Institut Geològic de Catalunya (IGC) conjuntament amb l'Institut Cartogràfic de Catalunya han posat en marxa un estudi amb l'objectiu d'establir una metodologia que permeti modelitzar el volum d'aigua en forma de neu a partir de l'obtenció de dades obtingudes mitjançant la tècnica LIDAR. L'obtenció mitjançant làser aerotransportat de dos models digitals d'elevacions, MDE, (sense i amb mantell nival) permet calcular el gruix de neu amb gran precisió i densitat (dades cada 1m²). Paral·lelament, i mitjançant el *stepwise regression tree* com a mètode d'extrapolació i diverses variables topogràfiques, s'obté com a resultat una cartografia de precisió del volum de neu. La combinació d'aquestes dades amb la presa manual de la densitat del mantell han permès calcular el volum d'aigua emmagatzemat en forma de neu a la Vall de Núria. Aquest volum d'aigua ha estat validat en camp amb la presa de dades hidro-meteorològiques obtenint com a resultat una desviació de tan sols un ±5% entre el volum d'aigua calculat mitjançant la tècnica LIDAR i el volum d'aigua mesurat *in situ*.

PARAULES CLAU: Pirineus, mantell nival, LIDAR, recursos hídrics, Vall de Núria

INTRODUCCIÓ

L'elevada variabilitat espacial que existeix en la distribució de la neu (Elder, 1995) juntament amb l'escassetat de dades disponibles fan de la teledetecció una tècnica indispensable per a la modelització d'extenses àrees.

L'ús del LIDAR aerotransportat suposa un salt qualitatiu en l'estudi del mantell nival donat que permet estudiar grans àrees a una elevada resolució i amb un cost relativament reduït. És per això que l'IGC juntament amb l'ICC han posat en marxa el projecte: *Aplicabilitat de la tècnica LIDAR per avaluar els recursos hídrics en forma de neu* que consta de diverses fases la primera de les quals ha produït els resultats que aquí es presenten.

MATERIALS I METODOLOGIA

Amb l'objectiu d'avaluar la idoneïtat de la tècnica LIDAR i establir una metodologia aplicable a un àrea més extensa del Pirineu s'estableix una àrea pilot a la Vall de Núria.

L'àrea que comprèn la Vall de Núria té una extensió de 38km² i la major part de la superfície es troba per sobre del límit del bosc amb presència de roquissars i prats.

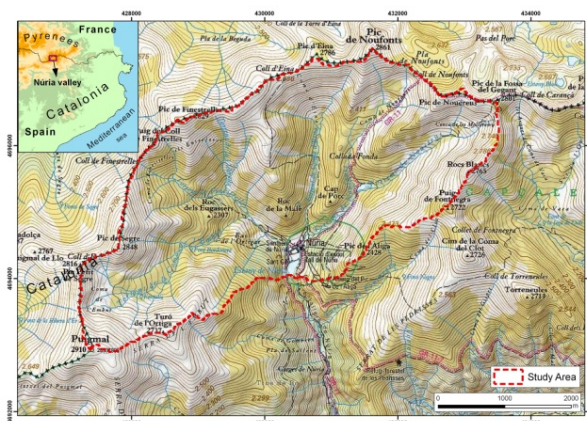


Figura 1 – Situació de la Vall de Núria

Les fases que comprèn el projecte són les següents:

- Vol LIDAR i captura manual de dades de camp
- Processat de dades i generació del model extrapolat de gruix de neu, de densitats i, finalment, del volum d'aigua en forma de neu. Validació del model de gruix de neu.
- Presa de dades hidro-meteorològiques i validació del model de volum d'aigua emmagatzemat mitjançant un model hidrològic.

El vol LIDAR amb presència de mantell nival es realitza el dia 27-03-2009, anteriorment, el dia 9-08-2006 es realitzà un vol en absència de neu sobre la mateixa zona. De forma simultània a la captura de dades LIDAR també s'obtenen fotografies aèries.

Amb l'objectiu de validar la tècnica i de forma paral·lela a la captura de dades LIDAR s'organitza una campanya de presa de dades manuals.

S'obtenen dades de gruix de neu que permetran validar les dades obtingudes mitjançant el làser i també dades de densitat del mantell el que permetrà en aquest cas calcular el volum d'aigua en forma de neu. El posicionament de les dades de camp, que implica un total de 4 equips formats per dos persones cadascun, es realitza amb l'ajuda de GPS d'alta precisió. El post-processat de les dades GPS obtingudes assegura una precisió submètrica en el posicionament de les diverses mesures.

L'objectiu final del projecte és establir una metodologia que amb el mínim cost permeti calcular el gruix i volum d'aigua per àrees extenses. És per això que les dades LIDAR de partida sempre representaran una petita part del territori a estudiar. Per aquests motiu es realitza un model estadístic que permeti extrapolar les dades obtingudes en una petita àrea a un territori més extens.

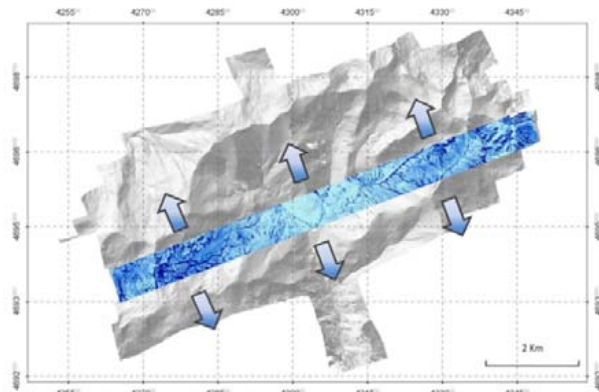


Figura 2 –Extrapolació de les dades LIDAR per obtenir un model que cobreixi el total de l'àrea d'estudi.

El model estadístic utilitzat ha estat el *stepwise regression tree*, SRT, (Huang, 2003) com una evolució del model de classificació en arbre proposat per Breiman (1984) i implementat en l'algoritme GUIDE per Loh (2002). El mètode SRT es basa en crear una relació entre el gruix de neu i un seguit de variables topogràfiques. A partir d'aquesta relació o analogia entre variables s'estableix una norma aplicable a altres punts del territori d'on inicialment no es disposa de dades del gruix de neu i que són calculades amb aquest mètode.

Una vegada obtinguda una cartografia del gruix i la densitat del mantell nival, es calcula el volum d'aigua present en el moment concret del vol.

Per finalitzar, es valida el volum d'aigua mitjançant un model hidrològic. Per això es construeixen dos aforaments, als torrents de Finestrelles i de Noucreus, i es prenen dades termo-

pluviomètriques des del dia del vol i fins la fosa total del mantell nival.

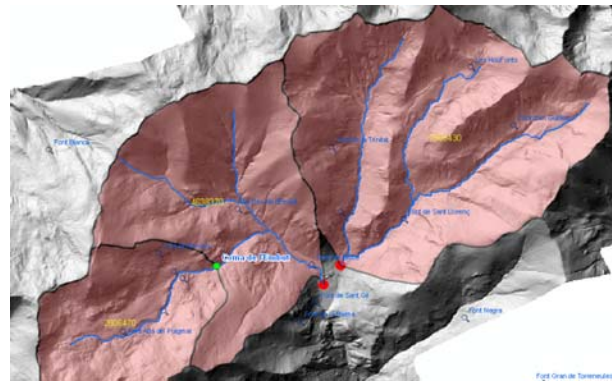


Figura 3 – Situació dels aforaments.

RESULTATS

Model d'innivació LIDAR

La resta dels MDEs obtinguts mitjançant LIDAR amb i sense neu permet obtenir un model de gruix de neu, que cal validar. Els mètodes de validació emprats han estat els següents:

- Validació mitjançant dades puntuals de camp. En total tan sols es disposa de 74 punts amb dades manuals de gruix de neu. Donada l'escassa representativitat de les dades aquestes no són considerades en les anàlisis.
- Validació mitjançant la creació d'àrees de control amb un gruix de neu conegut. S'identifiquen mitjançant fotografies aèries les zones sense neu (gruix de neu 0) i es comparen amb els gruixos de neu obtinguts pel model. Amb aquesta tècnica s'avaluen un total de 680.000 punts, el qual assegura la representativitat dels resultats. Els resultats de la validació mostren una clara relació amb el pendent, obtenint un error quadràtic mitjà (RMSE) de 0,428m per al conjunt del model LIDAR.

Pendent (°)	RMSE (m)
<10	0,170
10-20	0,185
20-30	0,314
30-40	0,440
40-50	0,702
50-60	1,298
60-70	2,631
> 70	4,937
RMSE pendents <60	0,428

Figura 4 – RMSE en funció del pendent a les àrees de contrast.

- Validació mitjançant perfils topogràfics. La realització d'un total de 17 perfils en zones propenses a l'acumulació de neu (torrents i àrees a sotavent) ha permès estimar en 11m el valor màxim del gruix de neu a la Vall de Núria.

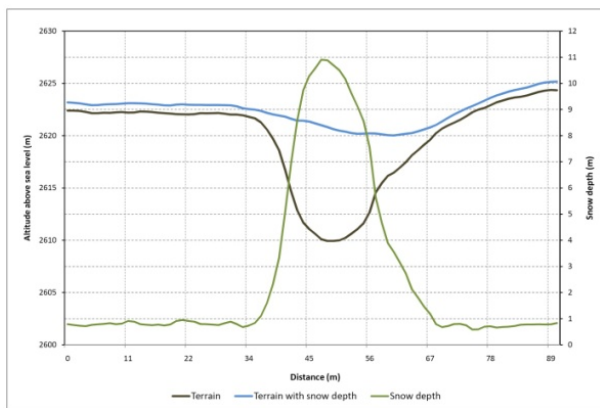


Figura 5 – Perfil topogràfic: Torrent de la Coma del Clot.

Model nivall i de densitats extrapolat

Una vegada finalitzada la validació es crea el model estadístic que ha de possibilitar l'extrapolació de les dades.

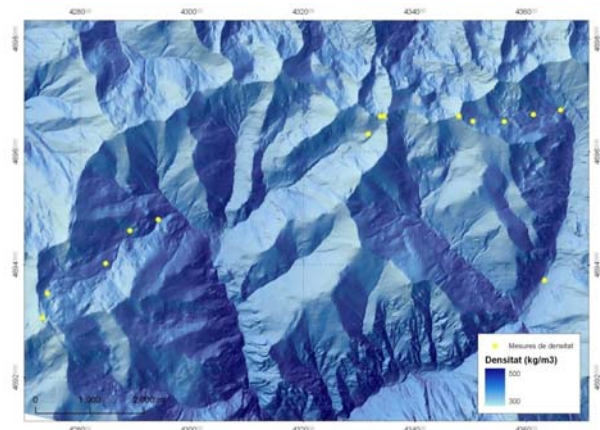


Figura 6 – Situació de les mesures de densitat i model OLS d'extrapolació.

Per a l'extrapolació de les dades de densitat es fa servir el mètode del *Ordinary Least Squares* (OLS) aplicat als 14 punts dels que es disposen mesures de camp. La densitat del mantell té un comportament molt més uniforme que el gruix de neu i per això amb una quantitat reduïda de punts es pot realitzar una extrapolació de les dades.

L'extrapolació a partir de les dades d'una línia de vol LIDAR (figura 2) es realitza mitjançant l'algoritme GUIDE (Loh, 2008). L'algoritme es basa en la relació entre el gruix de neu i les diferents variables topogràfiques considerades (figura 7).

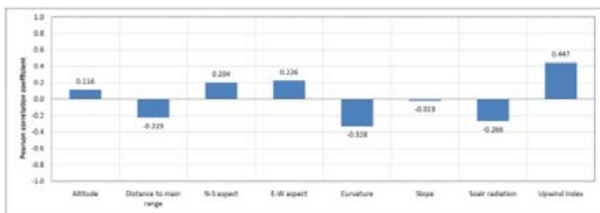


Figura 7 – Correlació topografia - gruix de neu.

El resultat és un model en arbre que aplicat a les dades del vol LIDAR permet extrapolar les dades de gruix de neu i obtenir una cartografia (figura 8).

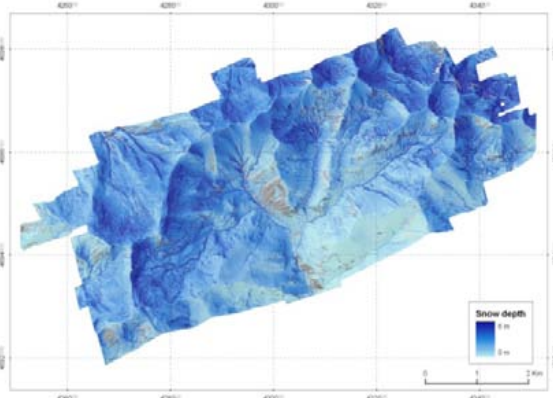


Figura 8 – Model de gruix de neu resultat de l'extrapolació mitjançant l'algoritme GUIDE.

La diferència en volum de neu entre aquest model de gruix de neu procedent de l'extrapolació i el model original LIDAR que cobreix tot l'àrea és de tan sols -0,69% el que valida la tècnica d'extrapolació emprada.

La combinació de densitats del mantell i del volum de neu ens permeten establir que els volums d'aigua acumulats, són els següents: Finestrelles: 1,88 Hm³ ; Noucreus: 2,41 Hm³

Model hidrològic

Per tal de validar d'una forma global el mètode es crea un model hidrològic basat en el següent esquema:

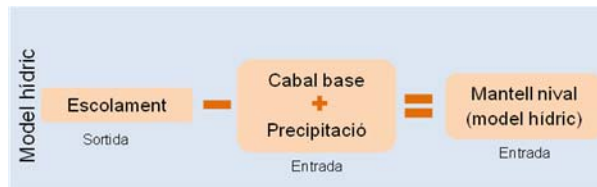


Figura 9 – Esquema metodològic del model hidric.

S'entén doncs que es dona un excedent en l'escolament respecte a la suma del cabal base (que suposem uniforme) i la precipitació (que en gran mesura escolarà, donat que el temps de concentració no supera els 30 min). Aquest excedent d'aigua mesurada al final de la conca és degut a la fusió de mantell nivall precedent amb el que la comparació d'aquest valor amb el volum d'aigua calculat ens permet validar de forma experimental l'ajust del model.

L'escolament es calcula gràcies a les estacions d'aforament situades en el punt de sortida de cada conca (figura 3). És l'estudi del cabal circulant el que ha permès calcular tant el volum d'aigua total que circula per cada conca com el cabal base que s'ha estimat a partir de la gràfica de la figura 10. També a aquest gràfic es poden identificar amb claredat els diversos règims hídrics: règim nivall a

l'inici, un període de fusió nival on els cabals creixen considerablement i un pluvial on són les

precipitacions les que fan oscil·lar el cabal.

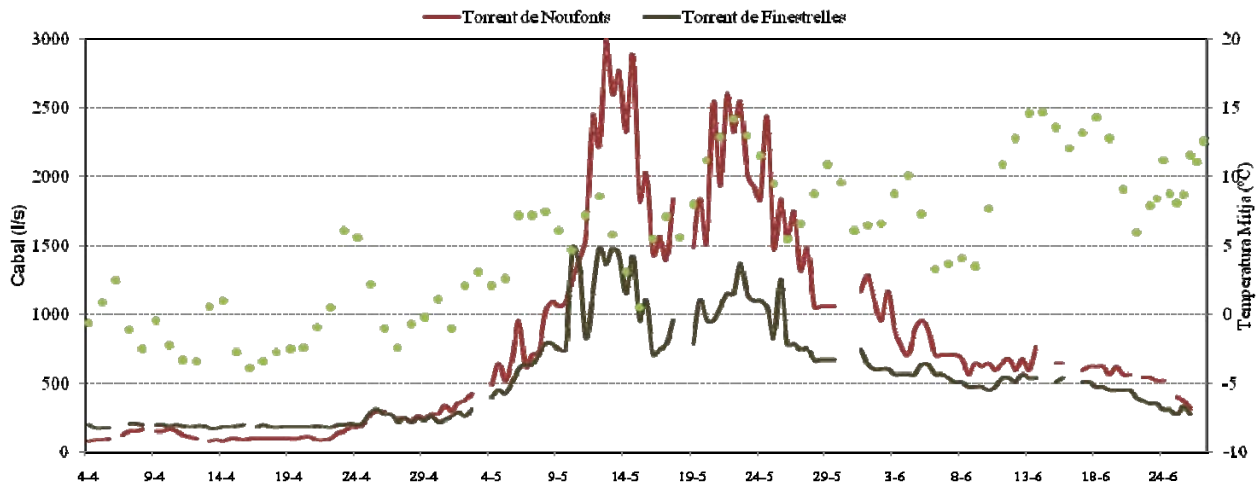


Figura 10 – Cabal i temperatures. En vermell el cabal al torrent de Noufonts. En negre Finestrelles i en verd la temperatura mitja a 2300m (estació automàtica de Coma de l'Embut)



Figura 11 – Esquema metodològic del model nival.

Els resultats detallats són els següents:

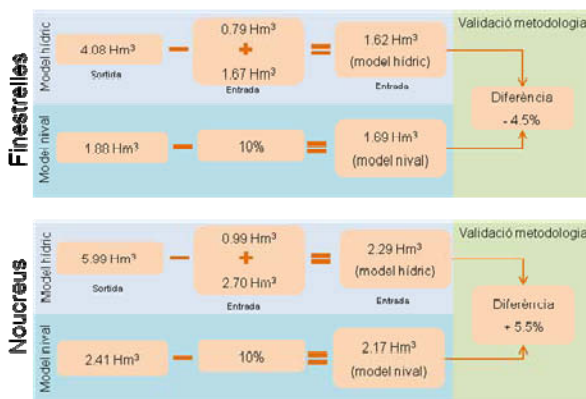


Figura 12 – Validació de resultats segons el model hídic i nival.

CONCLUSIONS

Així doncs es conclou que la diferència entre el volum d'aigua calculat a partir dels cabals circulants i el model nival LIDAR és tan sols de: $\pm 5\%$ el que valida el mètode de forma global.

AGRAÏMENTS

Els autors volen agrair la col·laboració prestada pels responsables del complex de la Vall de Núria per la seva amabilitat i predisposició així com a A. Winstral per amablement cedir l'algoritme GUIDE fet servir en els càlculs. Al mateix temps agrair a

l'ACA i el Cos d'Agents rurals l'ajuda prestada durant les diferents fases del projecte.

REFERÈNCIES

- Elder, K., Michaelsen, J., Dozier, J., 1995, Small basin modeling of snow water equivalence using binary regression tree methods. Biochemistry of seasonally snow-covered catchments. Proceedings of a Boulder Symposium. IAHS publications no 228.
- Huang, C., Townshend, J., 2003 A stepwise regression tree for nonlinear approximation: applications to estimating subpixel land cover. International Journal on Remote Sensing. Vol 24, No. 1, 75-90.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R., Stone, C., 1984, Classification and Regression Trees, Wadsworth International Group, Belmont, California.
- Loh, W., 2002, Regression trees with unbiased variable selection and interaction detection. Statistica Sinica, vol. 12, 361-386.
- Loh, W., 2008, Extrapolation errors in linear model trees, ACM Transactions on Knowledge Discovery in Data, vol. 1

PROJECCIONS CLIMÀTIQUES REGIONALITZADES AL PIRINEU DURANT EL SEGLE XXI

Antoni Barrera-Escoda ⁽¹⁾

(1) *Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya. C. de Berlín, 38-48, 4a planta, 08029 Barcelona. tbarrera@meteo.cat*

RESUM

En aquest estudi es presenten els principals resultats obtinguts per a la zona del Pirineu amb les projeccions regionalitzades desenvolupades pel Servei Meteorològic de Catalunya a una resolució espacial de 15 km. Les simulacions climàtiques han estat realitzades amb el model mesoescalar MM5 niat a les condicions de contorn del model acoblat de circulació general atmosfera-oceà ECHAM5/MPI-OM de l'IPCC-AR4. Les projeccions realitzades mostren que el Pirineu és la zona de Catalunya que patirà els canvis més significatius en les seves característiques climàtiques durant aquest segle a causa de l'escalfament global. Així per a finals de segle es projecten augments en la temperatura mitjana anual superiors a 4,5°C, una disminució de les precipitacions mitjanes anuals de l'ordre del 20% i disminucions de la velocitat del vent mitjana anual del 10%. S'espera també un augment important en la variabilitat de les temperatures, precipitacions i vents. A escala estacional els canvis previstos són menys robustos i molt més variats.

PARAULES CLAU: canvi climàtic, projeccions regionalitzades, escenaris d'emissions, MM5, Pirineu.

INTRODUCCIÓ

La resolució típica dels models de circulació general climàtics (MCGC), entre 100 i 300 km, no és suficient per a estudiar les característiques del clima a escala regional o local (a nivell de Catalunya o les seves comarques). Així les projeccions obtingudes directament dels MCGCs per al segle XXI no són útils per a avaluar els impactes a escala regional i local que tindran lloc a causa de l'escalfament global. Per aquest motiu, es recomana l'ús de tècniques de regionalització per a la realització d'escenaris climàtics futurs a alta resolució (IPCC, 2007). Aquestes tècniques consisteixen bàsicament en obtenir les variables meteorològiques principals amb un detall espacial més gran. Existeixen nombroses tècniques de regionalització, les quals es poden dividir en dos grups: estadístiques i dinàmiques. Les tècniques estadístiques utilitzen relacions empíriques que relacionen les variables climàtiques de gran escala (o predictors) amb les variables regionals o locals (predictands). Per una altra banda les tècniques dinàmiques usen models meteorològics d'àrea limitada (models mesoescalars) per a obtenir les mateixes variables.

En aquest treball s'utilitza una tècnica de regionalització dinàmica per a generar projeccions climàtiques a la zona del Pirineu a una resolució espacial de només 15 km. S'analitzen en detall les principals variables meteorològiques en superfície: temperatura a 2 m, precipitació, humitat relativa en superfície i velocitat del vent a 10 m.

METODOLOGIA

El model mesoescalar MM5 (Grell et al., 1994; Dudhia et al., 2005) s'ha niat unidireccionalment amb tres dominis de 135, 45 i 15 km de resolució horitzontal i 23 nivells de resolució vertical a les condicions de contorn subministrades pel model de circulació general acoblat atmosfera-oceà ECHAM5/MPI-OM (Roeckner et al., 2003) per a dues simulacions de l'IPCC-AR4 forçades durant el segle XXI amb els escenaris d'emissions considerades a l'informe de Nakićenović et al. (2000): A2 (sever) i B1 (moderat). Aquest model global té una resolució horitzontal de 1,875° (uns 200 km) i 19 nivells verticals. Al domini mare de l'MM5 (135 km) se li ha aplicat la tècnica del forçament dinàmic (*dynamical nudging*). Aquesta tècnica consisteix en forçar la simulació a seguir les condicions de contorn subministrades pel model global durant tota la integració. D'aquesta manera es garanteix la continuïtat de massa en les simulacions (integració d'àrea limitada). Aquesta tècnica també permet obtenir patrons de gran escala consistents amb els presents en la simulació global (Salathé Jr et al., 2008). Per una altra banda, els dominis segon i tercer de l'MM5 s'integren sense forçament dinàmic per tal que el model MM5 reproduïxi els fenòmens d'escala petita en aquests dos dominis i la tècnica de regionalització emprada sigui realment efectiva. Més informació sobre la metodologia emprada es pot trobar a Barrera-Escoda i Cunillera (2010).

RESULTATS I CONCLUSIONS

A continuació es presenten els principals resultats i conclusions que s'han obtingut amb les projeccions regionalitzades desenvolupades per a

la zona del Pirineu. Es presenta per una part l'evolució temporal durant aquest segle de les variables d'interès i per una altra banda un resum dels canvis projectats dividint el present segle en tres períodes d'anàlisi: 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Per a avaluar els canvis projectats en precipitació i temperatura per als tres períodes d'anàlisi es procedeix de la manera següent: primer es calculen els valors mitjans de les variables en qüestió per a la simulació de l'MM5 a 15 km per al període de control 1971-2000. Posteriorment, es calculen els valors mitjans de les variables per a la simulació de l'MM5 a 15 km per als tres períodes del segle XXI, però tenint en compte dos escenaris d'emissions diferents (A2 i B1). Finalment, es calculen les variacions de les variables com la diferència entre els valors mitjans de les dues simulacions forçades amb les emissions corresponents i la simulació de referència. En fer aquesta diferència se suposa que gran part dels errors i esbiaixaments, que produeix la metodologia emprada, quedaran cancel·lats. No obstant, no s'eliminen del tot perquè en un principi els esbiaixaments no són lineals, encara que els errors que presenta el model hi són presents sempre.

Les evolucions temporals projectades durant el segle XXI per a cadascuna de les variables d'anàlisi (Figura 1, temperatura; Figura 2, precipitació; Figura 3, humitat relativa i Figura 4, velocitat del vent) presenten una tendència clara al canvi durant el segle XXI, excepte per a la humitat relativa. Així per a la temperatura es projecta una augment important estadísticament significatiu de la mitjana anual que podria arribar a ser superior als 5°C cap a finals de segle i segons l'escenari A2. També és important i significativa la disminució projectada per a la velocitat mitjana del vent que podria ser de l'ordre del 10% per a finals de segle i mateix escenari. En canvi, la disminució de la precipitació no és tan marcada, tot i així per a finals de segle i escenari A2 podria ser propera al 40%. Els valors de les tendències en cadascuna d'aquestes variables es troben a la Taula 1.

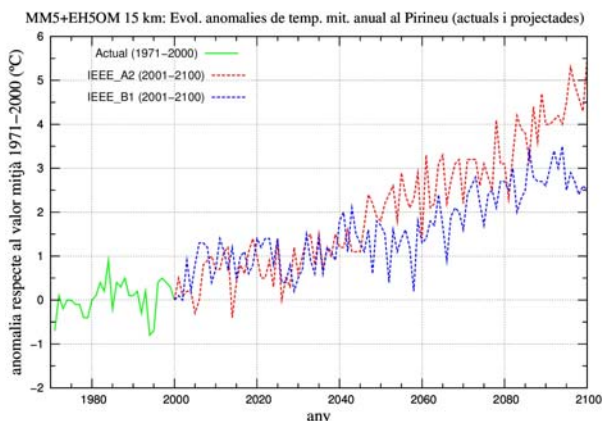


Figura 1 – Evolució temporal de les anomalies de temperatura mitjana anual a 2 m per al Pirineu

calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km per a 1971-2100. Període de referència 1971-2000.

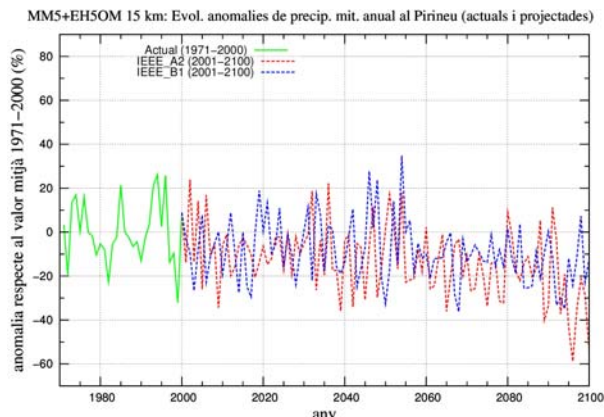


Figura 2 – Ídem per a la precipitació mitjana anual.

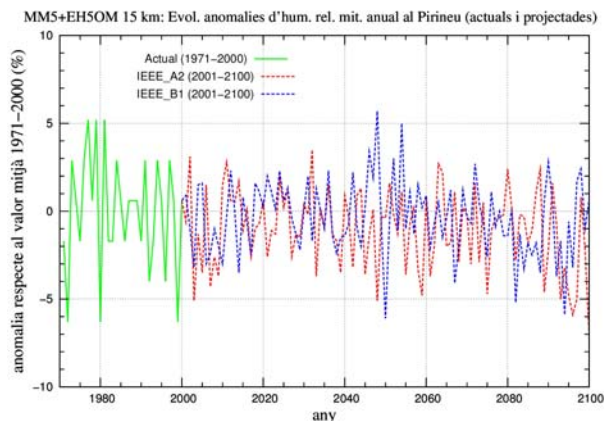


Figura 3 – Ídem per a la humitat relativa de l'aire en superfície mitjana anual.

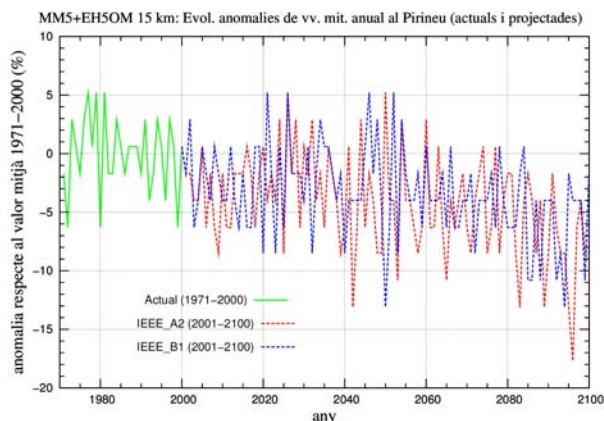


Figura 4 – Ídem per a la velocitat mitjana anual del vent a 10 m.

IEEE	TMA (°C)	PMA (%)	HRMA (%)	VVMA (%)
A2	+4,6	-20,9	-1,5 ^{NS}	-5,5
B1	+2,4	-10,8	-0,9 ^{NS}	-4,5

Taula 1 – Tendències lineals en 100 anys calculades per a les evolucions temporals projectades de les anomalies de temperatura (TMA), precipitació (PMA),

humitat relativa (HRMA) i velocitat del vent (VVMA) mitjanjes anuals al Pirineu per al període 2001-2100.

períodes d'estudi del segle XXI a nivell anual i estacional. Cal destacar-hi el següent:

A la Taula 2 apareix un resum dels canvis projectats en les variables d'interès per als tres

IEEE	Període	Estació	Variació Temp. (°C)			Variació Precip. (%)			Variació Vel. Vent (%)			Variació HR (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-40	Anual	0,8	0,9	0,7	-9,0	-6,1	-10,8	-0,3	0,8	-1,4	-2,6	-0,2	-3,9
		DGF	0,7	0,8	0,6	-4,8	6,8	-13,8	-0,3	1,4	-2,0	-4,0	-1,3	-6,6
		MAM	0,7	0,8	0,5	-14,1	-5,6	-19,7	-1,1	0,1	-1,8	-1,0	1,2	-3,9
		JJA	1,0	1,1	0,8	8,9	21,9	-1,7	1,5	1,9	0,2	-1,7	0,8	-3,9
		SON	0,9	1,0	0,7	-13,9	2,9	-24,9	-0,8	1,0	-2,4	-3,5	1,2	-5,8
	2041-70	Anual	2,2	2,3	2,0	-11,0	-4,2	-18,1	-0,9	0,7	-2,3	-4,5	-1,4	-6,9
		DGF	2,1	2,3	1,8	-4,0	12,1	-18,8	0,4	3,0	-2,6	-4,0	-1,3	-6,6
		MAM	1,9	2,0	1,7	-15,2	-6,0	-23,4	-1,0	0,0	-1,7	-1,0	1,2	-3,9
		JJA	2,6	2,7	2,4	-21,3	-12,3	-28,9	-1,5	0,0	-2,9	-1,7	0,8	-3,9
		SON	2,2	2,4	2,0	-10,2	11,6	-19,8	-1,5	0,3	-3,5	-3,5	1,2	-5,8
	2071-00	Anual	3,8	4,0	3,4	-21,7	-13,9	-29,7	-1,6	0,8	-3,8	-6,7	-2,8	-10,0
		DGF	3,2	3,5	3,0	-6,0	14,6	-20,8	0,9	4,0	-1,9	-5,3	3,7	-11,3
		MAM	3,2	3,5	2,9	-26,9	-16,9	-35,6	-1,6	0,3	-3,4	-4,2	1,0	-6,4
		JJA	4,5	4,8	4,0	-40,0	-24,5	-48,4	-2,4	0,4	-5,4	-10,6	-3,5	-16,5
		SON	4,0	4,4	3,6	-26,3	-11,3	-36,8	-3,2	0,6	-6,4	-8,5	1,1	-12,6
B1	2011-40	Anual	0,9	1,0	0,8	-5,0	3,9	-14,5	0,0	1,1	-1,0	-2,7	-0,4	-4,5
		DGF	1,0	1,2	0,9	1,7	20,9	-17,5	1,0	3,4	-1,7	-2,4	4,3	-7,6
		MAM	0,8	0,8	0,7	-12,5	-6,2	-17,8	-1,4	-0,9	-1,8	-3,5	1,5	-5,2
		JJA	1,1	1,2	1,0	4,1	22,0	-4,1	1,1	1,9	0,3	-3,2	-1,0	-6,3
		SON	0,8	0,9	0,6	-5,4	6,0	-15,0	-0,4	0,9	-1,6	-1,7	1,1	-4,1
	2041-70	Anual	1,4	1,5	1,3	-6,4	0,9	-12,5	0,1	1,1	-0,7	-3,1	-1,2	-4,5
		DGF	1,4	1,5	1,2	-4,8	4,3	-12,5	-0,2	1,1	-1,4	-3,8	-1,0	-6,3
		MAM	1,1	1,2	1,0	-14,1	-8,0	-20,3	0,1	1,2	-0,4	-2,9	-1,2	-4,5
		JJA	1,7	1,9	1,6	-2,9	18,1	-14,8	0,1	1,4	-1,2	-2,8	-0,7	-4,6
		SON	1,5	1,6	1,3	2,0	18,8	-13,4	0,5	2,3	-0,6	-2,7	4,5	-6,5
	2071-00	Anual	2,6	2,8	2,4	-13,5	-4,4	-21,4	-0,9	0,8	-2,5	-5,5	-2,3	-7,8
		DGF	2,2	2,4	2,0	-3,0	13,8	-19,2	0,7	2,7	-1,6	-5,7	0,5	-10,7
		MAM	2,3	2,5	2,0	-16,2	-7,2	-25,5	-0,7	1,5	-2,2	-4,0	-0,5	-6,6
		JJA	3,2	3,4	2,9	-24,0	-14,0	-30,8	-2,2	0,0	-4,2	-8,6	-2,9	-13,8
		SON	2,7	2,9	2,4	-19,0	-12,7	-25,5	-1,5	-0,2	-3,0	-4,6	-0,2	-8,5

Taula 2 – Resum dels canvis projectats en temperatura a 2 m, precipitació, humitat relativa en superfície i velocitat del vent a 10 m per al Pirineu segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEIEE és escenari d'emissions; Temp., temperatura; Precip., precipitació; Vel., velocitat del Vent i HR, humitat relativa

Les temperatures mitjanjes a l'estiu per a finals de segle (2071-2100) podrien arribar a ser 4,8°C superiors a les del període 1971-2000 (amb un valor mitjà de +4,5°C) segons l'escenari A2. Les precipitacions estiuenques, podrien arribar a ser fins a un 40% inferiors de mitjana (amb un valor màxim de reducció del 48%) per al mateix període i escenari. Aquesta reducció, a part de ser important en percentatge, és també important en quantitat, ja que l'estiu és l'estació més plujosa de l'any a gran part del Pirineu, sobretot a l'Oriental (Garrotxa, Ripollès i Alt Berguedà). Així doncs, hi

hauria un gran impacte en els recursos hídrics d'aquesta zona. Per a l'escenari B1 es projecten per a l'estiu variacions màximes de temperatura de +3,4°C (amb un valor mitjà de +3°C) i mitjanjes de precipitació de -24% (amb valors màxims de -31%) per a finals de segle.

Les temperatures hivernals també patirien un augment considerable, tot i que menor que l'estiu. Aquest augment es projecta en 3,2°C de mitjana per a finals de segle i escenari A2 (2,2°C per a B1). Aquest augment com és obvi tindria un

impacte important en l'estat i qualitat de la neu a gran part de la serralada, ja que es dona simultàniament amb una disminució lleu de la precipitació que podria arribar a ser un 21% inferior cap a finals de segle respecte als valors normals 1971-2000 per a l'escenari A2 (19% per al B1). Tot i així en algunes zones del Pirineu la precipitació hivernal tindria un augment de l'ordre del 10%.

Les precipitacions mitjanes a la primavera també es veurien reduïdes d'una manera apreciable amb valors mitjans de reducció semblants (13-16%) per als tres períodes d'estudi del s. XXI i per a ambdós escenaris d'emissions, excepte per A2 i finals de segle que es del 26% de mitjana. Tot i així, la magnitud de la reducció és menor que la projectada per a l'estiu. La primavera també és una estació molt plujosa a gran part del Pirineu, amb la qual cosa, les reduccions que es projecten tindrien un important impacte en els recursos hídrics del país, ja que és on es troben totes les capçaleres dels principals rius catalans.

En precipitació, per a algunes estacions els canvis són pocs robustos, ja que es donen variacions de signe oposat segons escenari i/o període analitzat. Per exemple, a l'hivern es projecta un augment mitjà de l'1,8% per al període 2011-2040 i escenari B1, mentre que per a l'A2 es projecta una disminució mitjana del 4,8%. Una altra estació amb la mateixa problemàtica és la tardor, per a la qual es projecta una disminució mitjana de l'ordre del 10% per a l'escenari A2 i període 2041-2070, mentre que per al B1 es projecta un augment mitjà de l'ordre del 2% per al mateix període. Amb aquest fet es fa difícil doncs poder avaluar els futurs impactes en els recursos hídrics de la zona per a l'hivern i la tardor.

La humitat relativa patirà canvis molt poc importants, amb valors semblants per a totes les estacions de l'any i els canvis més importants en la velocitat del vent es donarien a l'estiu, amb reduccions de fins a gairebé el 17% cap a finals de segle segons l'escenari A2 i fins a gairebé el 14% per al B1. Per a la resta d'estacions els canvis són més modestos.

Finalment, s'ha de comentar que la variabilitat de les variables considerades es veuria augmentada durant aquest segle, ja que les respectives distribucions de freqüències mensuals projectades (no es mostren) es van eixamplant a mesura que avança aquest segle.

AGRAÏMENTS

Estic molt agraït als meus companys de l'Àrea de Recerca i Modelització de l'SMC pels seus comentaris i per la seva ajuda en l'elaboració d'aquest estudi. També vull agrair la col·laboració i ajuda ofertes pel Dr. Vicent Altava i Ortiz de la UB.

REFERÈNCIES

- BARRERA-ESCODA, A., CUNILLERA, J., 2010. Study of the precipitation evolution in Catalonia using a mesoscale model (1971-2000), *Advances in Geosciences*, 26, 1-6.
- DUDHIA, J., GILL, D., MANNING, K., WANG, W., BRUYERE, C., 2005. PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and Users' Guide (MM5 Modeling System Version 3). Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, EUA.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J., STAUFFER, D.R., 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), NCAR Technical Note 398, Mesoscale and Microscale Meteorology Division, 121 pp.
- NAKIĆENOVIĆ, N., SWART, R., ALCAMO, J., DAVIS, G., DE VRIES, B., FENHANN, J., GAFFIN, S., GREGORY, K., GRÜBLER, A., JUNG, T.Y., KRAM, T., LA ROVERE, E.L., MICHAELIS, L., MORI, S., MORITA, T., PEPPER, W., PITCHER, H., PRICE, L., RIAHI, K., ROEHL, A., ROGNER, H.-H., SANKOVSKI, A., SCHLESINGER, M., SHUKLA, P., SMITH, S., VAN ROOIJEN, S., VICTOR, N., DADI, D., 2000. Emissions Scenarios 2000–Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (SRES-IEEE). Cambridge University Press, Cambridge, RU, 570 pp.
- IPCC, 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Cambridge University Press, RU i EUA, 996 pp.
- ROECKNER, E., BÄUML, G., BONAVENTURA, L., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, M., HAGEMANN, S., KIRCHNER, I., KORNBUEH, L., MANZINI, E., RHODIN, A., SCHLESE, U., SCHULZWEIDA, U., TOMPKINS, A., 2003. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I. Max-Planck Institut für Meteorologie, Report No. 349, Hamburg, Alemanya, 127 pp.
- SALATHÉ Jr, E.P., STEED, R., MASS, C.F., ZAHN, P., 2008. A high-resolution climate model for the United States pacific northwest: Mesoscale feedbacks and local responses to climate change. *Journal of Climate*, 21, 5708-5726.

LA INCIDÈNCIA DEL CANVI CLIMÀTIC EN EL TURISME HIVERNAL. S'HA ACABAT L'ESQUÍ?

Joan Carles Llurdés i Coit ⁽¹⁾; David Saurí i Pujol ⁽²⁾

(1) Dpt. de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona (joancarles.llurdes@uab.cat)

(2) Dpt. de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona (david.sauri@uab.cat)

RESUM

Tot i els sotrats que la crisi econòmica actual està causant en el sector, el turisme continua sent clau de l'economia catalana. La gran diversificació del turisme català, tanmateix, fa que l'impacte de la crisi sigui molt diferent segons la modalitat (sol i platja, turisme d'hivern, rural, etc.). Totes aquestes modalitats (i d'altres) depenen estretament de les condicions climàtiques i per tant, tenen una relació molt directa amb el fenomen del canvi climàtic. Tanmateix, i tot i les evidències creixents sobre aquesta relació i els greus impactes que el canvi climàtic podria ocasionar en el turisme català, la impressió que es té és que el sector turístic català continua ignorant, o fins i tot menystenint, aquest tema. En part, aquesta actitud està segurament relacionada amb les incerteses que envolten el tema (alimentades per la manca de prou estudis científics sobre les relacions entre canvi climàtic i turisme a Catalunya), i també pel major pes de les qüestions conjunturals i a curt termini en les prioritats del sector. Malgrat això, també s'ha de reconèixer que la influència de la sostenibilitat i de les actituds ambientals cada cop són més paleses en el sector turístic. Aquesta ponència segueix la següent estructura: primer, es fa una breu introducció contextual del turisme a Catalunya i les principals i recents tendències turístiques; segon, s'analitzaran les relacions entre turisme i clima i com aquest és un recurs de primer ordre en certs tipus de turisme (òbviament l'hivernal també). Tercer, es presenten els possibles impactes del canvi climàtic en el turisme d'hivern. Finalment, s'analitzen algunes possibles mesures d'adaptació del sector, de caire tecnològic i en clau de gestió del negoci turístic.

PARAULES CLAU: Turisme, neu, canvi climàtic, impactes, Catalunya

INTRODUCCIÓ CONTEXTUAL

El turisme ha esdevingut avui dia una de les activitats de més pes a tots els nivells i alhora, ha esdevingut també un reflex més de la societat contemporània de consum de masses. Tothom viatja i fa turisme i això propicia que el turisme ja no sigui un luxe sinó una necessitat per a molta gent. Per això que es digui que és el sector que més bé resisteix els períodes de crisi i recessió i el que també es recupera més ràpidament d'aquests moments d'incertesa.

Des del punt de vista turístic, podríem dir que Catalunya és una mena de microcosmos, doncs reuneix una àmplia varietat d'activitats turístiques, unes de molt massificades i altres de no tant. Mentre en algunes zones ha esdevingut un monopoli econòmic, en altres l'"aposta" per aquest sector és cada cop més decidida. Per exemple un dels indicadors més clar d'aquest fet és el de la capacitat d'allotjament per comarques (figura 1).



Figura 1. Capacitat d'allotjament total per comarca (2009)

TURISME I CLIMA

Encara que no tot depèn del clima, aquest és un dels factors més decisius que determinen el potencial turístic d'un territori, sobretot d'aquelles modalitats més massificades (sol i platja, esquí i productes derivats, etc.).

S'ha de tenir en compte el concepte d'"*aptitud climàtica*" perquè a diferents turismes, diferents graus de vulnerabilitat front canvis en els trets del clima. Des d'aquest punt de vista, la pregunta a fer-nos seria si el turisme d'hivern és un dels més vulnerables. Al cap i a la fi, cal tenir en compte que la selecció de la destinació per part d'un turista és quelcom complex; intervenen factors de diversa índole i per suposat, el clima n'és un dels més importants (o el que més!).

Catalunya està en disposició d'atreure un gran volum de turistes europeus, però un canvi en les seves condicions ambientals (o climàtiques) pot afectar (per bé o per malament) el seu atractiu. La demanda pot "fugir" d'una zona en benefici d'una altra; la pràctica del turisme de neu continuaria però ... a on?

POSSIBLES IMPACTES DEL CANVI CLIMÀTIC EN EL TURISME D'HIVERN

A Catalunya, el turisme d'hivern mostra un elevat potencial d'impacte en un context de canvi de clima. L'augment de la temperatura mitjana ha de suposar menys neu en els dominis esquiables, de menor qualitat i un escurçament de la temporada d'esquí, sobretot a les estacions situades en cotes més baixes.

La combinació més temuda és la de dèficits de precipitació amb unes temperatures per sobre del normal en els primers trams de l'estació. Això representaria un impacte molt sever en els gruixos i la durada de la resta de la temporada.

Per exemple, el gradient tèrmic en funció de l'altitud es pot considerar d'1°C / 100 m. Així, un increment mitjà de la temperatura de 2°C (un dels escenaris previstos per a l'àrea mediterrània)

probablement situaria la cota de neu per sobre dels 2.000 m.

A les taules 1 i 2 s'exposen les dades més bàsiques de les estacions d'esquí alpí de Catalunya (superior) i de fons (inferior)

Malgrat que la impressió general al nostre país no és aquesta, diríem que hom és conscient que el canvi de clima està alterant el funcionament del negoci de la neu. Per exemple, al centre d'Europa no es concep una estació d'esquí en cotes inferiors als 1.400 m. I ja són moltes les veus que avisen que la cota mínima pujarà en breu fins els 1.700 m. Sembla, doncs, que en general, l'esquí a les cotes més baixes de les muntanyes europees té els seus dies comptats.

A Catalunya existeix una major vulnerabilitat a l'augment tèrmic d'una bona part dels dominis esquiables. En general la cota mínima per a la pràctica de l'esquí es situa al voltant dels 1.700-1.800 m., altitud a partir de la qual els gruixos tendeixen a superar els 15 cm. i poden mantenir-se uns 3-4 mesos l'any. I, òbviament, tenir neu és el **requisit** imprescindible per a la pràctica del turisme d'hivern (esquí i altres activitats).

Podríem parlar d'unes primeres "víctimes" de tot això: el tancament de l'estació d'esquí dels Rasos de Peguera i un funcionament irregular de la del Port del Comte? Ambdues al Prepirineu.

ALGUNES MESURES D'ADAPTACIÓ

Les dividíem en dos grups: mesures que podríem qualificar de "tecnològiques" i altres que cauen més en l'àmbit de la gestió del negoci turístic. De les primeres, es parla de: a) trasllat dels dominis esquiables a cotes més altes; b) augment de la capacitat de fabricació de neu artificial (de ben segur aquesta ha estat la mesura més àmpliament adoptada), tot i els suposats impactes ambientals que poden implicar; c) millora de la fiabilitat de les prediccions del temps i evolució del clima; d) els anomenats "parcs de neu".

Nom estació	Any creació	Cotes mín. i màx. (m)	Km àrea esquiable	Total pistes	Canons neu	Km pistes innivades	Viatgers hora
Baqueira-Beret	1964	1.500-2.510	108	69	549	39	56.403
Boí-Taüll	1990	2.020-2.750	45,3	52	205	20,2	19.690
Espot Esquí	1967	1.500-2.500	23'5	22	104	10,6	9.140
La Molina	1943	1.700-2.445	60	52	440	27	25.500
Masella	1967	1.600-2.535	68	57+19	418	33	12.160
Port-Ainé	1986	1.650-2.440	32,5	22	90	12	11.850
Port del Comte	1973	1.700-2.400	40,7	36	240	20	15.460
Tavascan	1991	1.750-2.250	5	5	0	nd	1.200
Vall de Núria	1947	1.964-2.252	7,6	11	85	6,6	4.560
Vallter2000	1975	1.959-2.535	19,9	14	77	9	7.200
Total	--	--	409,9	359	2.208	177,4	163.163

Taula 1. Dades bàsiques de les estacions d'esquí alpí de Catalunya.

Nom estació	Any Creació	Cotes mín. i màx. (m)	Total pistes	Recorregut llarg (km)	Circuit skating (km)	Altres (km)
Aransa	1986	1.850-2.150	32	15	10	10 ⁽¹⁾
Bosc Virós	2001	1.500-2.200	28	12	--	12 ⁽²⁾
Guils Fontanera	1993	1.905-2.080	45	15	8	10 ⁽³⁾
Lles	1970	1.900-2.235	36	14 + 14	22,3	--
St. Joan de l'Erm	1970	1.690-2.080	38	15	18	--
Tuixent-Lavansa	1978	1.830-2.150	32,3	13	3,5	--
Total	--	--	211,3	98	61,8	32

Taula 2. Dades bàsiques de les estacions d'esquí de fons de Catalunya.

De les mesures relacionades amb la gestió del negoci, es pot parlar de: a) possibles canvis en el funcionament "estàndard" d'una estació d'esquí; b) mesures per fidelitzar clients; c) diversificació del negoci (menys neu i apostar per altres activitats no tan climàtico-depenents); d) passar d'estacions d'esquí a estacions de muntanya; e) captació de clients no esquiadors; f) deixar de banda el negoci immobiliari com a principal suport del negoci de l'esquí; g) concentració empresarial; etc.

ALGUNES CONCLUSIONS

El canvi climàtic suposarà modificacions molt importants en el comportament dels turistes, però difícils de predir. I pel que fa al turisme d'hivern els impactes del canvi de clima són inevitables. A mig-llarg termini es preveu una afectació força negativa, i l'evolució futura dependrà de les mesures d'adaptació/mitigació que s'adoptin.

Tradicionalment, al nostre país el turisme s'ha mostrat molt més atent a qüestions conjunturals de curt termini que a d'altres de més estructurals i fins el moment, els impactes d'un canvi climàtic no han generat, encara, gaire preocupació.

En general, predomina una clara "aposta" per solucions més ràpides, com és la fabricació de neu artificial i de fet, la innivació artificial ha estat una mesura molt reeixida a la variabilitat climàtica, tot i les limitacions ambientals i econòmiques. Ara bé, això no solucionarà el problema; si de cas, el retardarà en el temps i el traslladarà a cotes més altes.

El que sembla cada cop més clar és que a casa nostra, el turisme basat en els esports hivernals i en concret l'esquí, sembla haver arribat a un sostre en la seva expansió.

AGRAÏMENTS

Agraïments al company David Saurí per fer-me particip d'aquest àmbit d'investigació i sense el qual no hi seria aquí.

BIBLIOGRAFIA

- Clarimont, S. 2008. "Turismo de invierno y cambio climático: La producción de nieve artificial en los Pirineos, ¿un uso sostenible del agua?". *6º Congreso Ibérico sobre gestión y planificación del agua*, Vitòria, 5 de desembre.
- Gössling, S., Hall, C. 2006. "Uncertainties in predicting tourist flows under scenarios of climate change", *Climatic Change*, 79 (3-4): 163-173.
- Hall, C.M., Higham J. (eds.) 2005. *Tourism, recreation and climate change*, Clevedon, UK, Channel View Publications.
- Llurdés, Joan C., Romagosa, F., Priestley, G. 2009. *Perfil de sostenibilitat de Catalunya. Anàlisi sectorial – Turisme*. Barcelona, Direcció General de Polítiques Ambientals i Sostenibilitat, Dpt. de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya.
- Saurí, D., Llurdés, J.C. 2010 "El turisme" (capítol 19), a Josep Enric Llebot (ed.), *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*, pp. 835-871. Barcelona, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (Generalitat de Catalunya) i Institut d'Estudis Catalans.
- Steiger, R., Mayer, M. 2008. "Snowmaking and climate change. Future options for snow production in the Tyrolean sky resorts", *Mountain Research and Development*, 28 (3/4): 292-298.
- Wolfsegger, C. Gössling, S. Scott, D. 2008. "Climate change risk appraisal in the Austrian ski industry", *Tourism Review International*, 12(1): 13-23.

Predicció d'allaus
Prediccion de lauegi
Predicción de aludes
Prédiction d'avalanches

SI LA NEU ÉS EL PROBLEMA, LA SOLUCIÓ ÉS EN EL TERRENY: APLICACIÓ DE L'ESCALA DE CLASSIFICACIÓ DEL TERRENY ALLAVÓS A LA VAL D'ARAN

Montserrat Bacardit ⁽¹⁾; Ivan Moner ⁽²⁾ i Jordi Gavaldà ⁽³⁾

Centre de Prediccion de Lauegi dera Val d'Aran, Conselh Generau d'Aran, Pg. dera Libertat, 16, 25530 Vielha, Val d'Aran, www.lauegi.conselharan.org

(1) m.bacardit@aran.org; (2) j.gavaldà@aran.org; (3) i.moner@aran.org

RESUM

L'Escala de Classificació del Terreny Allavós (ECTA) és un projecte implementat per Parks Canada amb l'objectiu de classificar el terreny en funció de l'exposició a les allaus. Els canadencs han valorat els seus itineraris més populars, atribuint a cada itinerari una categoria d'una escala de tres valors – simple, desafiant o complex –. En una segona fase, l'ECTA s'ha executat a escala zonal, és a dir, els criteris de classificació del terreny s'han aplicat per zones de terreny definides. En aquesta ponència presentem la primera experiència d'aplicació de l'ECTA – per un conjunt d'itineraris i zones de terreny – en un sector pilot de la Val d'Aran, i fem una proposta de sortida pública per tota la Val d'Aran mitjançant diversos elements de difusió. L'usuari disposarà d'una eina molt pràctica per a escollir el terreny i l'itinerari més adequat a les condicions de neu i perill d'allaus pronosticades.

PARAULES CLAU: terreny allavós, exposició a les allaus, itinerari, zona, planificació de la sortida, Val d'Aran.

INTRODUCCIÓ

La clau per a dur a terme una circulació segura és saber reconèixer les opcions de terreny que són apropiades per les condicions actuals de neu i allaus.

L'Escala de Classificació de Terreny Allavós (ECTA) és un projecte posat en marxa el 2004 per Parks Canada amb l'objectiu de classificar el terreny en funció de l'exposició a les allaus (Statham et al., 2004). Els canadencs han valorat els seus itineraris més populars utilitzant aquest sistema, assignant a cada itinerari una categoria d'una escala de tres valors – simple, desafiant o complex –. El sistema no només qualifica el terreny allavós sinó que també indica com de procliu és a l'activitat d'allaus. Per exemple, en un dia de perill d'allaus molt fort, el pitjor dels itineraris que l'usuari pot escollir és aquell ubicat en un terreny complex, ja que es trobarà amb múltiples zones d'inici, trajecte o arribada d'allaus, grans extensions de terreny obert i pendent, trampes, etc., i amb molt poques opcions per reduir l'exposició. Aquesta classificació bàsica del terreny ha demostrat ser una eina molt útil i popular de planificació de les sortides per a tots els usuaris de la muntanya al Canadà, fent-se extensa als EUA i a Nova Zelanda.

L'ECTA s'ha implementat en una primera fase a nivell d'itineraris. Tanmateix, el fet de classificar itineraris – rutes lineals – implica que la categoria de terreny assignat tan sols serveix per aquell itinerari estrictament. En una segona fase, Parks

Canada conjuntament amb el Canadian Avalanche Centre (CAC) han implementat l'ECTA a nivell zonal, és a dir, els criteris de classificació del terreny s'han aplicat per zones de terreny definides. D'aquesta manera, totes les possibilitats d'itinerari incloses dins d'una zona concreta són avaluades per a classificar el terreny.

El Centre de Prediccion de Lauegi dera Val d'Aran aplica des de la temporada 2007/2008 un sistema de predicció del perill d'allaus local basat amb un format de semàfors per un total de 17 itineraris de muntanya (Gavaldà i Moner, 2008). La predicció dels itineraris es publica setmanalment i és complementària al Butlletí de Perill d'Allaus (BPA) per la Val d'Aran, que des de la present temporada 2010-2011 es publica tres dies per setmana.

En els darrers anys a la Val d'Aran s'ha observat un clar augment d'usuaris de la muntanya durant l'hivern, amb un nivell de coneixements en neu i allaus molt variable i fent activitats tant diverses com l'esquí de muntanya, el surf de muntanya, el freeride fora pistes, les raquetes de neu i l'heliesquí. La classificació del terreny on fer activitat hivernal a la Val d'Aran mitjançant l'escala de terreny allavós ajudarà als usuaris a planificar i adequar les seves sortides a les condicions de perill d'allaus pronosticades.

Els objectius específics de l'estudi que us presentem són els següents:

- Aplicar experimentalment el model de l'ECTA per un subconjunt d'itineraris i de zones d'un sector de la Val d'Aran.
- Comparar i discutir els resultats obtinguts a nivell d'itinerari i a escala de zona.

- Revisar i adaptar, si cal, els criteris de classificació del terreny allavós per la Val d'Aran, com a àrea pilot del Pirineu.
- Fer una proposta de sortida pública de l'ECTA per la Val d'Aran.

L'ESCALA DE CLASSIFICACIÓ DEL TERRENY ALLAVÓS (ECTA)

Amb l'objectiu de fer arribar l'ECTA a totes les audiències implicades, Parks Canada ha desenvolupat dos models – un per a tot el públic en general i un altre destinat als professionals –. La Taula 1 presenta el Model de Comunicació Pública (v.1-04) amb les tres classes de terreny, simple, desafiament i complex i els criteris bàsics de classificació corresponents. El terreny simple requereix nocions bàsiques d'apreciació del terreny i una bona dosi de sentit comú. És el tipus de terreny adreçat a muntanyencs novells amb coneixements elementals de neu i allaus. Els terrenys desafiament i complex demanen nocions de terreny cada vegada més avançades i també coneixements per comprendre els continguts del Butlletí de Perill d'Allaus i saber-los aplicar sobre el terreny.

La Taula 2 mostra el Model Tècnic (v.1-04), basat en 11 variables discretes que vénen a dir el mateix que els criteris bàsics de classificació del terreny però utilitzant un llenguatge més específic per a professionals i usuaris experts. El Model Tècnic serveix per fer la classificació. Això és un valor important de l'ECTA, ja que diferents persones basant-se en el mateix model poden fer classificacions equivalents i comparables.

Cada trosset de terreny tindrà elements que poden classificar-se en categories diferents. Per a aplicar l'ECTA, cal considerar totes les variables descrites pel Model Tècnic, però amb alguns elements prioritaris per defecte. Així, el terreny qualificat amb descriptors en cursiva i negreta, automàticament recau en aquella classe de terreny o en una de més alta. La resta de descriptors pesen menys en la classificació del terreny, però han de ser tingudes en compte en combinació amb els altres factors.

A més d'aquests 11 descriptors, Statham i col·laboradors (2004) comenten la possibilitat d'incorporar la variable "Orientació" o bé les variables "Exposició al vent" i "Exposició al sol", factors que no poden ser obviats en un anàlisi del terreny a escala de vessant. En aquesta primera experiència d'aplicació de l'ECTA a escala d'itinerari i de zona a la Val d'Aran, tampoc hem incorporat cap variable referent a l'orientació.

Taula 1. Model de Comunicació Pública (v.1-04), adaptat de Statham i col·laboradors (2004).

Descripció	Classe	Criteris de classificació del terreny
SIMPLE	1	Exposició a pendents baixos i terreny forestal. Algunes clarianes de bosc poden implicar zones d'arribada d'allaus poc freqüents. Moltes opcions per reduir o eliminar l'exposició. No es passa per terreny glacial.
DESAFIANT	2	Exposició a zones de trajecte d'allaus ben definits, a zones de sortida o a trampes. Hi han opcions per reduir o eliminar l'exposició trobant rutes amb compte. Es passa per terreny glacial senzill però també pot haver-hi perill per esquerdes.
COMPLEX	3	Exposició a zones de trajecte d'allaus múltiples i superposades o a grans extensions de terreny obert i pendent. Zones d'inici d'allaus múltiples i amb trampes a sota. Mínimes opcions de reduir l'exposició. Es passa per terreny glacial complicat amb grans zones d'esquerdes o cascades de gel.

MATERIALS I MÈTODES

Fins la present temporada, el Centre de Predicció de Lauegi ha fet la predicció local d'un total de 17 itineraris distribuïts en tres sectors: el sector nord-est, el sud-est i el sud-oest. Per aquest estudi, hem delimitat una àrea experimental anomenada "Pontet" dins del sector sud-oest d'Aran (Figura 1), amb un accés principal, la pista de la boca nord del túnel de Vielha (1.380 m), porta d'entrada de nombrosos itineraris i ascensions. En aquesta àrea, hem fet una selecció de set itineraris de dificultat tècnica

Taula 2. Model Tècnic (v.1-04), adaptat de Statham i col·laboradors (2004).

Variables	1 - SIMPLE	2 - DESAFIANT	3 - COMPLEX
Pendent	Pendent generalment $< 30^{\circ}$	Generalment pendent baix, pales aïllades $>35^{\circ}$	Variable amb % elevat de $>35^{\circ}$
Forma de la pala	Uniforme	Algunes convexitats	Convolut
Densitat del bosc	Bosc amb algunes clarianes	Bosc i terreny obert	Grans extensions de terreny obert. Bandes aïllades d'arbres
Trampes	Mínimes, alguns rierols o espadats	Algunes depressions, barrancs i/o terreny allavós per sobre	Moltes depressions, barrancs, penya-segats, pales que amaguen barrancs a sota, cornises
Freqüència allaus (allaus: anys)	1:30 \geq mida 2	1:1 $<$ mida 2 1:3 \geq mida 2	1:1 $<$ mida 3 1:1 \geq mida 3
Densitat zona de sortida	Terreny obert limitat	Terreny obert. Algunes zones de trajecte d'allaus arriben al fons de vall	Grans extensions de terreny obert. Moltes zones de trajecte d'allaus arriben al fons de vall
Característiques zones d'arribada	Solitàries, àrees ben definides, transicions suaus, dipòsits estesos	Transicions abruptes o depressions amb dipòsits profunds	Zones d'arribada múltiples i convergents, àrea de dipòsit confinada, traces escarpades a sobre
Interacció amb trajectes d'allaus	Només zones d'arribada	Única zona de trajecte o diverses zones de trajecte separades	Zones de trajecte nombroses i superposades
Opcions de ruta	Nombroses, terreny permet múltiples opcions	Selecció d'opcions d'exposició variable, hi ha opcions d'evitar les zones de trajecte	Oportunitats limitades de reduir l'exposició, passos obligats
Temps d'exposició	No hi ha exposició o exposició limitada només a creuar zones d'arribada	Exposició ocasional a zones de sortida i de trajecte	Exposició freqüent a zones de sortida i de trajecte
Glacera	No	Generalment suau, amb bandes aïllades d'esquerdes	Seccions d'esquerdes trencades o empinades. Exposició a cascades de gel o seracs

variable, i hem definit sis zones. Per a delimitar les zones, hem escollit subàrees de terreny el màxim d'homogeni possible, a partir de paràmetres com el pendent, la densitat del bosc, la rugositat i la forma del terreny, presència de trampes, etc.

Per aplicar el Model Tècnic de l'ECTA a l'àrea experimental de Pontet, hem utilitzat els mapes topogràfics d'escala 1:25.000 i 1:5.000, els ortofotomapes d'escala 1:25.000 i 1:5.000, el mapa de pendents derivat del Model Digital del Terreny (resolució de 30 m), la Base de Dades d'Allaus de Catalunya (www.icc.cat/msbdac) i fotografies de la zona. A banda d'aquests materials, per a aplicar el Model Tècnic de l'ECTA, és imprescindible tenir un molt bon coneixement del terreny en condicions hivernals. Per a valorar la variable "Freqüència d'Allaus" hem utilitzat la nova escala de mida de les allaus descrita a l'European Avalanche Warning Services (www.avalanches.org).

PRIMERS RESULTATS I DISCUSSIÓ

La Taula 3 exhibeix els primers resultats de l'aplicació del Model Tècnic de l'ECTA pels set itineraris (rutes) seleccionats dins l'àrea experimental de Pontet. L'Accés a Pontet és l'únic itinerari classificat com a simple, mentre que les ascensions clàssiques al Tuc d'Horno, Tuc deth Pòrt de Vielha i Tuc de Montanèro són de categoria desafiant i els itineraris de descens de les canals de Fontfreda i de Montanèro i la volta al

Tuc des Hemnes són de nivell complex. El pas següent ha estat aplicar el Model Tècnic de l'ECTA per les sis zones (polígons) definides dins l'àrea experimental de Pontet. Els resultats es presenten a la Taula 4. La zona dels prat i el bosc de Sasplans, i la zona que comprèn l'accés a Pontet i tot el fons de la vall del barranc de Fontfreda és terreny simple. Quan el terreny s'obre i guanya pendent, esdevé més convex, apareixen trampes, etc. el terreny és desafiant, que correspon a les comes d'Horno i deth Pòrt de Vielha. El terreny més pendent, convolut i amb major nombre de trampes és complex, i inclou les

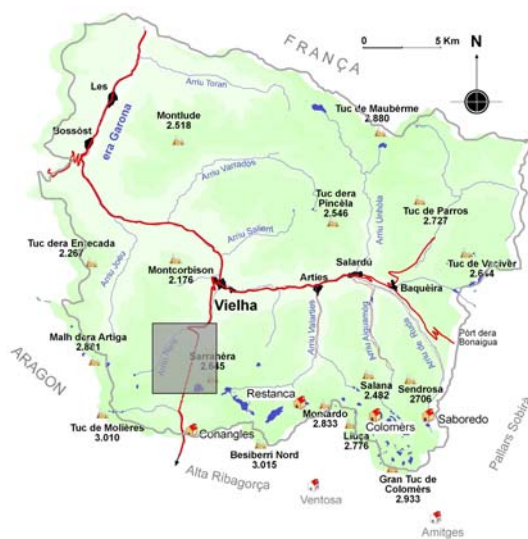


Figura 1. Mapa de la Val d'Aran amb indicació de l'àrea experimental de Pontet.

Taula 3. Classificació del terreny pels set itineraris de l'àrea de Pontet.

Nº	Itinerari	Classe de
1	Accés a Pontet	Simple
2	Ascensió al Tuc d'Horno	Desafiant
3	Ascensió al Tuc deth Pòrt de Vielha	Desafiant
4	Ascensió al Tuc de Montanèro	Desafiant
5	Tuc deth Port de Vielha - descens canals de Fontfreda	Complex
6	Tuc de Montanero - descens canal coma deth Pòrt	Complex
7	Volta circular al Tuc des Hemnes	Complex

Taula 4. Classificació del terreny per les sis zones de l'àrea de Pontet.

Lletra	Zona	Classe de
A	Sasplans	Simple
B	Pontet	Simple
C	Comes d'Horno i deth Pòrt de Vielha	Desafiant
D	Sèrra d'Horno	Complex
E	Sèrra de Montanèro	Complex
F	Sèrra de Fontfreda	Complex

crestes i els tucs culminants de les Serres d'Horno, Montanèro i Fontfreda. La Figura 2 mostra el mapa topogràfic de l'àrea de Pontet amb la representació dels set itineraris i de les sis zones classificades mitjançant l'ECTA. Al mateix mapa, també indiquem els trajectes d'allaus principals, és a dir, allaus que cauen de manera espontània anualment i de mida 2 (petita) com a mínim. Els itineraris que passen per polígons de classe de terreny diferent, han

obtingut la classe de terreny més elevada dels polígons, per tant hi ha una bona concordança dels resultats obtinguts entre els itineraris i les zones.

De les 11 variables del Model Tècnic, per aquest estudi no hem valorat la variable "Glacera" ja que a la Val d'Aran no hi ha terreny glaciari. Pel que fa a la resta de variables, el "Pendent", les "Opcions de Ruta", i el "Temps d'Exposició" són els factors que més ens han fet decantar la balança, és a dir, són els que més han pesat per atorgar una classe de terreny.

APLICACIÓ DE L'ECTA A LA VAL D'ARAN

Amb els resultats d'una primera experiència d'aplicació de l'ECTA a l'àrea de Pontet, ens proposem aplicar el Model Tècnic de l'ECTA –tant a nivell d'itinerari com a nivell zonal– per tots els sectors on es pot fer activitat a la Val d'Aran. La sortida pública seria mitjançant els següents elements de difusió:

- Incorporar l'ECTA per la Val d'Aran a la web del Centre de Prediccion de Lauegi i fer accessible la classificació dels itineraris i de les zones en un mapa 3D de Google Earth.
- Un mapa – tríptic de la Val d'Aran amb la presentació del Model Públic de l'ECTA i la classificació dels itineraris i de les zones per sectors.
- Panells informatius emplaçats als punts principals d'accés amb l'ortofotomapa del sector i la classificació del terreny, tant a nivell d'itineraris com de zones.

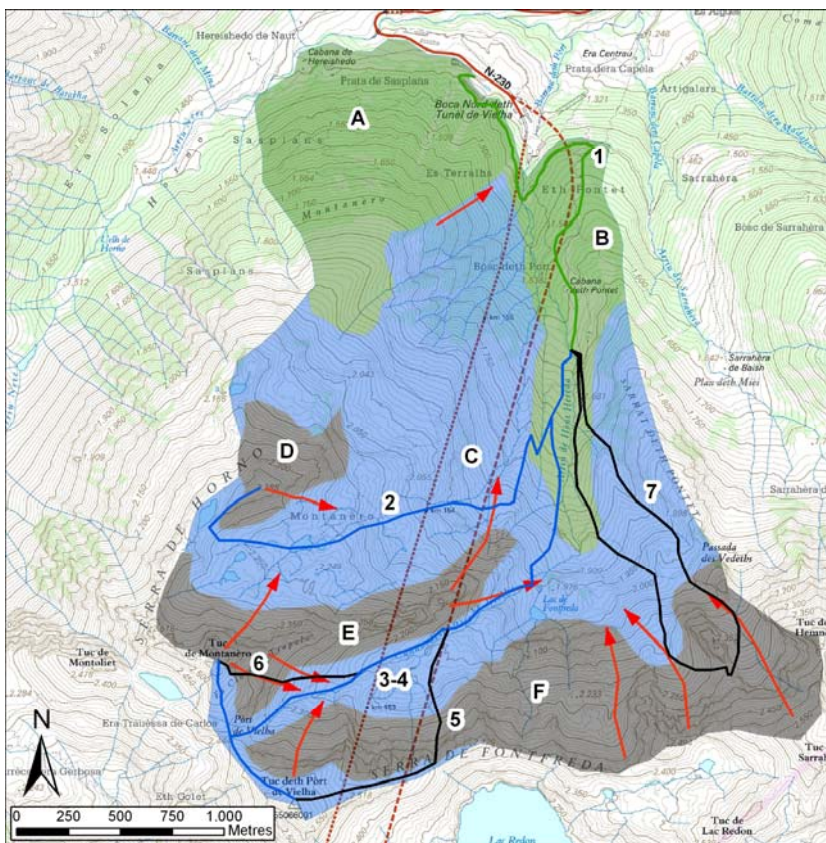


Figura 2. Àrea experimental de Pontet (sector sud-oest d'Aran) amb indicació dels itineraris (rutes lineals, en números) i de les zones (àrees de terreny, en lletres) classificades. Vegeu la llegenda de números i lletres a les Taules 3 i 4. Per ambdós elements, el color indica la classe de terreny assignada: verd = simple; blau = desafiant; negre = complex. Les fletxes vermelles indiquen els trajectes d'allaus principals.

CONCLUSIONS I OBSERVACIONS

Amb la primera experiència d'aplicació del Model Tècnic de l'ECTA per l'àrea de Pontet, hem pogut discriminar zones del terreny i atorgar als itineraris classes de terreny allavós diferents. Per això, veiem que té sentit fer extens el projecte per la resta de sectors de la Val d'Aran.

Amb els diversos elements de difusió pública de l'ECTA, l'usuari – conscient del seu nivell tècnic i dels seus coneixements d'apreciació del terreny – tindrà una eina molt pràctica per a escollir el terreny i l'itinerari més adequat on fer la seva activitat hivernal.

Un pas més enllà, ens proposem desenvolupar una eina complementària per a la planificació de les sortides prenent com a exemple l'Avaluator v.2.0 del canadenc Pascal Haegeli (2010). La finalitat d'aquesta eina és conduir a l'usuari en l'elecció objectiva i sistemàtica de la sortida adequada al terreny (mitjançant l'ECTA) i a les condicions actuals de neu i perill d'allaus (mitjançant el BPA). Amb aquesta eina, l'usuari combina ambdues informacions i obté com a resultat un conjunt de recomanacions adequades al seu nivell d'entrenament i de l'experiència en terreny de neu i allaus per a poder gestionar amb èxit el perill d'allaus sota unes condicions i un tipus de terreny determinats.

No obstant, és important accentuar que hem implementat l'ECTA considerant la nova escala de mida de les allaus del Servei Europeu d'Allaus, i, per tant, per a poder combinar l'ECTA amb el BPA cal que el BPA també hagi pres com a referència aquesta nova escala de mida de les allaus.

Finalment, remarcar que l'ECTA és un sistema molt innovador a les muntanyes europees i ara com ara és perfectament exportable a d'altres regions pirinenques i alpines. Per exemple, l'aplicació de l'ECTA a Parcs Nacionals i Naturals del Pirineu pot respondre a un conjunt de necessitats actuals de gestionar amb més seguretat i objectivitat l'activitat hivernal dels visitants. Per tot això, l'aplicació de l'ECTA a les nostres muntanyes és sense dubte un projecte de gran potencial i futur prometedor.

AGRAÏMENTS

Agraïm a Cam Cambell la transmissió d'informació del projecte de l'ECTA a Canadà.

BIBLIOGRAFIA

GAVALDÀ, J., MONER, I., 2008. Mountaineer-oriented local avalanche forecasting system in a graphical Format in the Aran valley (Eastern

Pyrenees), International Snow Science Workshop, Whistler, Canada.
STATHAM, G., MCMAHON, B., TOMM, I., 2004. The Avalanche Terrain Exposure Scale, International Snow Science Workshop, Jackson Hole, Wyoming, USA.
HAEGELI, P., 2010. Avaluator: Avalanche Accident Prevention Card, 2nd edition. Canadian Avalanche Centre, Revelstoke, BC. 32 pp.

TÚNEL TRANSFRONTERIZO DE BIELSA-ARAGNOUET. PREVENCIÓN Y DEFENSA CONTRA ALUDES

Patrick Persona ⁽¹⁾; y Bernard Hugand ⁽²⁾

(1) *Director del CONSORCIO PARA LA GESTIÓN, CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DEL TÚNEL DE BIELSA-ARAGNOUET Y SUS ACCESOS – patrick@bielsa-aragnouet.org*

(2) *Servicio de gestión del riesgo natural RTM de la Oficina Nacional Forestal francesa (ONF), Organismo público de gestión y conservación del monte – bernard.hugand@onf.fr*

RESUMEN

Las carreteras de acceso al Túnel de Bielsa-Aragnouet sufren importantes problemas de vialidad invernal, con un notable peligro de aludes en su vertiente francesa. El Servicio RTM colabora desde 2008 con el Consorcio en materia de caracterización del riesgo para mantener abierto el paso fronterizo las 24 horas, 365 días al año.

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

- Contexto y histórico de la cooperación

El Túnel Transpirenaico de Bielsa-Aragnouet, ubicado en el norte de la provincia de Huesca, en el macizo pirenaico, conecta Aragón con el Departamento de Altos Pirineos, tiene una longitud de 3.070 metros, y a una altura de 1.821m en la boca norte (Francia) y 1.664m en la boca Sur (España). El Túnel de Bielsa-Aragnouet es, tras el Somport y el Portalet, el tercer paso internacional transpirenaico en Aragón, el cual se abrió en el año 1976.

Las dificultades para la conservación en este túnel y en las carreteras directamente vinculadas a él, sobre todo, en la vertiente francesa, han supuesto constantes cierres de la infraestructura, para disgusto de los vecinos, transportistas y empresarios de la zona.



Figura-1 Ubicación del Túnel de Bielsa-Aragnouet

La apertura de esta vía supuso para Sobrarbe un importante revulsivo: el despegue, la consolidación y la modernización de su sector turístico están estrechamente vinculados a la

historia del Túnel. Tres espacios naturales protegidos se encuentran en las inmediaciones de la frontera con Francia: el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara, y el Parque Natural del Posets-Maladeta. El acceso del flujo turístico europeo a estos espacios de alto valor natural, tiene lugar mayoritariamente a través del Túnel.

En invierno, las estaciones francesas de esquí reciben a numerosos españoles, en su mayoría oscenses (que no disponen de estación de esquí en la comarca de Sobrarbe) y cuyos desplazamientos tienen lugar a través del Túnel de Bielsa. Sin embargo, resulta difícil promocionar y publicitar dicho turismo de nieve, ante la incertidumbre de no saber si el túnel va a poder estar abierto o no, por lo que esta falta de vialidad invernal ha perjudicado enormemente el correcto desarrollo del sector turístico a uno y otro lado de la frontera. Siendo este sector terciario uno de los mayores exponentes del desarrollo de la zona.

El transporte de cereales y forrajeras –preciso para el mantenimiento del sector primario, en una amplia zona oriental del territorio oscense- tiene lugar a través del Túnel en su mayor parte. Para los transportistas que focalizan su actividad desde la parte oriental de la provincia de Huesca, los cierres de este paso les han obligado en numerosas ocasiones a alargar sus rutas hacia otros pasos y por tanto a aumentar los costes previstos, menoscabando, por lo tanto, la capacidad competitiva de la zona.

Bajo esta perspectiva, los cierres y la propia inestabilidad e imprevisibilidad del funcionamiento del túnel ha generado no pocos perjuicios a ambos lados del mismo, implicando repercusiones negativas directas para el comercio, la hostelería y el transporte de mercancías de la zona, y en un

plano más amplio, para los ámbitos económico, social y laboral en general.

La necesidad de adaptar las condiciones de seguridad de este paso fronterizo a las necesidades reales y a las medidas impuestas por la normativa vigente, en cuanto a las transposiciones estatales de la Directiva Europea, hacían preciso que las dos zonas limítrofes interesadas en la gestión del Túnel operasen conjuntamente con un fin común, lograr una optimización de los resultados que redunde en beneficio de ambas partes.

El Gobierno de Aragón y el Consejo General del Departamento de los Altos Pirineos han trabajado conjuntamente durante estos últimos años en relación con la mejora de la seguridad del Túnel transpirenaico. Este esfuerzo se ha centrado en el diseño de un programa de mejoras de las instalaciones del túnel, y en la preparación del marco jurídico para llevar a cabo las mismas.

Fruto de este trabajo fue la creación, en Junio de 2008 de un **Consortio para la Gestión, Conservación y Mantenimiento del Túnel Transpirenaico de Bielsa-Aragnouet y sus accesos**.

- Consortio – sistema de funcionamiento, organización interna

El objeto social del Consortio es la gestión, conservación y mantenimiento del túnel Bielsa-Aragnouet y sus accesos, sin perjuicio de que la relación estrecha entre ambas instituciones (Gobierno de Aragón y Consejo General de Altos Pirineos) lleve a ampliar su objeto hacia otras acciones.

El ámbito geográfico incluye el túnel transfronterizo, 4,5 km. de la carretera aragonesa A-138 hasta el centro de mantenimiento de vialidad invernal que allí se encuentra, y 6,1 km. de la carretera departamental 173 hasta el Puente de los Templarios. La sede está en España, en el municipio de Boltaña (Comarca del Sobrarbe).

Se establecen dos líneas de trabajo: por un lado, la conservación del túnel y sus accesos (seguridad vial y vialidad invernal), y por otro, las inversiones en mejora de las medidas de seguridad y el mantenimiento integral del túnel.

La estructura organizativa es la siguiente: Un Comité Ejecutivo, formado por seis representantes por cada una de las partes, un Presidente electo (rotatorio cada dos años; España asume la primera presidencia.) de este Comité Ejecutivo y un Director. El personal está formado por dos personas, un ingeniero (Director del Consortio) y un jurista.



Figura-2 Organigrama del Consortio

Esta estructura tan sencilla da flexibilidad y agilidad a los trabajos, ya que el mantenimiento y conservación del túnel se realizará por medio de contratos a terceros. Según se acuerda en la constitución del consortio, la dotación presupuestaria necesaria financia el equipo técnico y sus gastos generales, los costes de mantenimiento de la infraestructura y otros costes de inversión en mejoras y seguridad del túnel. El reparto de gastos entre ambas instituciones, se estima sea del 50% para el caso de actividades de funcionamiento.

RESULTADOS ALCANZADOS

La creación de un organismo conjunto de gestión bajo la figura del Consortio, ha supuesto una mejora sustancial del paso transfronterizo que ha empezado ya a notarse, aunque se prevé mayor impacto una vez finalizadas las obras.

Desde su creación en 2008, **los accesos al túnel han permanecido abiertos las 24 horas del día, 365 días al año**, salvo algún corto episodio por caída de aludes o circunstancias meteorológicas.

- **Desarrollo de un sistema de información al usuario exitoso:**

El sistema de información creado ha permitido a los usuarios estar informados sobre el estado del túnel en tiempo real a través de la **página web del Consortio, los teléfonos de información gratuita y los paneles de mensaje variable en las carreteras de acceso**.

El grado de información ha incrementado cuantitativa y cualitativamente respecto a la situación anterior a la existencia del Consortio, y es un aspecto valorado favorablemente por los usuarios.

Otros aspectos reseñables son que ha supuesto el desarrollo de acciones comunes a un lado y otro de la frontera, el seguimiento y evaluación de las acciones con herramientas comunes y la concepción conjunta de las modalidades de intervención.

El éxito de la organización del Consorcio como herramienta de gestión conjunta del paso transfronterizo ha permitido profundizar en la cooperación y ha llevado a ampliar sus competencias para reforzar las relaciones entre Aragón y Altos Pirineos y a que se analice la posibilidad de implementar sistemas organizativos similares para la gestión conjunta de otros pasos transfronterizos.

Las labores de difusión y publicidad han llevado a que esta iniciativa se conozca a nivel nacional e internacional.

CARRETERAS DE ACCESO AL TÚNEL EVOLUCIÓN DE LOS INFORMES EMITIDOS POR EL RTM

1976

Puesta en servicio del túnel.

Hasta finales de los años 1980

Túnel cerrado en invierno.

1987

Obras de protección activa y pasiva. Apertura del túnel en invierno pero cerrado por la noche.

Hasta 1995

Carreteras de acceso que siguen cerradas por la noche. Fin del equipamiento en protección activa. Pida Gaz-ex efectuado por la mañana antes de abrir la carretera.

En caso de avalancha espontánea importante: Comisión de Seguridad bajo la autoridad del la *Préfecture*.

Participan:

- Ayuntamiento
- Estación de Piau Engaly
- Servicio de carreteras de la DDE (*Dirección Departamental del Ministerio de Fomento*)
- Representante de la *Sous-préfecture*
- Météo-France (agencia de meteorología)
- CRS montaña (*Compañía Republicana de Seguridad*)
- PGHM (*Pelotón de Gendarmería de Alta Montaña*)
- Servicio RTM

Informe de riesgo residual tras un acontecimiento, basado en la observación del terreno.

Temporadas 1995/1996 y 1996/1997

Se realizan sondeos por golpeo en la estación vecina de Piau-Engaly con los pisteros de la estación, una vez a la semana, como seguimiento de la evolución del manto nivoso y tener mejores datos en caso de solicitud de informe por parte de la *Préfecture* o del *Conseil Général*.

Temporadas 1997/1998 a 1999/2000

A partir de entonces, el RTM realiza los sondeos en el entorno del túnel (figura 3), aproximadamente una vez a la semana, generalmente los lunes. El emplazamiento elegido se encuentra a 2210 m de altitud, la que corresponde a la mayoría de las cuencas generadoras de aludes.

2000/2001

Creación oficial del puesto de sondeo con Météo-France (mejora de la localización del emplazamiento). Los sondeos van acompañados por un comentario del diagrama del sondeo.

11 sondeos para esta temporada.

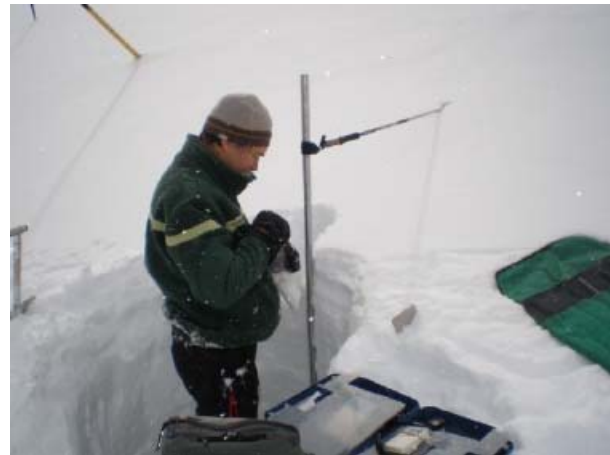


Figura-3 Servicio RTM realizando el sondeo

2001/2002

Primer convenio con el *Conseil Général* con el fin de ofrecer elementos informativos precisos y objetivos a los miembros de la Comisión de Seguridad (encargados de proponer un tipo de actuación, apertura o cierre de la carretera en función del peligro de avalancha). Realización del ensayo de corte tipo canadiense para precisar las inestabilidades. Comentario y difusión del sondeo al menos una vez a la semana.

14 informes emitidos aquella temporada.

Temporadas 2002/2003 y 2003/2004

Los informes son aún muy concisos: se componen del gráfico con un pequeño párrafo sobre el estado del manto en el momento del sondeo, y de un comentario sobre el peligro de avalancha. Se transmiten automáticamente al *Conseil Général*, a la *Dirección Departamental de Fomento*, al Alcalde así como a la *Préfecture*.

20 informes emitidos durante la temporada 2002/2003 y 21 para 2003/2004.

Temporadas 2004/2005 y 2005/2006

Los informes se amplían, ya que dan el nivel de peligro de avalancha (escala europea del riesgo) y la probabilidad de alcanzar la carretera. El comentario redactado es de aproximadamente

una pàgina. El Servicio RTM pone a disposición a un agente para realizar un sondeo de cada tres, más o menos. 18 informes emitidos durante esta temporada. Lo mismo para el año siguiente.

2006/2007

El nivel de riesgo mencionado por Météo-France está indicado en el informe. Los informes se amplían, indicando la probabilidad (de 0 a 1) de que un deslizamiento de nieve alcance la carretera. Las investigaciones y los informes se elaboran canal por canal. El informe ofrece una síntesis del riesgo que representa cada canal. 10 informes emitidos durante este año de poca nieve.

2007/2008

Segundo convenio con el *Conseil Général*. A lo largo de la temporada, los informes se ven completados por la elaboración de un cuadro sinóptico con tres entradas. Se emiten 19 informes sobre el riesgo de avalancha durante esta temporada.

2008/2009

Gestión de los accesos del túnel por el Consorcio.

De ahora en adelante, el túnel y sus accesos están abiertos día y noche. Es el Consorcio que toma la decisión de apertura o cierre de la carretera a partir de los informes de RTM. Los informes se entregan tras haber efectuado cada sondeo. Incluyen las condiciones generales del estado de la nieve, observadas en el sector del túnel y sus alrededores, las condiciones

nivológicas y meteorológicas en las 2 vertientes del macizo, el diagrama del sondeo y su interpretación, una Matriz de riesgos sobre la probabilidad de alcanzar la carretera (figura 4). Recoge un informe para la vertiente española y un informe para la vertiente francesa. Los informes de la agencia española de meteorología AEMET están incluidos en el documento. 32 informes emitidos aquella temporada. El RTM redacta una ayuda a la gestión de los Gaz-ex para el desencadenamiento artificial de los aludes en la parte francesa de acceso al túnel.

2009/2010

Los informes cambian ya que incorporan ahora una previsión (figura 4 versión actualizada); hasta la fecha, se entregaban el mismo día del sondeo. Se emiten pues los viernes con una previsión hasta el domingo por la noche. Para la nieve de primavera, el informe puede ser precisado en distintos momentos del día.

El RTM redacta un mapa de avalanchas en la vertiente española (fotointerpretación, trabajo de campo)

2010/2011

La información se amplía gracias a los datos de la Estación automática "Nivôse" para la vertiente francesa. La baliza permite el acceso, con un desfase de una hora o dos, a la información sobre la cantidad de nieve acumulada en el suelo, la temperatura y el viento. Météo-France emite una previsión meteorológica localizada de la zona para 4 días en fracciones de 3 horas.

		En caso que se produzca un alud, probabilidad de llegada hasta la carretera				
		hasta 3%	3%-10%	10%-25%	25%-50%	mas de 50%
Riesgo de aludes según la análisis del servicio RTM (sobre la base de la escala europea del riesgo de aludes.)	(débil)1	X				
	(limitado) 2		X			
	(notable) 3					
	(fuerte) 4					
	(muy fuerte) 5					

	LEGENDE DU TABLEAU	LEYENDA
X	Situation actuelle du risque	Riesgo actual.
	Évolution du risque sur la période concernée par l'avis	Evolución del riesgo sobre el periodo correspondiente
	Route très faiblement menacée.	Carretera con muy poco riesgo.
	Route faiblement menacée.	Carretera con poco riesgo.
	Route moyennement menacée.	Carretera con riesgo notable.
	Route fortement menacée.	Carretera con un alto riesgo.

Figura- 4 Matriz de riesgos – versión actualizada

Dinàmica d'allaus
Dinamica de lauegi
Dinámica de aludes
Dynamique d'avalanches

UN NOU MODEL FORMAL PER SIMULAR ALLAUS EMPRANT UN AUTÒMAT CEL·LULAR MULTICAPA

Pau Fonseca ⁽¹⁾; Màxim Colls ⁽²⁾ i Josep Casanovas ⁽³⁾

(1) *Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*. pau@fib.upc.edu

(2) *UPC*. maxim.colls@fib.upc.edu

(3) *UPC*. josepk@upc.edu

RESUM

L'article introdueix un nou mètode per simular la dinàmica d'una allau de neu de placa. L'estructura del model està basada en una generalització d'autòmat cel·lular (AC) que permet utilitzar diferents capes (mn-CA^k). Cada una d'aquestes capes representa la informació geogràfica necessària per caracteritzar l'evolució de l'allau. El model s'ha formalitzat usant *Specification and Description Language* (SDL) i implementat en C++. La clara separació entre la definició del model i la implementació del mateix simplifica la comprensió del comportament del model, en aquest cas concret de les regles d'evolució de l'AC. Es proposen dos paràmetres a calibrar mitjançant la validació dels resultats d'una sèrie d'experiments. Per la validació de les simulacions s'han utilitzat informes d'allaus reals recollits per un equip de la facultat de Geologia de la UB i l'Institut Geològic de Catalunya (IGC).

PARAULES CLAU: Autòmat cel·lular, GIS, simulació, allaus

AUTÒMAT CEL·LULAR

Els autòmats cel·lulars (AC) són sistemes dinàmics i discrets el comportament del qual s'especifica de manera local i relativa a una cel·la.

Un AC està format per un nombre finit de cel·les. Cada cel·la de l'AC representa un espai i conté la informació de l'estat en què es troba en un instant de temps determinat. Els estats de les cel·les evolucionen segons unes regles que són idèntiques per a totes les cel·les. Les regles, anomenades també *funció d'evolució* dependran de la informació o estat de la pròpia cel·la i/o les cel·les del veïnatge.

La figura 1 il·lustra l'evolució d'un AC que representa el moviment d'una allau. En aquest exemple l'AC té dos estats representats amb dos colors diferents: blanc i blau.

Les cel·les de color blau són àrees per on la neu s'ha desplaçat mentre que les cel·les de color blanc indiquen que a l'espai que representen hi ha neu que podrà ser desplaçada.

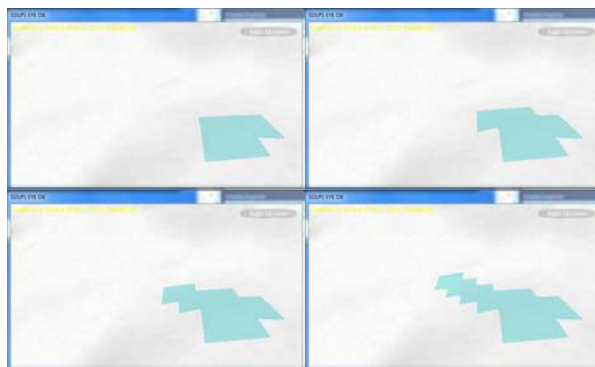


Figura 1 – Evolució d'un AC que representa el moviment d'una allau. Captura de la evolució en diferents instants de temps. D'esquerra a dreta i de dalt a baix.

AC MULTICAPA: m:n-CA^k

Les regles d'evolució de l'AC seran la part més important del model. Per tal de definir bé la dinàmica de l'allau cal poder gestionar informació referent a l'espai que representa una cel·la. Vista aquesta necessitat, s'ha utilitzat una generalització d'AC que contempla l'ús de diferents capes a diferència de l'AC clàssic que únicament en contempla una.

Definició 1: m:n-CA^k

Un autòmat multidimensional és una generalització d'un autòmat cel·lular format per m capes (k de les quals són principals) amb n dimensions cada una.

El model que es proposa es representaria com:

$$6+N:2-CA^{4+N}$$

On N representa el nombre màxim de tipologia d'obstacles (arbres, cases, roques, etc.) que es poden afegir al model.

Com que tots els paràmetres de la simulació estan representats en aquestes capes, és senzill definir diferents escenaris que representin diversos casos i situacions. En cap cas s'hauria de modificar la lògica o motor de simulació. Per més informació sobre aquesta extensió es pot consultar (Fonseca i Casas, et al., 2005).

El problema de definir un nou escenari es redueix a crear les capes que representin l'àrea que vulguem simular. Aquesta informació s'emmagatzema en format IDRISI32 (Clark Labs, 2009). A la taula 1 es mostren les capes que el model utilitza.

SDL

Specification and Description Language és un llenguatge d'especificació formal formulat per la

la participació d'experts de diferents àmbits en la definició de la lògica del model.

3. Disposa d'un mercat d'aplicacions que permeten la implementació directa de qualsevol model implementat en SDL. D'aquesta manera no és necessària la validació de la implementació del model.

L'estructura del llenguatge es modular, el que permet definir qualsevol sistema a partir de la composició de les seves parts.

La definició del model es basa en diferents components:

- Estructura: composta per el bloc de sistema, els blocs, els processos i la jerarquia dels processos i blocs.
- Comunicació: composta per les senyals, amb els paràmetres i els canals que les senyals empen per viatjar.
- Comportament: definit a través dels diferents procediments i processos del model.
- Dades: basades en tipus abstractes de dades (ATD: Abstract Data Types).
- Herència: permet descriure les relacions entre els diferents elements del model i descriure especialitzacions.

Nom	Tipus	Descripció	Font	Capa principal (es modifica?)
Altura	Raster	Representa l'altura de la cel·la.	ICC	No
Guix	Raster	Representa el guix de la capa.	METEOCAT	Sí
Tipus de sòl	Raster	Tipus de superfície i coeficient de fricció. (roques, neu, gel, etc).	CREAF	No
Obstacles	Raster	Obstacles que hi ha a l'entorn de simulació.	CREAF	Sí
Fractura	Vectorial	Fractura inicial de la placa de neu que desencadena l'allau.	Input data	Sí
Estat	Raster	Estat de la neu movable. (Buit, estàtic o dinàmic).	METEOCAT	Sí

Taula 1: Capes de l'AC

ITU-T en l'estàndard Z.100 (Telecommunication standardization sector of ITU, 1999) (SDL). L'especificació en SDL que permet descriure de manera unívoca el comportament de sistemes complexes.

Utilitzar aquest formalisme per descriure el comportament de les cel·les de l'AC ens dona una sèrie d'avantatges, entre altres:

1. Ens permet separar el model de la seva implementació, simplificant-ne la comprensió.
2. SDL és un formalisme gràfic de comprensió intuïtiva de manera que facilita

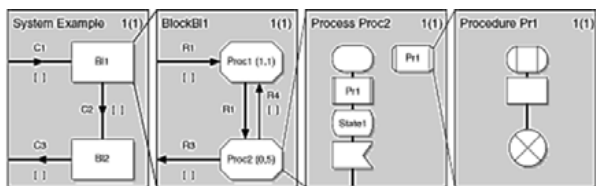


Figura 2 – Els nivells d'un model SDL, font: <http://www.iec.org/online/tutorials/sdl/topic04.html>

MODEL

La formalització completa del model d'allaus es pot trobar a (Fonseca i Casas, et al., 2011) així com la descripció dels experiments desenvolupats.

Donada l'extensió de la formalització del model únicament mostrarem aquí el diagrama d'estats, que representa com en cada una de les diferents cel·les del autòmat cel·lular es canvia d'estat en funció dels diferents esdeveniments que es poden rebre.

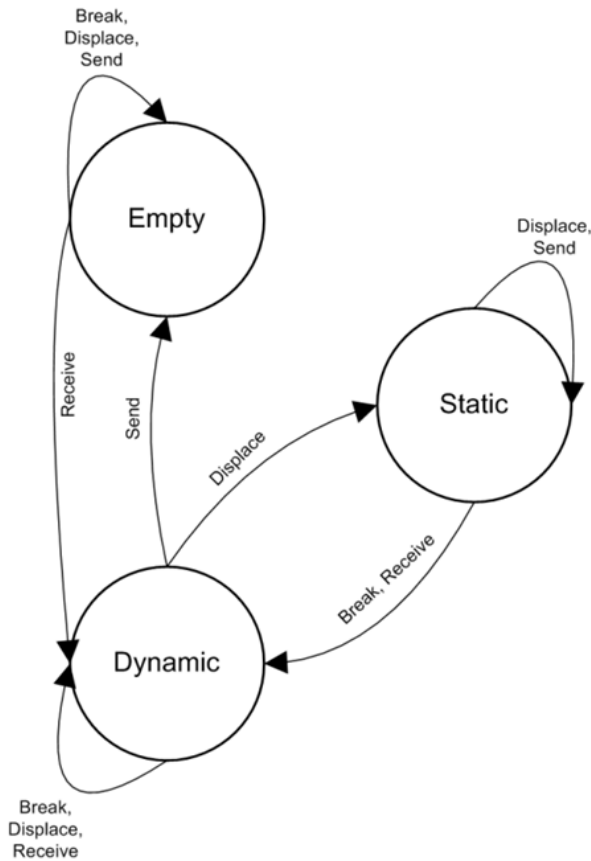


Figura 3 – Estats de l'autòmat cel·lular.

EXPERIMENTS

Per definir els experiments primer cal obtenir la informació dels escenaris que es volen representar. El principal problema és que no es disposa de tota la informació necessària per definir les característiques del model. Degut al complicat procés d'obtenció de dades a l'entorn on es desenvolupa el fenomen de l'allau cal realitzar algunes suposicions (Oller, 2009).

Per altra banda, en una primera aproximació al fenomen, s'han definit dos paràmetres que representen dues característiques importants en la dinàmica d'una allau.

Kp o coeficient de penalització representa els processos que disminueixen les forces de desplaçament de l'allau (com ara processos turbulents interns de l'allau). Cal destacar que no s'inclouen processos propis del terreny o l'escenari que s'estigui simulant.

Ki o coeficient d'inèrcia representa l'efecte de la quantitat de moviment (o inèrcia) de l'allau en el seu recorregut.

Aquests paràmetres definiran el comportament de l'allau independentment del relleu o el tipus de terreny a on es produeixi.

Per a l'experimentació s'han escollit allaus de placa o mixts excloent les allaus de fusió o de neu humida.

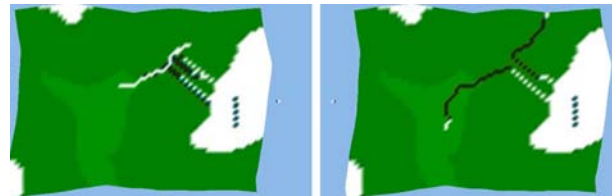


Figura 4 – A l'esquerra es mostra una simulació aplicant l'aproximació d'inèrcia mentre que a la dreta no s'ha aplicat. El comportament d'aquesta segona és més semblant a la d'un fluid aquós.

RESULTATS

La experimentació ha consistit en executar una bateria de simulacions en diferents escenaris dels que es disposava un informe detallat de l'allau en qüestió.

Cada bateria de simulacions contenia un conjunt de simulacions amb valors diferents dels paràmetres Kp i Ki per tal de poder calibrar aquests valors fent un anàlisi dels resultats.

Per tal d'avaluar el resultat de les simulacions s'han comparat els valors de *distància recorreguda* i *desnivell* amb els recollits als informes. En segon pas, s'ha fet una comparació gràfica dels recorreguts de les allaus.

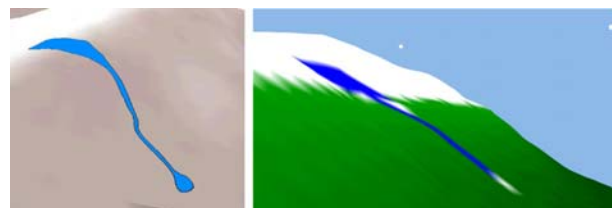


Figura 5 – Allau a la vall de Ruda '04. A l'esquerra es mostra el camí observat i a la dreta el simulat.



Figura 6 – Allau a Sant Martí '06. A l'esquerra es mostra el camí observat i a la dreta el simulat.

A les figures 5, 6 i 7 es mostren comparacions gràfiques del recorregut de les allaus recollit als informes amb el de les parametrizacions que han donat millors resultats. El color blau indica el camí

per on s'ha desplaçat la neu mentre que en blanc representa allà on s'ha dipositat

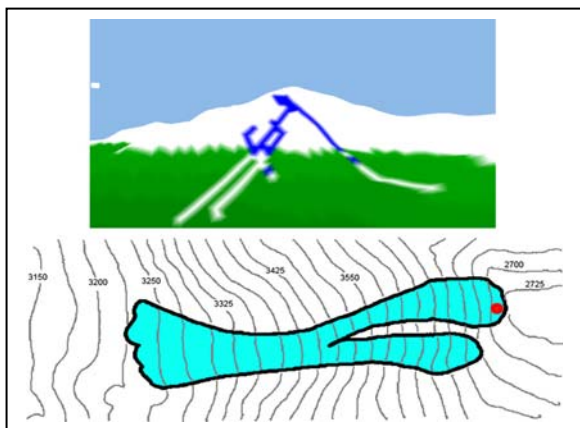


Figura 7 – Allau a Raspes Roies '96. A sobre es mostra el camí simulat i a sota l'observat.

Amb els diferents experiments realitzats a cada escenari es pot obtenir els millors valors per K_i i K_p . Els valors de la millor parametrització estan representats a la figura 8. El pic que presenta la gràfica indica la parametrització que és bona per a tots els escenaris.

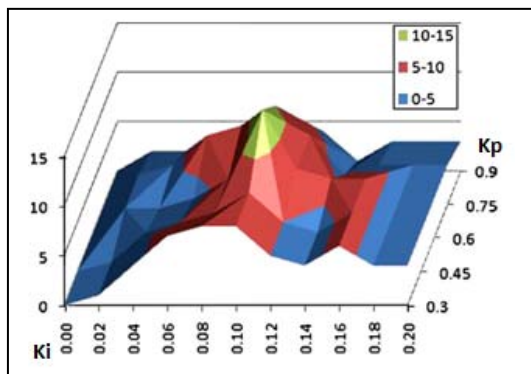


Figura 8 – Anàlisi dels paràmetres K_i i K_p .

CONCLUSIONS

El model presentat dona bons resultats en els escenaris on s'han realitzat les simulacions.

S'han comparat les simulacions amb (Leaf, et al., 1977) (Mears, 1976) obtenint uns resultats similars. En quatre dels escenaris, la velocitat màxima de l'allau és de 21 m/s (allaus petites o mitjanes). En l'escenari d'una allau de grans dimensions, la velocitat màxima del model és de 67 m/s (per sobre dels valors típics en allaus de grans dimensions).

Aquests resultats ens permeten seguir amb el procés de validació del model. Fins a 5 diferents escenaris d'allaus reals s'han simulat i analitzat amb resultats satisfactoris.

Com que les capes representen totes les variables del model i es poden obtenir de dades GIS, la construcció de nous escenaris es basa en la

definició d'aquestes capes, una tasca que es pot realitzar des d'un entorn GIS.

S'ha realitzat una primera calibració dels paràmetres proposats donant bons resultats quan $K_i = 0,6$ i $K_p = 0,1$. Amb aquests valors s'obtenen bones aproximacions de les variables resposta en els escenaris proposats.

Actualment el model s'està redefinint de nou per tal de poder descriure el comportament intern. Aquesta redefinició interna permetrà la predicció de les posicions de cossos que hagin quedat soterrats per un allau.

REFERÈNCIES

Clark Labs IDRISI [En línia] // IDRISI. - 2009. - 26 / 11 / 2009. - <http://www.idrisi.com/>.

Fonseca i Casas Pau i Casanovas Josep Simplifying GIS data use inside discrete event simulation model through m_n-AC cellular automaton [Conferència] // Proceedings ESS 2005. - 2005.

Fonseca i Casas Pau, Colls Màxim i Casanovas Josep A novel model to predict a slab avalanche configuration using m:n-CAK cellular automata [Revista] // Computers, Environment and Urban Systems. - [s.l.] : Elsevier Ltd., 2011.

Leaf Charles F. i Martinelli Jr, M. Avalanche Dynamics: Engineering applications for land use planning [Informe] / Rocky Mt. For. and Range Exp. Stn. - Port Collins, Colo. 8052 1. : USDA For. Serv. Res. Pap. RM- 183, 1977. - p. 51.

Mears Arthur I. Guidelines and methods for detailed snow avalanche hazard investigations in Colorado. [Informe]. - Denver, Colorado : Geol. Surv. Bull. 38, 1976. - p. 125.

Oller Pere Caracterització de les allaus majors registrades al Pirineu de Catalunya [Informe] / Institut Geològic de Catalunya. - 2009. - ALL-008/09.

SDL Tutorial [En línia] // IEC International Engineering Consortium. - January / 2009. - <http://www.iec.org/online/tutorials/sdl/>.

Telecommunication standardization sector of ITU Specification and Description Language (SDL) [En línia] = ITU-T Z.100. 1999 // Series Z: Languages and general software aspects for telecommunication systems.. - International Telecommunication Union, 1999. - April / 2008. - <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com17/languages/index.html>.

SENSORS INALÀMBRICS PER INVESTIGAR LA DINÀMICA INTERNA DE LES ALLAUS DE NEU

I. Vilajosana ⁽¹⁾; E. Suriñach ⁽²⁾; J. Llosa ⁽¹⁾ i X. Vilajosana ⁽³⁾

(1) WorldSensing, Clos de Sant Francesc 21, 08034, Barcelona, (ivilajosana@worldsensing.com)

(2) Grup d'Allaus (RISKMAT), Dept. Geodinàmica i Geofísica, Fac. de Geologia,
Universitat de Barcelona, Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona, Spain

(3) Universitat Oberta de Catalunya, Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació. Rambla
Poblenou 156, 08018 Barcelona, Spain

RESUM

En els darrers 80 anys els models dinàmics que permeten descriure el moviment de les allaus de neu han estat cada cop més utilitzats com a eines de suport a la planificació territorial. No obstant, encara hi ha situacions que aquets models no poden reproduir. Per tal d'anar un pas més enllà i seguir millorant els models cal desenvolupar noves eines que permetin conèixer la dinàmica interna del fenomen. En aquest document es presenten els resultats obtinguts gracies a la utilització de les xarxes de sensors sense fils com una nova eina per millorar el nostre coneixement de la dinàmica interna de les allaus de neu. Concretament, es presenten els resultats obtinguts en una sèrie d'experiments realitzats a Weissflujhoch el canal experimental a escala situat prop de Davos (Suïssa) i operat per l'SLF. En aquest experiments es van llençar sensors sense fils equipats amb acceleròmetres dins d'allaus provocats de forma artificials en el canal. Alhora, es va desenvolupar una nova metodologia de processat de dades que va permetre obtenir la posició dels sensors i la seva velocitat a mesura que baixaven amb l'allau dins del canal. Els resultats obtinguts són satisfactoris i demostren el potencial d'aquesta nova tecnologia per a conèixer des d'una nova perspectiva la dinàmica interna de les allaus de neu.

PARAULES CLAU: *Allaus de neu, canals experimentals, sensors sense fils.*

INTRODUCCIÓ

En els darrers 80 anys els models dinàmics que permeten descriure el moviment de les allaus de neu han estat cada cop més utilitzats com a eines de suport a la planificació territorial.

Aquests models han estat millorats any darrera any degut a la incorporació dels processos físics que tenen lloc en les allaus de neu. No obstant, encara hi ha processos que no es poden explicar. Per exemple, en la Figura 1 podem veure els dipòsits de l'allau del 30 de gener de 1995 d'Albristhorn a Suïssa (Issler et al., 2008). En gris podem veure clarament el dipòsit corresponent a la part densa de l'allau. Sorprenentment una part més diluïda de l'allau (marcada en negre) va remuntar un petit vessant i arrasar un bosc veí.



Figura 1 – Dipòsit de l'allau del 30 de Gener de 1995 a Albristhorn Adelboden, Suïssa. Photo: Stefan Keller. Obtinguda de (Issler et al., 2008)

Aquesta observació demostra que inclús una part diluïda d'una allau pot generar pressions d'impacte significatives. Aquest fet que no el tenen en compte els models dinàmics actuals pot portar a infravaloracions en estimacions de les pressions d'impacte generades per una allau de neu.

Donada la dificultat en reproduir les observacions en allaus reals, i la necessitat d'entendre la dinàmica que dóna lloc a fenòmens com els observats a Albristhorn, en els darrers anys s'han construït canals a petita escala per tal de poder fer simulacions analògiques del fenomen.

Acompanyant aquest fet s'han desenvolupat noves eines i tècniques de medicació com poden ser càmeres d'alta velocitat (Biancardi et al., 2005), radars doppler (Rammer et al., 2007), cel·les de pressió de petites dimensions (Gauer et al., 2007).

Tots aquests nous sistemes de mesura acompanyats de noves tècniques de processament de dades han portat a resultats que han permès entendre millor la dinàmica del fenomen. No obstant, tots els sistemes anteriors adoleixen de ser sistemes invasius o bé no mostrar informació de la dinàmica interna sense alterar el fenomen. Fins a l'actualitat, només hi ha hagut una aproximació per mesurar les forces que actuen dins el cos d'una allau de neu de forma no invasiva i va ser l'aproximació de Dave (1998a, 1998b) que va permetre seguir partícules dins d'una allau de neu en un canal a escala.

Les noves tecnologies de la informació i les comunicacions han permès el desenvolupament de nous sistemes de sensors, de molt petites dimensions, de molt baix consum i amb capacitat de comunicació inalàmbrica (Warneke et al., 2001) que els fa molt adequats per a l'estudi dels fenòmens naturals i, per tant, també de les allaus de neu.

El grup d'allaus de la Universitat de Barcelona juntament amb el departament de sistemes distribuïts i xarxes de computadors de la Universitat Oberta de Catalunya i l'empresa Worldsensing han desenvolupat una nova tipologia de sensors per a poder ser llençats dins d'una allau de neu i mesurar, mentre aquesta baixa, diversos paràmetres físics interns que poden ajudar a entendre millor la seva dinàmica.

INSTRUMENTS I CANAL EXPERIMENTAL

El canal experimental de Weissflühjoch (Davos, Suïssa) està situat a 2670 m d'altura sobre el nivell del mar. El canal és propietat del Swiss Federeal Institute for Snow and Avalanche Research (SLF) i està equipat amb una gran varietat de sensors, des de càmeres d'alta velocitat a sensors de pressió (Tiefenbacher et al., 2004) En la figura 2 es pot veure un esquema del canal.

Aquest canal va ser utilitzat per testear els nous sensors i veure les seves capacitats alhora d'obtenir paràmetres físics de les allaus de neu com pot ser la velocitat de les partícules en el seu interior. En la campanya hivernal 2007-2008 es van realitzar 4 experiments amb els nous sensors desenvolupats per tal d'intentar seguir partícules dins de l'allau de neu.

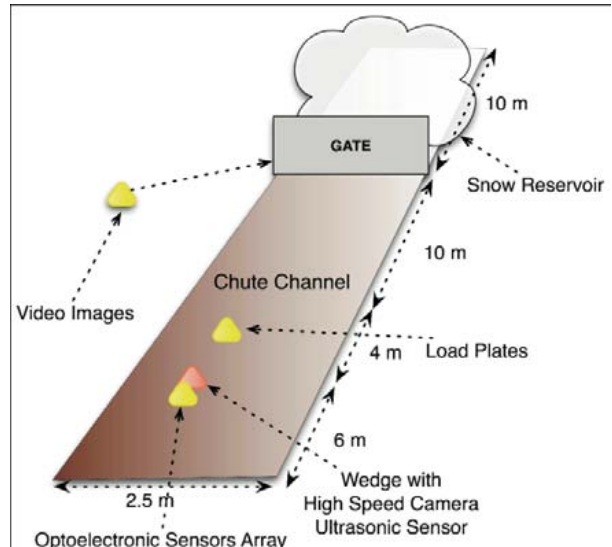


Figura 2- Esquema del Canal de Weissflühjoch amb ubicació dels sensors.

Els sensors inalàmbrics desenvolupats (Figura 3), estaven basats en la plataforma telosb (Polastre et al., 2005), equipats amb un microcontrolador MSP430 de Texas instruments i una radio chipcon CC2420 a 2.4Ghz seguint el protocol de comunicació IEEE802.15.4, i un acceleròmetre de dues components tipus MMA6260Q. Les dades d'acceleració enregistrades per cada sensor eren enviades en temps real inalàmbricament a un ordinador veí, per ser processades posteriorment. Els sensors van ser empaquetats en un encapsulament, robust i estanc. La seva densitat va ser mesurada i ajustada a la de l'allau perquè quedessin sempre en la seva superfície.



Figura 3 – Imatge del sensor inalàmbric desenvolupat i el seu encapsulament.

En cada experiment es van descarregar 15 m³ de neu provocant allaus de diversos tipus de flux en el canal. Les velocitats mesurades amb els sensors optoelectrònics instal·lats prèviament en el canal van oscil·lar entre 6 m/s i 14 m/s. Durant els experiments es varen obtenir també imatges de vídeo, altures del flux i pressions d'impacte. Abans de cada experiment també van ser mesurades la densitat, granulometria, temperatura

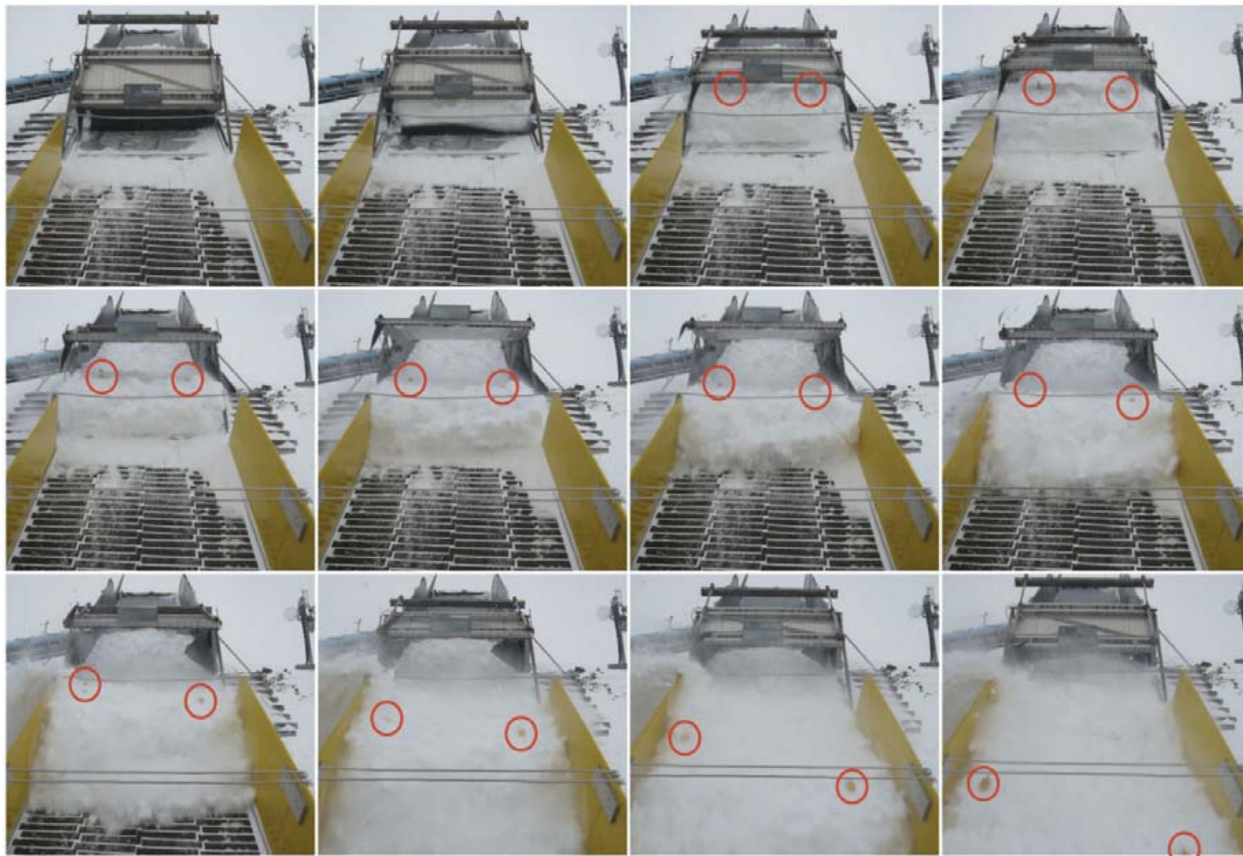


Figura 4 – Seqüència d'imatges corresponent a l'experiment 4.2.2. Els cercles vermells indiquen la posició dels sensors.

de la neu i la temperatura de l'aire.

En cada experiment es van col·locar dos sensors entre 1.5 m i 3 m per sobre la comporta del canal (Figura 1). En la figura 4 es presenta una seqüència d'imatges corresponent a l'experiment 4.2.2 del dia 4/2/2008. Els cercles vermells indiquen la posició dels sensors.

METODOLOGIA

Per tal d'obtenir la posició i la velocitat dels sensors a partir de les mesures d'acceleració obtingudes no es va poder recórrer a la simple integració de les dades d'acceleració degut als errors inherents en el procés d'integració (Britting et al., 1971). Val a dir que els acceleròmetres mesuren la força per unitat de massa que rep el cos en qüestió, quedant la component local de la gravetat també registrada en les mesures. Així doncs, per tal de poder integrar les dades sense la contribució de el component local de la gravetat (i per tant només la component inercial) primer es va recórrer a un filtre selectiu basat en una descomposició modal dels registres utilitzant l'Empirical Mode Decomposition (Huang et al., 1998). Per tal d'estimar la posició i la velocitat de les partícules minimitzant els errors d'integració un cop determinada l'acceleració inercial, es va recórrer a un filtre de Kalman (Kalman, 1960). Els detalls del procés es poden trobar a (Vilajosana et al., 2010).

ANALISIS DE DADES I RESULTATS

En la Figura 5 es presenten els components normal i tangencial al pendent de l'acceleració enregistrada pel sensor 2 durant l'experiment realitzat el 4/2/2008. Aquesta allau va ser una allau humida de flux dens. La densitat mesurada fou 466 kg/m^3 i la temperatura de la neu $-8 \text{ }^\circ\text{C}$.

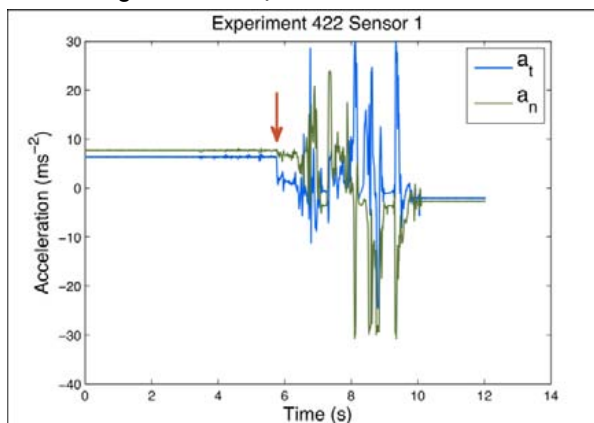


Figura 5. Registre d'acceleració normal i tangencial obtinguts al sensor 1 durant l'experiment 4.2.2.

Durant els primers 5.5 s del registre els sensors estaven quiets en el canal esperant que s'obris la comporta. Després d'obrir la comporta (Fig. 5, fletxa vermella) es pot observar un decreixement sobtat de l'acceleració que correspon a un increment sobtat de l'acceleració inercial dels

sensors. Durant els dos primers segons del moviment els sensors van viatjar en línia recta (observat amb el vídeo). Entre els 5s i 7s l'acceleració mostra un comportament erràtic oscil·lant al voltant d'un valor que sembla constant. Aquest comportament va ser també observat per (Gauer et al., 2007) per allaus reals a partir de dades de radar i mostra que hi ha indicis que part del flux es fluiditza.

A la Figura 6 es presenten les estimacions de la velocitat (línies puntejades) i la posició (línies contínues) dels dos sensors situats dins de l'allau 4.4.2. Les mesures de la posició sense filtre de Kalman també són presentades amb punts vermells per poder comparar l'eficàcia del filtre. Per tal de comparar les estimacions de velocitat obtingudes amb el mètode presentat aquí, en la mateixa figura es presenten amb quadrats i triangles les estimacions de velocitat obtingudes per cada sensor gràcies a les imatges de vídeo. Aquestes mostren bona concordança entre els dos mètodes independents i demostren la bondat del mètode utilitzat. Finalment, la línia lila mostra la posició de la càmera de vídeo i ens serveix de referència per identificar el moment d'arribada dels sensors a la càmera.

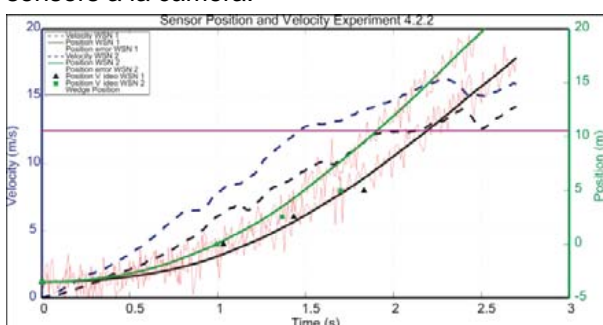


Figura 6. Velocitat i posició dels sensors 1 i 2 obtingudes mitjançant els sensors sense fils dins de l'allau durant l'experiment 4.2.2. Els triangles i quadrats indiquen la velocitat i la posició dels dos sensors obtinguda mitjançant imatges de vídeo.

CONCLUSIONS

Els sensors sense fils desenvolupats conjuntament amb la metodologia d'anàlisi de dades desenvolupada permeten obtenir informació de la dinàmica interna de l'allau de neu en un canal experimental. Els resultats en el canal experimental de Weissflühjoch han estat contrastats amb mesures independents obtingudes amb vídeo i mostren bona concordança entre ells. Les noves tecnologies obren noves possibilitats que indubtablement permetran conèixer millor la dinàmica interna del fenomen.

AGRAÏMENTS

Estem molt agraïts a l'equip del SLF que ens va ajudar a realitzar els experiments. Els projectes (I+D Plan MICINN y Fondos FEDER): GL2006-

06596/BTE, CGL2010-18609, TQ08-03-08109 i TQ10-03987 han finançat aquest estudi. El treball s'ha realitzat en el marc del programa de Grups de Recerca Consolidats per la Generalitat de Catalunya, SGR2009-520.

BIBLIOGRAFIA

- BIANCARDI, A., GHILARDI, P., PAGLIARDI, M., 2005. Automatic Mask Extraction for PIV-Based Dam-Break Analysis. *IbPRIA406* (2): 705-712
- BRITTING, K. R., 1971, *Inertial Navigation System Analysis*. Wiley, New York, 116-119.
- DAVE, R. N. AND BRUCE G. BUKIET, 1998a, Nonintrusive rigid body tracking technique for dry particulate flows. Part I. Theoretical aspects. *Review of Scientific Instruments*. 69(10):3598-3605; doi:10.1063/1.1149145
- DAVE, R.N., VOICY, J., AGARWAL, J., AND GUPTA, V., 1998b, Non-Intrusive rigid body tracking technique for dry particulate flows, Part II: Practical aspects and implementation, *Review of Scientific Instruments*, 69(10): 3606- 3613.
- GAUER P., ISSLER D., LIED K., KRISTENSEN K., IWE H., LIED E., RAMMER L., SCHREIBER H., 2007. On full-scale avalanche measurements at the Ryggfonn test site, Norway. *Cold Regions Science and Technology*, Amsterdam, 50(1-3): 55-71
- HUANG, N.E., Z. SHEN, S.R. LONG, M.C. WU, E.H. SHIH, Q. ZHENG, C.C. TUNG AND HH LIU, 1998. The empirical mode decomposition method and the Hilbert spectrum for non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London*, 454: 903-995.
- ISSLER, D., A. ERRERA, S. PRIANO, H. GUBLER, B. TEUFEN AND B. KRUMMENACHER, 2008. Inferences on Flow Mechanisms From Snow Avalanche Deposits, *Annals of Glaciology*, 49, 1., 187-192..
- KALMAN, R. E., 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Transaction of the ASME Journal of Basic Engineering* 82: 35-45.
- POLASTRE, P, SZEWCZYK, R. AND CULLER, D., 2005. Telos: Enabling ultra-low power wireless research. *Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in sensor networks*, Los Angeles, California, USA. Seria millor indicar les pàgines
- RAMMER L., KERN M.A., GRUBER U., TIEFENBACHER F., 2007. Comparison of avalanche-velocity measurements by means of pulsed Doppler radar, continuous wave radar and optic methods. *Cold Regions Science and Technology*, Amsterdam, 50(1-3): 35-54.
- TIEFENBACHER, F. AND M. KERN, 2004. Experimental devices to determine snow avalanche basal friction and velocity profiles, *Cold Regions Science and Technology*, 38(1): 17-30.
- VILAJOSANA, X., LLOSA, J., SURIÑACH, E., VILAJOSANA, I., SCHAEFER, M. (2010). "Wireless sensors as a tool to explore avalanche internal dynamics: Experiments at the Weissflühjoch Snow Chute". *Cold Regions, Science and Technology*. ISSN.0165-232X.
- WARNEKE, B., LAST, M., LIEBOWITZ, M AND PISTER, K., 2001. Smart Dust: Communicating with a Cubic-Millimeter. *Computer*, 34: 44-51.

CONTRIBUCIÓN DE LAS SEÑALES SISMO-ACÚSTICAS GENERADAS POR ALUDES DE NIEVE AL CONOCIMIENTO DE SU DINÁMICA

Emma Suriñach ⁽¹⁾; Cristina Pérez ⁽¹⁾; Ignasi Vilajosana ^(1,2); Arnold Kogelnig ^(1,3) y Gloria Furdada ⁽¹⁾

(1) Grup d'Allaus (RISK NAT), Dept. Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona. c/ Martí i Franquès s/n. 08028 Barcelona. emma.surinach@ub.edu

(2) WorldSensing, Clos de Sant Francesc 21, 08034, Barcelona, Spain. ivilajosana@worldsensing.com

(3) Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, BOKU, Viena, Austria. arnold.kogelnig@boku.ac.at

RESUMEN

El conocimiento de los parámetros que rigen la dinámica de las avalanchas de nieve puede contribuir a la prevención y reducción del riesgo asociado a ellas. Presentamos resultados del análisis de la colección de señales sísmicas generadas por diferentes tipos de aludes ocurridos en el Vallée de la Sionne (VdS, Suiza) desde 1999 hasta la actualidad. En las señales sísmicas registradas es posible distinguir distintas secciones que se asocian a la posición relativa entre alud-sensor: SON, SBO y STA. Cada sección muestra diferente duración temporal, amplitud y densidad de energía sísmica en función del tamaño del alud y el tipo de flujo/nieve. Los aludes grandes de nieve húmeda y flujo denso tienen máxima duración temporal, amplitud y densidad de energía a diferencia de los aludes de nieve seca y flujo mixto. Estos muestran mayor amplitud en la componente de infrasonido que los aludes de nieve húmeda y flujo denso. Las velocidades calculadas para los distintos aludes utilizando el método sísmico muestran valores máximos que superan los 39 m/s para el caso de aludes de nieve seca y flujo mixto. El estudio comparativo entre la señal sísmica y de infrasonido aporta información sobre el tipo de alud.

PALABRAS CLAVE: Alud de nieve, señal sísmica, infrasonido, espectrograma velocidad del alud, parámetros dinámicos.

INTRODUCCIÓN

La interacción de las distintas partes de un alud con el manto nivoso y el aire genera ondas sísmicas que se propagan por el suelo y ondas de presión (infrasonido) que se propagan por el aire. El grupo de aludes de la UB inició en 1994 el estudio de las señales sísmicas generadas por los aludes. A lo largo de los años ha trabajado en diferentes lugares experimentales: Pirineos, Vallée de la Sionne (Suiza) y Ryggfonn (Noruega). Desde la temporada 2008/09, además del estudio de la señal sísmica, se ha iniciado el estudio del infrasonido generado por el alud. Las señales analizadas en este trabajo provienen de la zona experimental en Vallée de la Sionne (VdS, Suiza). El canal experimental fue construido en el año 1998 por el Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research (SLF) para el estudio de la dinámica de los aludes (Issler, 1999).

Las avalanchas se desencadenan tanto de manera natural como artificialmente en tres áreas principales (Fig.1): Crêta Besse 1 (CB1), Crêta Besse 2 (CB2) y Pra Roua (PR). La zona de desencadenamiento de CB1 está orientada ESE y comprende alturas desde 2300-2500 m s.n.m. con pendientes de entre 35-40°. La zona de desencadenamiento de CB2 está orientada al SE y comprende alturas de 2500-2700 m s.n.m. con

pendientes entre 30-35°. La longitud total del canal es de 2500 m aproximadamente. A lo largo del canal se encuentran instaladas estaciones sísmicas en los emplazamientos (Fig.1): A (caverna situada a 2300 m s.n.m.), B (caverna situada a 1900 m s.n.m.) y M (caverna situada a 1650 m s.n.m.). Al otro lado del canal se sitúa un centro de control de instrumentos a 1450 m s.n.m. A pocos metros de éste se sitúan una estación sísmica (C) y tres sensores de infrasonido: I1, I2 e I3.

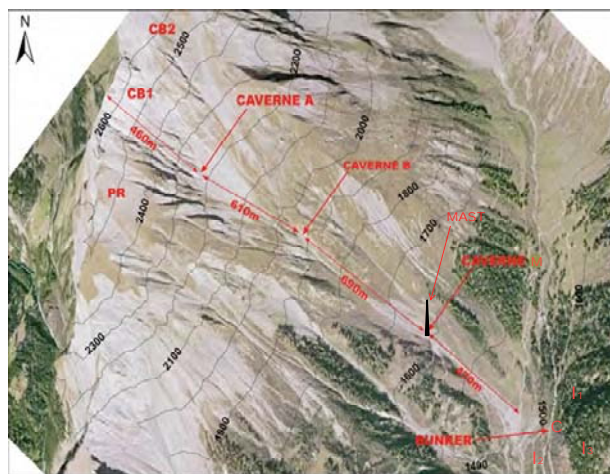


Figura 1: Imagen del canal experimental obtenida a través del Google Earth con los emplazamientos de las estaciones sísmicas: cavernas A, B, M y C. y los sensores de infrasonido: I1, I2 e I3. PR (Pra Roua), CB1 (Crêta Besse 1) y CB2 (Crêta Besse 2) son las zonas de salida de los aludes.

En las cavernas A y B el equipo suizo tiene también instaladas dos estaciones sísmicas, que se utilizan como sistema de "triggering" (puesta en marcha) de otros instrumentos instalados en el canal. El sistema de adquisición de datos ha ido variando con los años pero no así los sensores. Los sensores utilizados son sismómetros de 3 componentes (1Hz, 2 Hz de frecuencia propia) y de infrasonido Chaparral (0.1 Hz de frecuencia propia). La colección de datos obtenidos hasta la actualidad permite extraer conclusiones que se presentan a continuación. Para nuestros estudios, hemos clasificado los aludes registrados sísmicamente en función de: la forma de desencadenamiento (natural o artificial; salida lineal o puntual), el tamaño (grande, mediano o pequeño; Biescas, 2003) y el tipo de nieve/flujo (nieve seca/flujo mixto y nieve húmeda/flujo denso).

RELACIÓN SEÑAL SÍSMICA - ALUD

El estudio de las señales sísmicas de aludes en el VdIS muestra que los aludes de nieve generan ondas sísmicas cuyas características dependen

de: el emplazamiento donde quedan registradas (A, B, M y C), el recorrido del alud (características del terreno o posibles divisiones del alud) y la naturaleza del alud (alud de nieve húmeda/flujo denso o alud de nieve seca/flujo mixto). Hemos analizado las señales en el dominio temporal con detalle de 10^{-2} s. Las amplitudes del movimiento del suelo consideradas están en el rango 10^{-3} - 10^{-7} m/s. También se considera el contenido total de frecuencia de la señal, así como su evolución en el tiempo (espectrograma). El análisis permite definir diferentes secciones en las señales sísmicas y sus respectivos espectrogramas que están relacionados con la posición relativa alud-sensor. Para el caso de los emplazamientos B y M, situados en mitad del canal por el que descende el alud encontramos tres secciones que se muestran como ejemplo en la Figura 2:

- **SON (Signal Onset)**: intervalo de tiempo en el que el alud se aproxima al sensor. La amplitud de la señal aumenta así como el contenido en altas frecuencias.

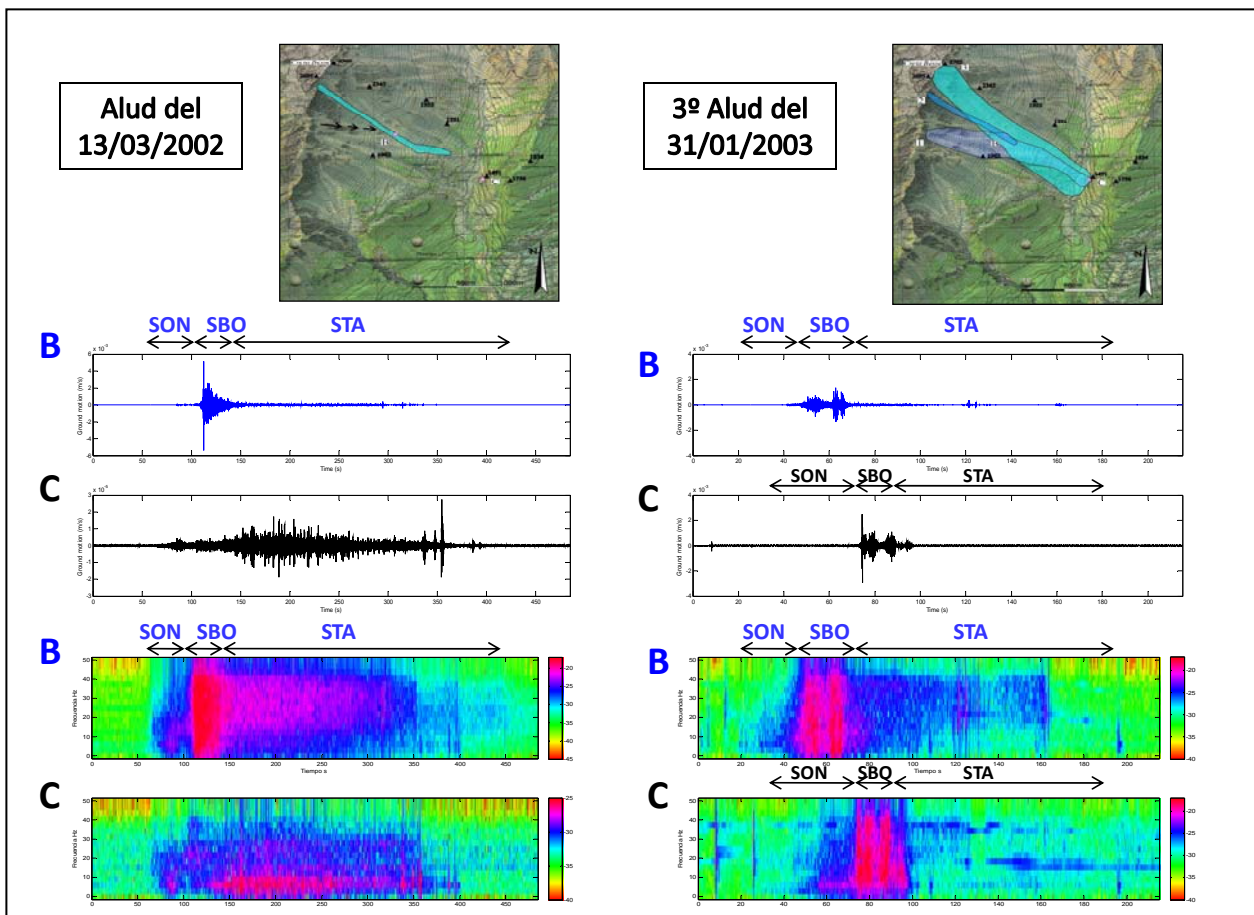


Figura 2: Aludes en VdIS: Izquierda: Alud del 13/03/2002 (natural, mediano y de nieve húmeda/flujo denso). Derecha: 3er Alud del 31/01/2003 (artificial, grande y de nieve seca/flujo mixto) en VdIS. Superior: cartografías realizadas por G. Furdada. Centro: señales sísmicas registradas en el emplazamiento B (superior en azul) y C (inferior en negro). Inferior: espectrogramas de la señal en B (superior) y en C (inferior). SON, SBO y STA: secciones explicadas en el texto.

- **SBO (Signal Body)**: intervalo de tiempo en el que el alud sobrepasa el sensor. La amplitud es máxima y el espectrograma muestra una banda de máximas energías en todas las frecuencias.

- **STA (Signal Tail)**: intervalo de tiempo en el que el alud se aleja del sensor. La amplitud va decreciendo hasta la detención del alud.

En el emplazamiento C, estas secciones se identifican en función del tamaño del alud: si el alud es muy grande y alcanza el sensor se encuentran las tres secciones (SON, SBO y STA; Fig. 2; derecha), si es de tamaño inferior, dos de ellas (SON y STA) y si es mediano o pequeño, ninguna de ellas (Fig.2; izquierda).

Los aludes de nieve húmeda siguen las características del terreno mucho más fácilmente que los aludes de nieve seca. En el caso de alud de flujo mixto, se debe considerar la parte densa y de aerosol por separado.

Los máximos valores de la amplitud de la señal registrada y sus correspondientes espectrogramas corresponden a instantes en los que: el alud sobrepasa el sensor (amplitud registrada sin atenuación de la onda sísmica), el alud choca con algún obstáculo del canal o cuando el alud sobrepasa algún cambio brusco de pendiente (Suriñach et al., 2000; Suriñach et al., 2001). Una disminución en la pendiente se traduce como un aumento en la fuerza de rozamiento que actúa sobre la parte densa del alud (parte inferior del alud en contacto con el manto nivoso). Esta fuerza de rozamiento basal es una de las fuentes principales de la señal sísmica (Vilajosana, 2008).

Las amplitudes de la señal máxima y media, y la densidad de energía sísmica (función de la duración de la señal y de su amplitud) aportan información sobre el alud. Así: Las señales de aludes de nieve húmeda/flujo denso presentan mayores amplitudes máximas, medias y densidades de energía sísmica que las de los aludes de nieve seca/ flujo mixto. La densidad de energía sísmica es una medida de la energía sísmica disipada por el alud a la tierra. A mayor densidad mayor energía disipada. Ésta es mayor en aludes de nieve húmeda/ flujo denso que en aludes de nieve seca/flujo mixto.

Las duración de las señales sísmicas refleja: mayores longitudes para aludes de mayor tamaño y mismo flujo y, mayores longitudes temporales en los aludes de flujo denso que en los de flujo mixto, incluso en el caso de que el alud sea de tamaño mucho menor. La incorporación de nieve a lo largo del recorrido de un alud juega un papel importante

a la hora de estimar el tamaño del alud y analizar las señales sísmicas.

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL ALUD

La velocidad media del alud se ha calculado utilizando el análisis tiempo - frecuencia de las diferentes secciones definidas en la señal sísmica registrada. Mediante los instantes de la señal (inicial, final e instante en el que el alud sobrepasa el sensor) y el perfil del recorrido realizado a partir del modelo digital del terreno del VdIS, se han calculado las velocidades medias de un total de 10 aludes de diferente tipo (Tabla 1) para los distintos tramos de los aludes.

Alud	Tamaño	Tipo	D _{IB} (m)	D _{BF} (m)	V _{IB} (m/s)	V _{BF} (m/s)
30/1/99	Grande	Seca-mixto	1190	?	35.2	?
13/2/02	Mediano	Denso-húmeda	948	632	22.6	3.4
21/2/02	Mediano	Seca-mixto	1166	542	21.7	22.7
13/3/02	Mediano	Denso-húmedo	1115	768	23.9	4.1
20/3/02	Mediano	Denso-húmedo	1063	804	15.4	1.8
2/1/03	Grande	Denso-húmedo	1062	1143	15.6	3.0
1º 31/1/03	Grande	Seca-mixto	1033	1165	37.0	?
2º 31/1/03	Mediano	Seca-mixto	1066	196	30.7	13.0
3º 31/1/03	Grande	Seca-mixto	1259	?	29.7	?
3º 31/1/03	Grande	Seca-mixto	1242	?	39.4	?

Tabla 1: Velocidades medias calculadas para distintos tramos del recorrido del alud. D_{IB}: distancia desde el punto de desencadenamiento hasta B. D_{BF}: distancia desde B hasta el final. V_{IB}: velocidad media desde el inicio hasta B. V_{BF}: velocidad desde B hasta el fin. ? : falta de resultados por falta de datos.

Las velocidades medias muestran valores mucho mayores en los aludes de nieve seca/flujo mixto que en los aludes de nieve húmeda/flujo denso. Los valores obtenidos mediante este método se han podido comparar con otros métodos de cálculo de la velocidad media: videogrametría, radares, etc. En los aludes de nieve seca/flujo mixto los valores obtenidos mediante el análisis de la señal sísmica se corresponden con la parte densa del alud, mientras que los valores obtenidos mediante los otros métodos citados se corresponden con la parte de aerosol del alud.

CONTRIBUCIÓN DEL INFRASONIDO

La señal producida por un alud se identifica en sísmica e infrasonido, y el infrasonido presenta mayor componente de baja frecuencia. En cambio, los registros sísmicos presentan un espectro de potencias más ancho, con más contenido en altas frecuencias. Este hecho puede indicar mecanismos de generación de ondas distintos, así como reflejar las distintas características del medio propagador (aire, terreno).

La alta frecuencia dominante de la señal sísmica estaría relacionada con la generación de ondas proveniente de los procesos de erosión y contacto avalancha-terreno, tal y como se indicó en (Vilajosana et al., 2007b). A su vez, la alta frecuencia también podría estar generada por la complejidad del medio.

La baja frecuencia dominante en el infrasonido estaría relacionada con los cambios de presión, que genera el frente del alud en su evolución pendiente abajo. Además, podría estar directamente asociada a la geometría del frente del alud (p.ej. tamaño). El análisis señala que el espectro de potencias de las señales de infrasonido generadas por los aludes más grandes presenta frecuencias dominantes más bajas, y por lo tanto asociadas a longitudes de onda mayores.

El contenido de información de las señales sísmica e infrasonido tiene intersección no nula. Son señales complementarias, aunque con una parte redundante.

CONCLUSIONES

Una distribución correcta de sensores sísmicos a lo largo del recorrido de un alud permite obtener información sobre la dinámica del alud a partir del análisis de la señal sísmica producida por aludes de nieve estos. Permite determinar la velocidad media del alud y la de sus diferentes secciones del alud. El espectrograma es una herramienta importante para el reconocimiento de aludes ya que aporta información complementaria que no se observa en la señal temporal. La señal de infrasonido aporta información complementaria a la de la señal sísmica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Swiss Federal Institute and Avalanche Research (SLF) por la infraestructura y esfuerzos en la instalación y realización de los experimentos. Los proyectos (I+D Plan MICINN y Fondos FEDER): CGL2006-06596/BTE, CSD2006-00041 y CGL2010-18609 han financiado este estudio. I.Vilajosana ha estado subvencionado por el MICINN con una

beca Torres Quevedo 2008-03-08109. Este estudio se ha realizado en el marco del programa de Grupos de Investigación Consolidados por la Generalitat de Catalunya, SGR2009-520.

REFERENCIAS

- Biescas, B. (2003). Aplicación de la sismología al estudio y detección de los aludes de nieve. PhD thesis, Ph.D Thesis, Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain, <http://www.tdx.cesca.es/TDX-1010103-084042>, July 2003.
- Issler, D. (1999). Vallée de la Sionne (Switzerland) en European avalanche test sites. Overview and analysis in view of coordinated experiments. Swiss Federal Institute of Snow and Avalanche research, Davos (ed.). Mitteilungen Nr 59. pp 122.
- Suriñach, E., Sabot, F., Furdada, G. y Vilaplana, J.M. (2000). Study of seismic signals of artificially released snow avalanches for monitoring purposes. Physics and Chemistry of the Earth (B). Elsevier Science, Oxford. Vol. 25, 9, pp 721-727.
- Suriñach, E., Furdada, G. Sabot, F., Biescas, B. y Vilaplana, J.M. (2001). On the characterisation of seismic signals generated by snow avalanches for monitoring purposes. Annals of Glaciology. International Glaciological Society, Cambridge. Vol. 32, pp. 268-274.
- Vilajosana, I., Khazaradze, G., Suriñach, E., Lied, E. y Kristensen, K. (2007a). Snow avalanche speed determination using seismic methods. Cold Regions Science and Technology, 49(1):2-10.
- Vilajosana, I., Suriñach, E., Khazaradze, G. y Gauer, P. (2007b). Snow avalanche energy estimation from seismic signal analysis. Cold Regions Science and Technology, 50(1-3):72-85. doi:10.1016/j.coldregions.2007.03.007.
- Vilajosana, I. (2008). Seismic and Characterization of Snow Avalanches and Other Mass Movements. Ph.D Thesis, Universitat de Barcelona, Spain.

Cartografia d'allaus
Cartografia de lauegi
Cartografía de aludes
Cartographie d'avalanches

ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE ALUDES EN EL PR-PNPE 21: VEGA DE URRIELLU, MACIZO CENTRAL DE LOS PICOS DE EUROPA

José Antonio Vada Manzanal ⁽¹⁾

(1) *Geógrafo especializado en Riesgos Geológicos. joseantonio.vada@gmail.com*

RESUMEN

Se presenta el estudio de riesgo de aludes realizado en una de las rutas de montaña más frecuentadas de Picos de Europa, el camino de acceso a Vega de Urriellu desde Collado Pandébano, un segmento del PR-PNPE 21: Vega de Urriellu. El estudio localiza y delimita las zonas afectadas por alud, evalúa cuantitativamente el riesgo de aludes asumido por sus usuarios en varios escenarios probables, identifica diferentes clases y sectores de riesgo a lo largo del camino y propone medidas para su mitigación.

PALABRAS CLAVE: Zona de aludes; Riesgo de aludes; Picos de Europa.

INTRODUCCIÓN

El segmento de la ruta de montaña PR-PNPE 21: Vega de Urriellu objeto de estudio se encuentra en el Macizo Central de los Picos de Europa, conjunto montañoso situado íntegramente en la vertiente norte de las Montañas Cantábricas Centrales, a escasos 20 km del mar Cantábrico. Salva un desnivel de 835 m desde la Portiella del Vao Liesprón (1125 m) hasta el Refugio J.D. Úbeda (1950 m) y una distancia aproximada de 6 Km que en condiciones estivales se recorre en unas 2h 30 min. En su primer tramo el camino presenta dos alternativas utilizadas indistintamente, una que pasa por el Canero y otra que sale de la misma Portiella del Vao Liesprón, concurrendo ambas al llegar a La Terenosa. A partir de aquí, discurre de forma casi paralela por encima del límite supraforestal hasta Collado Valleyu momento en el que adentra en el macizo para concluir en el Refugio J.D. Úbeda. A lo largo de su recorrido transcurre a media ladera por vertientes con unos desniveles máximos, desde la zona de cumbres hasta el camino, de hasta 900 m y unas pendientes favorables al desencadenamiento de aludes de entre 25° y 60°. Las altitudes máximas del área se encuentran por encima de los 2400 m.

El clima de la zona se caracteriza por una fuerte influencia marítima, precipitaciones abundantes y frecuentes oscilaciones térmicas en torno a los 0°C. Episodios de abundantes nevadas vinculadas a entradas de masas de aire frío en altura de componente norte tienen lugar varias veces por temporada pudiendo acumular e incluso superar de manera excepcional los 3 m de espesor a 1000 m. Por el contrario, las situaciones de componente sur dan lugar a un efecto *foehn* sobre la vertiente

cantábrica, generan subida de temperaturas y fusión repentina del manto nivoso.

La vegetación se caracteriza de forma general por la presencia de bosques monoespecíficos de haya (*Fagus sylvatica*), Bosque Pandébano y Monte La Varera, hasta aprox. los 1400 m. Por encima de esta altitud la inexistencia del piso forestal subalpino de coníferas en la cantábrica hace que hasta alrededor de los 2100 m la vegetación sea de tipo herbácea y subarborescente, con predominio del matorral y pastizal de montaña.

El paisaje se encuentra antropizado por el uso ganadero que lo ha modelado incluso por encima del límite superior del bosque de manera continuada durante siglos. Encontramos gran número de cabañas tradicionales, *majadas*, diseminadas por el territorio en zonas de suaves pendientes rodeadas de prados de pasto y siega. Debido a una menor presión antrópica y ganadera desde los años 50-60 del siglo XX la superficie arbolada está aumentando en extensión.

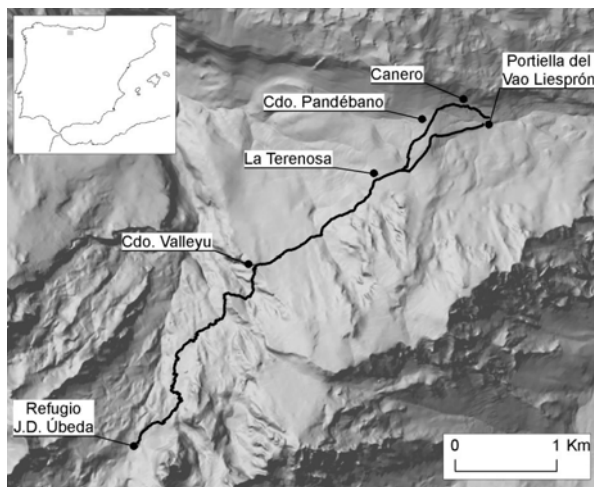


Figura 1 – Localización del área de estudio

CARTOGRAFIA DE ZONAS DE ALUDES

Se ha realizado una cartografía de zonas de aludes (CEMAGREF, 1981; Oller *et al.*, 1998) que afectan al PR-PNPE 21. La delimitación de las zonas de aludes se ha realizado teniendo en cuenta los parámetros cota, pendiente, orientación, morfología, rugosidad, vegetación y distribución de las construcciones tradicionales.

En total se han inventariado 46 zonas de alud, 26 de las cuales son individualizadas y 20 de difícil individualización. Esta cartografía ha permitido determinar que el 91% de PR-PNPE 21 objeto de estudio se encuentra afectado por aludes.

ANÁLISIS DEL RIESGO DE ALUDES

Una vez elaborada la cartografía de zonas de aludes se ha procedido a la evaluación cuantitativa del riesgo de aludes a partir del Índice de Riesgo de Alud (IRA) establecido por la Avalanche Task Force (1974) para el tránsito de vehículos y modificado por Owens y Fitzharris (1989) para su aplicación en rutas de montaña para excursionistas. Dicho índice ha permitido determinar la gravedad de la problemática de los aludes en el PR-PNPE 21 así como identificar las partes del camino con mayor riesgo de cara a su gestión. Para caracterizar el riesgo de aludes ha sido necesario realizar un análisis tanto de la frecuencia e intensidad de los aludes como de los elementos expuestos.

La inexistencia de observaciones directas a largo plazo ha hecho que se recurra a los siguientes métodos en combinación para estimar la frecuencia de los aludes que afectan al PR-PNPE 21: observación de secuencias temporales de fotografía aérea, encuesta a la población, observación directa de la temporada 2009/10, análisis de la vegetación en campo e inclinación media del recorrido de los aludes. La información obtenida ha permitido establecer cinco clases de frecuencia anual de alud: muy baja (<0.01-0.1), baja (0.1-1), moderada (1-2.5), alta (2.5-10) y muy alta (10-25). En general, las zonas de camino en las que se registra una frecuencia moderada, alta y muy alta son aquellas en las que discurre junto a escarpes rocosos con una pendiente media >30°.

En relación a la intensidad de los aludes se han establecido unos valores de ponderación (W) de 1, 5 y 10 según la longitud del alud desde la zona de inicio hasta el camino, tipo de recorrido y daños potenciales que pueden ocasionar. W = 1 en aquellas zonas en las que se producen purgas, aludes de intensidad baja con un recorrido inferior a 50 m y un volumen menudo de nieve movilizada, que aunque son relativamente inofensivas para las personas representan un riesgo de daños mínimo el cual se debe

considerar. W = 5 en aquellas zonas del camino afectadas por aludes pequeños, de entre 50-100 m de longitud, con una intensidad media derivada de un recorrido no canalizado como consecuencia del tránsito por vertientes planas y que comienzan a ser capaces de enterrar, lesionar o matar a una persona. W = 10 en aquellas zonas en las que los aludes son capaces de enterrar, lesionar o matar a una persona, siendo de intensidad alta debido a un recorrido canalizado y/o grandes dimensiones, tanto en longitud como en volumen de nieve movilizado.

En cuanto a los elementos expuestos al peligro se observa una clara concentración del tránsito de personas durante los fines de semana (viernes, sábado y domingo), con un volumen medio de 9 personas, y en Semana Santa (Jueves, Viernes y Sábado), con un volumen de 200 transeúntes. Para el conjunto de la temporada invernal, de noviembre a mayo, el número estimado mínimo de transeúntes es de 500. Por lo que respecta al tiempo de exposición a los aludes ha sido calculado en base a 3, 4.5 y 6 horas por trayecto de camino.

Dada la variabilidad de los elementos tenidos en cuenta en análisis del riesgo se han planteado diferentes escenarios probables. Como resultado se ha obtenido un valor del IRA en general bajo para el conjunto de temporada invernal, moderado en determinadas situaciones de exposición prolongada al peligro y alto en Semana Santa.

Escenario	T _E	T _X	N _X	I _X
1	3	7 meses	500	6
2	3	fin de semana	9	7
3	4.5	7 meses	500	8
4	4.5	fin de semana	9	10
5	6	fin de semana	9	13
6	4.5	Semana Santa	200	220

Figura 2 – Escenarios de riesgo y valor del IRA (I_X) según tiempo de exposición calculado a partir de tiempo por trayecto en horas (t_E), periodo de tiempo considerado (t_X) y número de usuarios (N_X).

A lo largo del segmento PR-PNPE 21 objeto de estudio se han diferenciado cinco sectores de riesgo definidos a partir del nivel de riesgo más alto, y/o combinación de clases de riesgo más representativo y de las características geomorfológicas del área por el que transcurre. Del conjunto de PR- PNPE 21 objeto de estudio un 8.1 % presenta un riesgo muy alto, un 5 % riesgo alto, un 7.5 % riesgo moderado, un 26.6%

riesgo bajo, un 43.8% riesgo muy bajo y sólo un 9% riesgo no detectado.

Las medidas que se han planteado para mitigar y gestionar el riesgo de aludes se fundamentan en el objetivo de informar y concienciar al usuario del riesgo existente con el fin de hacerle menos vulnerable y reducir su exposición ante los aludes. Las medidas propuestas han sido la instalación de paneles informativos permanentes, situados a ambos extremos del PR-PNPE 21, en los que

aparezca un mapa del riesgo de aludes del camino e información relativa a la necesidad de utilizar material de seguridad frente a los aludes (ARVA, pala y sonda), así como la recomendación de realizar la actividad de montaña temprano ya que el manto nivoso por lo general es más estable. Además, se prevé la instalación de señales de aviso de entrada y salida de los sectores del camino con alto riesgo de alud, sectores 2 y 4, con el fin de no aminorar la marcha en dichas zonas.

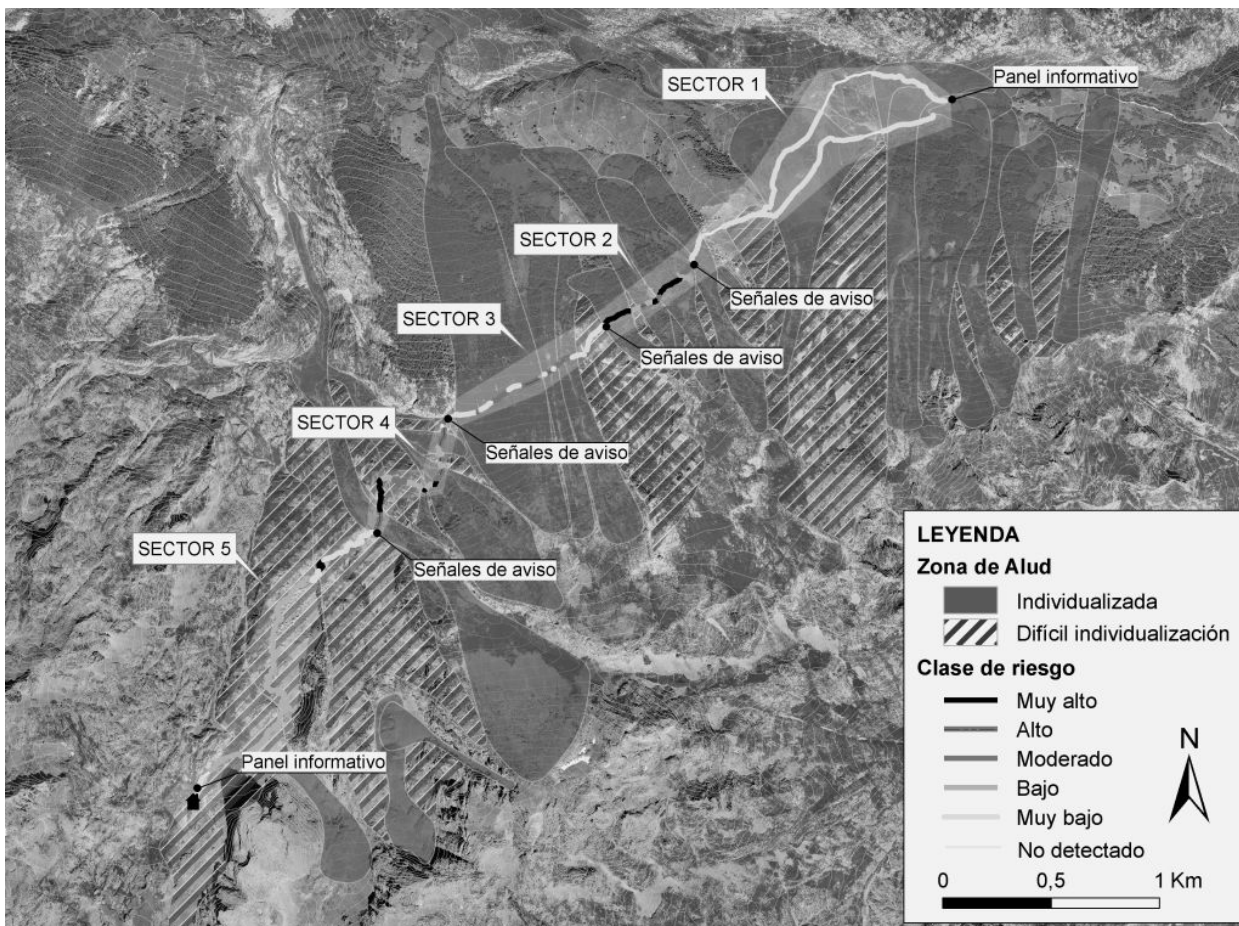


Figura 3 – Zonas de aludes, clases de riesgo de alud y sectores de riesgo diferenciados con medidas de mitigación propuestas en el PR-PNPE 21: Vega de Urriellu.

De forma complementaria estas medidas podrán ir acompañadas de otras de carácter temporal respaldadas por una futura predicción temporal del peligro de aludes a escala local cuando tengan lugar situaciones de intensas y abundantes nevadas, subida brusca de temperaturas con presencia destacable de manto nivoso o previsión de gran afluencia de visitantes. alguna de estas medidas puede ser el cierre temporal del camino, así como la sugerencia de caminos alternativos que supongan menor riesgo para el usuario, los cuales pueden aparecer representados en los

Clasificación	IRA	Medidas de mitigación
Muy bajo	< 1	Ninguna
Bajo	1-10	Señales de aviso, cierre ocasional
Moderado	10-100	Señales de aviso, cierre ocasional
Alto	> 100	Programa de control total

Figura 4 – Medidas de mitigación del riesgo según la clasificación del IRA.

paneles informativos situados a ambos extremos del PR-PNPE 21, debiendo estar trazados en base a estudios de riesgo como el presente.

En el caso de que no se lleven a cabo medidas de mitigación del riesgo se prevé que el valor del IRA aumente como consecuencia de un incremento generalizado del número de visitantes a las áreas y rutas de montaña en temporada invernal.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio no hubiera sido posible sin la implicación de Tomás Fernández, guarda del Refugio J.D. Úbeda, Pedro Fernández, guarda del Parque Nacional de Picos de Europa, Alberto Mediavilla, guía de montaña, Alfonso, Kika, Esperanza, Rosa y Colás, vecinos de las localidades de Sotres, Bulnes y Tielve, Manuel Frochoso, profesor titular de la Universidad de Cantabria, y Joan Manuel Vilaplana, profesor titular de la *Universitat de Barcelona*; y la colaboración de Pere Oller, Olga Costa, Glòria Furdada y Peter Schaerer. Gracias a todos por vuestra ayuda.

REFERENCIAS

- AVALANCHE TASK FORCE, 1974. Report on Findings and Recommendations, Appendix II. British Columbia Department of Highways, Victoria, B.C., Canada.
- CEMAGREF, 1981. Plan de zones exposées aux avalanches. Ministère de l'Agriculture, France.
- OLLER, P., MARTÍ, G., MARTURIÀ, J., 1998. New methods applied to avalanche mapping. Proceedings Second Congress on Regional Geological Cartography and Information Systems, Barcelona, pp. 211-215.
- OWENS, I.F., FITZHARRIS, B.B., 1989. Assessing avalanche-risk on walking tracks in Fiorland, New Zeland. *Annals of Glaciology*, 13, pp. 231-236.

ZONIFICACIÓ DEL TERRENY EN BASE A LA PERILLOSITAT D'ALLAUS ALS PIRINEUS DE CATALUNYA. CONTRAST DE METODOLOGIES EN UNA ZONA PILOT A NAUT ARAN (VAL D'ARAN)

Marc Janeras ⁽¹⁾; Judit Pons ⁽¹⁾; Pere Oller ⁽²⁾; Olga Costa ⁽²⁾; Stefan Margreth ⁽³⁾; Elena Muntán ⁽⁴⁾ i Pere Martínez ⁽²⁾

(1) GEOCAT Gestió de Projectes SA, Av. Tarradellas 34, E-08029-Barcelona. mjaneras@ggp.cat

(2) Institut Geològic de Catalunya (IGC), Balmes 209, E-08006-Barcelona. pereo@igc.cat

(3) WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Flüelastr. 11, CH-7260-Davos Dorf

(4) Universitat de Barcelona (UB) – Dep. Ecologia, Diagonal 645, E-08028-Barcelona. emuntan@ub.edu

RESUM

S'ha realitzat un contrast dels mètodes i criteris de zonificació del terreny en base a la perillositat d'allaus operatius a 4 països de referència alpina (França, Suïssa, Itàlia i Àustria) en una zona pilot formada per dues poblacions (Unha i Bagergue) del municipi de Naut Aran (Val d'Aran). Aquest treball, entre diversos estudis preliminars que s'han realitzat, s'emmarca en el projecte de desenvolupar una zonificació d'aplicació urbanística en el Pirineu de Catalunya.

PARAULES CLAU: zonificació, perillositat allaus, metodologia, Pirineus catalans, zona pilot, Unha, Bagergue.

INTRODUCCIÓ

En la predicció espacial d'allaus cal distingir dues escales molt diferents de treball: regional i local. L'estudi regional es pot associar a escales de treball de 1:25.000 a 1:50.000, que en el camp de les allaus ve representat per la cartografia de localització o cadastre d'allaus. Per al Pirineu de Catalunya es materialitza en el Mapa de Zones d'Allaus (MZA) (Oller et al. 2004) completat per l'IGC a escala 1:25.000 l'any 2006, i la Base de Dades d'allaus de Catalunya (BDAC) com a eina dinàmica operativa des de l'any 2005 (Oller et al. 2005; Marturià et al. 2006). Aquesta identificació del fenomen entronca amb la planificació territorial, i és en aquest context que el MZA té plena utilitat. Per contra, entenem per estudi local aquell que quantifica en termes d'intensitat i freqüència la distribució de l'activitat d'allaus en el territori a escales típiques entre 1:5.000 i 1:1.000. Aquesta és l'escala de treball necessària per a l'ordenació urbana, de la qual deriva el caràcter del sòl i els seus usos admesos per a cada parcel·la.

És en aquest context que l'IGC ha emprès des de l'any 2004 un pla estratègic per a l'elaboració d'una zonificació del territori urbà en base a la perillositat d'allaus. Aquest projecte ja s'ha concretat en diversos estudis preliminars com són: caracterització de les allaus ocorregudes a partir d'una explotació estadística de la BDAC (Oller et al. 2006); aplicabilitat de la dendrocronologia a l'estudi d'allaus (Muntán et al. 2006); cerca històrica documental sobre desastres naturals (Barriandos, 2008); caracterització d'àrees

nivoclimàtiques al Pirineu català (García et al. 2009); anàlisi de l'aplicació del programari Aval-1D per al càlcul d'allaus al Pirineu de Catalunya (Oller et al. 2009); detecció dels nuclis de població potencialment exposats.

El treball que presentem és un exercici de comparació de metodologies implementades en els països de l'arc alpí aplicat a una zona pilot als nuclis d'Unha i Bagergue del municipi de Naut Aran de la Val d'Aran. A Espanya no hi ha cap precedent en la línia de treball de zonificació (Ríos, 2004; Vilaplana, 2004), i les referències properes són les alpines (França, Suïssa, Itàlia i Àustria), que a la seva vegada han estat revisades arrel de situacions excepcionals com l'hivern de 1999. L'exemple més proper a Catalunya és el cas d'Andorra (Areny, 2004; Furdada, 2006) que adopta la metodologia francesa dels *Plans de Prévention des Risques* (PPR) i també té un cadastre d'allaus previ (Ferrer i Furdada, 2003). Finalment, cal destacar que per a la realització d'aquest estudi s'ha comptat amb l'assessorament de Stefan Margreth del WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) de Davos, Suïssa.

ZONA PILOT

Com s'ha dit, un estudi preliminar de l'IGC dins d'aquest projecte va ser la detecció de les àrees potencialment afectades per allaus i on desenvolupar una zonificació per acotar la perillositat. D'aquest llistat, especialment present a la Val d'Aran, es va escollir la zona pilot per al treball que es presenta amb els nuclis d'Unha i Bagergue que, sent del mateix municipi de Naut Aran i per tant amb el mateix context regional, presenten unes diferències sensibles en la informació disponible. Mentre que a Unha hi ha constància històrica de greu afectació del poble

per una allau, a Bagergue la referència és poc clara i el MZA no en marca afectació. Altres factors del terreny diferencien ambdós casos, de tal manera que han permès fer el contrast de metodologies sota circumstàncies variades.

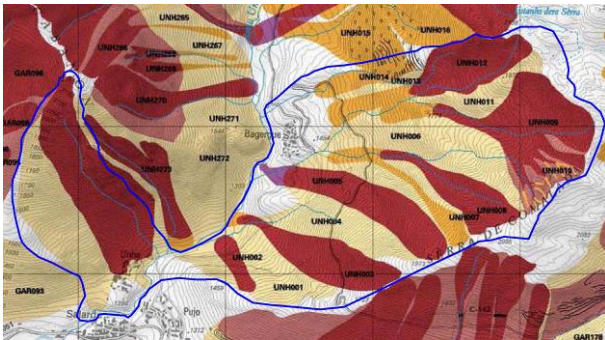


Figura 1 – MZA de la zona d'estudi.

MÈTODES DE ZONIFICACIÓ

S'han aplicat els criteris de zonificació de França (MEDD, 2003), Suïssa (BFF & SLF, 1984), Itàlia (Barbolini et al. 2005) i Àustria (Sauermoser, 2006). En tots quatre casos, l'esquema de treball és comú, perquè per al mateix objecte de conèixer la dinàmica d'allaus en un vessant les tècniques d'estudi estan ben esteses i són emprades arreu. Es basa en la integració de totes les informacions, i en la convergència de les anàlisis d'aspectes parcials cap a una comprensió global coherent de les allaus. En la figura adjunta es mostra un esquema de treball comú amb les etapes d'estudi que han de proveir coneixement fins a poder fer una valoració final de la perillositat. Si bé l'esquema bàsic de treball és comú, entre els quatre sistemes hi ha diferències d'escola metodològica per la tradició de cada país, així com en els criteris de zonificació de la perillositat. En un primer bloc de treball s'obté una caracterització de la dinàmica de les allaus a cadascuna de les zones d'estudi en base a:

1. Recopilació d'informació documental
2. Identificació d'indicis d'activitat
3. Interpretació de les característiques del terreny
4. Enquesta a la població local

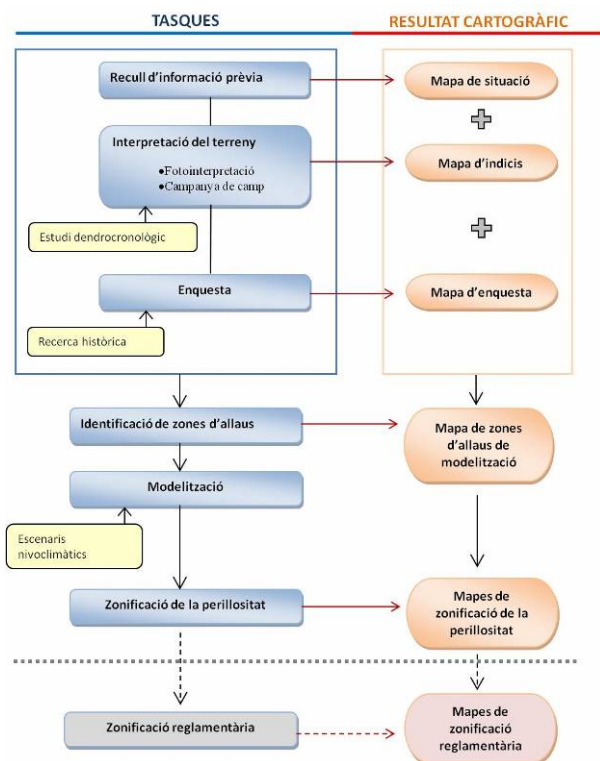


Figura 2 – Esquema de flux de treball en la zonificació, que articula l'arbre d'apartats del text.

L'objecte final de l'anàlisi del terreny és arribar a definir uns escenaris de referència. Això vol dir, unes situacions típiques a les quals assignar una recurrència en el temps o probabilitat d'ocurrència anual per a una certa magnitud d'allau, que alhora tindrà una distribució en l'espai amb un camp d'intensitats. Per altra banda també és necessària una caracterització nivoclimàtica de l'àrea d'estudi. Per a la zona pilot s'ha pres dades de les estacions de Bonaigua (2.250m) i Baqueira (1.800m), segons uns escenaris nivoclimàtics de recurrència de 30, 100, 150 i 300 anys. Finalment, la definició dels escenaris de referència significa la integració de totes les línies d'anàlisi del terreny i permet formular un model numèric.

MODELITZACIÓ

En la definició dels criteris de zonificació de la perillositat s'empen variables pròpies de la dinàmica de les allaus, específicament la pressió d'impacte del flux que no és gens fàcil d'interpretar del reconeixement del terreny, excepte si disposem d'informació detallada de la distribució dels danys. En conseqüència, el càlcul d'allaus esdevé una eina de gran utilitat. Els seus resultats en cap cas han d'imposar-se a l'anàlisi del terreny efectuada anteriorment, sinó que l'han d'acompanyar, permetent-ne una visualització del comportament dinàmic de cada escenari definit. Tal com és d'ús estès arreu del món, s'ha emprat el programa Aval-1D desenvolupat pel SLF (Christen et al. 2002; Oller et al. 2010). Es tracta

d'una formulació unidimensional del flux dens i de l'aerosol per separat, sobre un perfil representatiu predefinit. Complementàriament, per tal d'ajudar a l'anàlisi d'aspectes molt influïts per la morfologia i que generen dubtes a l'hora de definir el perfil de càlcul, el SLF ha realitzat uns càlculs de contrast amb el programari RAMMS que amb una formulació anàloga a l'anterior, realitza el càlcul bidimensional sobre un MET (model d'elevació del terreny).

ZONIFICACIÓ DE LA PERILLOSITAT

La perillositat d'una situació allavosa correspon a la magnitud de l'allau per la seva probabilitat de generació. Però la distribució d'aquesta perillositat en l'espai es modula per la intensitat en què es manifesta i la probabilitat d'afecció dins de l'envoltant màxima de la zona d'allaus. Per a cada escenari de referència li correspon un mapa d'intensitat (Janeras i Furdada, 2002) que, per tal d'expressar la potencialitat destructiva de l'allau s'expressa en termes de pressió dinàmica del flux. La cartografia de perillositat es confecciona amb la síntesi dels mapes d'intensitat segons els criteris de definició dels graus establerts per cada mètode. Cada metodologia deriva unes recomanacions o exigències en termes urbanístics per a cada grau de perillositat definit, si bé pel cas de França també hi intervé el l'edificabilitat actual del terreny.

Segons els criteris i llindars establerts per cada metodologia, integrant els mapes d'intensitat per a diferents escenaris, obtenim el mapa de zonificació del terreny en base a la perillositat d'allaus. En línies generals, les quatre cartografies obtingudes tenen un comportament similar d'acord al fet de ser aproximacions anàlogues al mateix objecte, però presenten diferències en la representació (graus, colors i interpretació). Per tal de poder fer una anàlisi comparativa dels resultats dels diferents mètodes en termes anàlegs, s'ha homogeneïtzat els colors per graus de restricció urbanística. A les figures 3 i 4 es mostra la comparació dels resultats de la zonificació segons les 4 metodologies en termes d'àrea afectada, considerant-la des d'una cota de referència a l'inici de la zona d'arribada. Així, s'ha homogeneïtzat amb vermell les zones per a la major restricció, en general de prohibició de l'edificació, amb blau les zones de restricció intermèdia on l'edificació és permesa sota restriccions parcials estrictes i associada a mesures de protecció, i finalment amb groc les zones de restriccions menors, en general de tipus organitzatiu, si bé amb algunes diferències rellevants.

Entre Unha i Bagergue no es poden fer distincions significatives, i simplement els termes absoluts d'afectació són el doble en el cas Bagergue perquè la zona d'estudi inclou més zones d'allaus i amplada de vessant. Essent dues situacions prou

diferenciades, el fet que s'observi un contrast molt similar fa pensar que s'assoleix una bona diferenciació dels 4 mètodes aplicats.

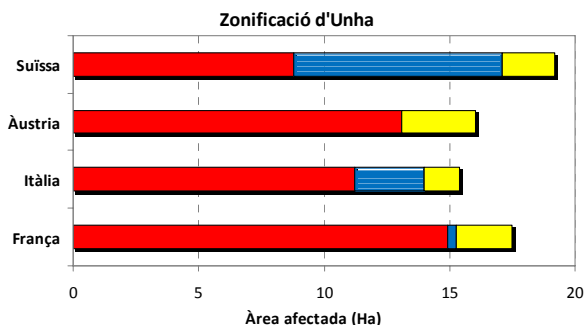


Figura 3 – Comparativa de l'afectació dels diferents zonatges per al nucli d'Unha.

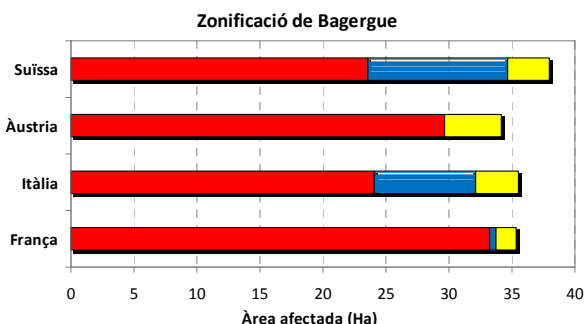


Figura 4 – Comparativa de l'afectació dels diferents zonatges per al nucli de Bagergue.

En primer lloc, la zonificació suïssa és la que pren una major extensió, però d'una forma molt gradual en el sentit longitudinal de l'allau, de tal manera que la zona vermella és la més reduïda. La segona en extensió és la zonificació francesa, però pel contrari, és la menys gradual, la que té una màxima extensió de la zona vermella. La zonificació italiana presenta una situació intermèdia en extensió de la zona vermella, però amb una distribució més equitativa entre blau i groc. Finalment, la zonificació austríaca té la particularitat de ser bicolor, marcant una gran extensió de la zona vermella, només superada per la versió francesa, i una extensió global més reduïda. A partir d'aquesta experiència comparativa i de cara a una futura aplicació per a una zonificació al Pirineu català, s'extreuen les següents consideracions:

- És convenient una zonificació simple, amb poques tipologies de terreny. Tot i així, una representació bicolor de la perillositat, com és a Àustria, és molt limitada, alhora que pot bloquejar excessivament la gestió urbanística posterior. Es creu òptima la divisió en tres graus de perillositat.
- El groc és optatiu i en general poc usat en la zonificació suïssa. En el nostre cas pot ser un bon recurs per a situacions en què les allaus excepcionals tenen un elevat grau d'incertesa per desconeixement i manca d'informació. En aquest sentit trobem convenient d'incorporar, almenys opcionalment, el

concepte francès de màxima allau versemblant des d'un punt de vista d'interpretació del terreny, per no dependre exclusivament dels resultats de càlcul de situacions extremes.

- El límit d'altres pressions per al traçat de la zona vermella més comunament acceptat és el nivell de 30kPa. El nivell més exigent és l'austríac (10kPa), que va ser fixat després de l'episodi catastròfic del 1999 que va superar delimitacions antigues. Aquesta problemàtica convé de preveure amb una definició realment excepcional de l'escenari major, per no aproximar el concepte d'alta intensitat a la màxima extensió.
- L'allau centenària s'ha demostrat en algunes ocasions com a insuficient com a delimitació d'abast màxim d'influència urbanística. Es creu preferible treballar amb l'allau de 300 anys de període de retorn. Així doncs, es considera imprescindible treballar amb dos escenaris de referència (T=30, T=300) si bé pot ser interessant incloure un escenari entremig (T=100) per modular algunes conclusions, així com en algun cas analitzar escenaris T=10 anys podria ajudar a detectar punts de molt freqüent afectació.
- La transposició de zonificació de la perillositat a la reglamentària és un treball típicament interdisciplinari en què conflueixen tots els factors condicionants del territori, sota la direcció de l'especialista en allaus, per a l'assoliment d'una definició urbanística coherent amb els principis de sostenibilitat.
- El concepte de bosc protector és interessant de ser considerat. Cal aprofundir en la caracterització del bosc de protecció per recollir-lo correctament a la zonificació del terreny (Solé et al. 2008), i en les principals variables que en poden controlar la seva eficiència. Caldrà definir les conseqüències reglamentàries que se'n deriven.

CONCLUSIONS

En base a la mateixa idea conceptual, el mateix esquema de treball i dades comunes, es pot obtenir una zonificació del terreny en base a la perillositat d'allaus sensiblement diferent segons s'apliqui una de les 4 metodologies de referència en 4 països alpins. Les diferències deriven doncs, sobretot els criteris de límit de zona definits i d'alguna manera en la filosofia subjacent.

No es pretén treure conclusions de validesa universal, ja que es tracta d'una comparativa en dues zones pilot locals i ambdues a la Val d'Aran. Però són dos casos prou diferents com perquè el fet d'obtenir un resultat comparatiu en una línia similar ens ajudi a entendre com considera el perill de les allaus cadascun del mètodes.

A partir d'aquesta prova pilot, l'objectiu és ara de definir una metodologia d'aplicació a Catalunya, aprofitant l'experiència dels països alpins per tal d'integrar al màxim l'aprenentatge de tants anys.

La zonificació del terreny en base a la perillositat natural, i en particular la d'allaus de neu per a l'àmbit pirinenc, és una eina fonamental per tal de donar compliment a la llei del sòl vigent i a l'assoliment dels seus objectius: un desenvolupament territorial equilibrat i sostenible.

En conseqüència, cal seguir desplegant el programa de zonificació del IGC els propers anys per tal de proveir d'eines fiables i criteris ponderats a la gestió urbanística per part de tots els agents implicats, públics i privats. El primer pas serà sintetitzar una metodologia de validesa a Catalunya que englobi les màximes potencialitats d'aquests quatre mètodes de referència.

AGRAÏMENTS

Aquest estudi s'emmarca dins del projecte de zonificació del terreny en base a la perillositat d'allaus que desenvolupa l'IGC amb els seus propis recursos. Han aportat dades necessàries per al desenvolupament de l'estudi Mariano Barriandos (UB), Carles Garcia (IGC) i Jordi Gavaldà (Conselh Generau d'Aran). Així mateix, estem molt agraïts als habitants del pobles estudiats que han col·laborat amb la seva memòria a les dades recopilades per enquesta.

REFERÈNCIES

- ARENY, F., 2004. La legislació i la normativa d'allaus a Andorra. Actes de la 1a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 16 de Juny de 2004.
- BARBOLINI, M., NATALE, L., TECILLA, G., CORDOLA, M., 2005. Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe. AINEVA (Associazione Interregionale Neve e Valanghe) + Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale dell'Università degli Studi di Pavia.
- BARRIANDOS, M., 2008. La contribución de las fuentes documentales en el conocimiento de eventos meteorológicos extremos relacionados con la alta montaña. Actes de la 3a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Betren, 18- 20 de Juny de 2008.
- BFF & SLF, 1984. Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Forstwesen (BFF) and Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Bern.
- CHRISTEN, M., BARTELT, P., GRUBER, U., 2002. Aval-1D: an avalanche dynamics program for the practice. International Congress INTERPRAEVENT 2002, Matsumoto (Japan), vol. 2, pp. 715-725.
- FERRER, P. i FURDADA, G., 2003. El cadastre digital d'allaus d'Andorra. Ús d'un sistema d'informació geogràfica per a la gestió del risc d'allaus. Horitzó, num. 3, 2003.
- FURDADA, G., 2006. Els plans de prevenció de riscos d'allaus a Andorra. Actes de la 2a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 26 i 27 de Juny de 2006.
- GARCÍA, C., MARTÍ, G., OLLER, P., MONER, I., GAVALDÀ, J., PEÑA, J.C., 2009. Major avalanche occurrence at regional scale and related atmospheric circulation patterns in the Eastern Pyrenees. Cold Reg. Sci. Technol. 59, pp. 106-118.
- JANERAS, M., FURDADA, G., 2002. Gestión del riesgo de aludes: metodología de análisis y planificación territorial y aplicación a L'Armiana de Canillo (Andorra). Actas de la VII Reunión Nacional de Geomorfología (SEG), Valladolid, pp. 99-108.
- MARTURIÀ, J.; OLLER, P.; MARTÍNEZ, P. (2006). La Base de Dades d'Allaus de Catalunya. Actes de la 2a

- Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 26 i 27 de Juny de 2006.
- MEDD (Ministère de l'Écologie et du Développement Durable), 2003. Guide methodologique: plans de prévention des risques naturels (PPR) - Risque d'avalanches
- MUNTÁN, E., OLLER, P., MARTÍNEZ, P., GARCÍA, C., MARTÍ, G., GAVALDÀ, J., XIFRE, D. GARCÍA A., MARTURIÀ, J., GUTIÉRREZ, E., 2006. Reconstrucció d'allaus a partir de la dendrogeomorfologia als Pirineus. Actes de la 2a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 26 i 27 de Juny de 2006.
- OLLER, P., MARTURIÀ, J., GONZÁLEZ, J.C., MARTÍNEZ, P., MUNTAN, E., 2004. La cartografia d'allaus i la seva aplicació en la prevenció del risc. Actes de la 1a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 16 de Juny de 2004.
- OLLER, P., MARTURIÀ, J., GONZÁLEZ, J.C., ESCRIU, J., MARTÍNEZ, P., 2005. El servidor de datos de aludes de Cataluña, una herramienta de ayuda a la planificación territorial. Actas de VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Valencia, 21-24 de Junio de 2005.
- OLLER, P., MARTURIÀ, J., MARTÍNEZ, P., 2006. Caracterització de les allaus al Pirineu de Catalunya. Actes de la 2a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 26 i 27 de Juny de 2006.
- OLLER, P., JANERAS, M., DE BUEN, H., ARNÓ, G., GARCÍA, C., CHRISTEN, M., MARTÍNEZ, P., 2009. Validación del programa de modelización numérica AVAL-1D para simular aludes en los Pirineos. Simposio nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Barcelona, 27-30 d'octubre de 2009, pp. 468-479.
- OLLER, P., JANERAS, M., DE BUEN, H., ARNÓ, G., CHRISTEN, M., GARCÍA, C., MARTÍNEZ, P., 2010. Using Aval-1D to simulate avalanches in the eastern Pyrenees. Cold Regions Science and Technology, 64 (2010), pp. 190-198.
- RÍOS, S., 2004. Situación de la cartografía de aludes en el Pirineo Central. Actes de la 1a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 16 de Juny de 2004.
- SAUERMOSE, S., 2006. Avalanche hazard mapping: 30 years experience in Austria. Proceedings of the 2006 International Snow Science Workshop, Telluride, ISSW USA, pp. 314-321.
- SOLÉ, X., DOMÉNECH, M., AUNÓS, A., 2008. Prospecció per l'obtenció d'una metodologia per a la caracterització silvícola dels boscos protectors contra allaus d'Andorra. Actes de la 3a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Betren, 18- 20 de Juny de 2008.
- VILAPLANA, J.M., 2004. L'impacte dels riscos naturals en zones de muntanya. Actes de la 1a Jornada Tècnica de Neu i Allaus. Barcelona, 16 de Juny de 2004.

REALIDAD CHILENA Y ARGENTINA EN LA GESTIÓN DE LOS RIESGOS INVERNALES

Daniel Vásquez Poblete ⁽¹⁾

(1) *APM Ltda. – APM Argentina SRL. – dvasquez@apmltda.cl*

RESUMEN

El objetivo de esta ponencia es dar a conocer y caracterizar la realidad Chilena y Argentina respecto de la Gestión de Riesgos Invernales asociados a las operaciones extractivas del sector industrial minero, prácticamente el único donde se aplica y desarrolla de manera sistemática. Lo anterior obedece a los altos estándares definidos en seguridad, y a los beneficios económicos que representa garantizar razonablemente, o mantener, la continuidad de los procesos productivos.

La Gestión de Riesgos Invernales está basada en los conceptos de Seguridad y Productividad, y desde el punto de vista operativo en un conjunto de protocolos o procedimientos que conforman el sistema denominado Operación Invierno.

PALABRAS CLAVE: *Gestión de Riesgos Invernales, Minería, Operación Invierno, Procedimiento - Protocolo, Seguridad.*

CONTEXTO

La Cordillera de Los Andes corresponde a uno de los escenarios más significativos en la geografía de América del Sur, extendiéndose a lo largo de la costa oeste de sudamérica por 6 países: Chile, Argentina, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, abarcando poco más de 7.000 Km. de longitud y un ancho de 241 Km., entre Perú, Bolivia y el norte de Chile y Argentina.

Las alturas más significativas de Los Andes se presentan en los Montes Aconcagua, 6.959 m. (Argentina); Volcán Ojos del Salado, 6.893 m. (Chile); Huascarán, 6.768 m. (Perú); Sajama, 6.542 m. (Bolivia); Chimborazo, 6.310 m. (Ecuador); Nevado del Ruiz, 5.321 m. (Colombia); Bolívar, 4.978 m. (Venezuela); entre otros.

En casi toda su extensión la Cordillera de los Andes posee minerales valiosos, tales como oro, plata, cobre, estaño, hierro, zinc y plomo.

La Cordillera de los Andes es también parte integral de la historia de Sudamérica, constituyendo el principal escenario de grandes civilizaciones precolombinas como Tiahuanaco e Inca, entre Bolivia y Perú, y diversos pueblos entre el norte de Chile y Argentina, y las zonas australes del continente (Aymaras, Atacameños, Diaguitas, Mapuches, Alacalufes, Yaganes, Onas, y otros).

SITUACIÓN Y MARCO LEGAL

Si bien tanto Chile como Argentina poseen legislación y normas técnicas en relación a seguridad y prevención, en las que se abordan de alguna manera (parcial) los riesgos invernales, falta dar cuerpo a una legislación y normativa específica sobre la materia.

Para el caso de Chile, entre las normas y referentes legales relacionados se encuentran:

- Ley de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, y decretos relacionados.
- Reglamento de Seguridad Minera
- Manual de Carreteras



Figura 1 – Camino minero que atraviesa la Quebrada de Conconta, elevándose por el macizo que recibe el mismo nombre, a 4.980 m. de altura, en la provincia de San Juan, Argentina.

RIESGOS ASOCIADOS

Las operaciones mineras desarrolladas en el medio ambiente de montaña deben enfrentar año a año las especiales y complejas condiciones del período invernal, comprendido en la práctica entre los meses de mayo y septiembre, destacándose las siguientes:

- Alto tráfico de vehículos livianos, de alto tonelaje y carga
- Servicio de transporte de personas
- Localización de instalaciones industriales y campamentos
- Bajas temperaturas (-10°C a -40°C)
- Fuertes vientos (60 a 180 Km/h en cotas altas)

- Escasa o nula visibilidad por viento blanco, niebla o temporales
- Tormentas eléctricas
- Alteraciones del relieve de caminos por efectos naturales y causados por el hombre
- Caída de rocas
- Mal de altura
- Radiación solar
- Aislamiento
- Desencadenamiento de Avalanchas

GESTIÓN DE RIESGOS INVERNALES

La Gestión de Riesgos Invernales, en el contexto de la realidad Chilena y Argentina, se aplica y desarrolla casi exclusivamente en el sector industrial minero, específicamente en la denominada gran minería, y surge de una doble necesidad:

1. La de proteger, dada la magnitud de los riesgos asociados, a las personas, a los bienes y al medio ambiente.
2. La de mantener la continuidad de los procesos productivos, dado la amenaza que revisten las elevadas pérdidas que implica su paralización.

La Gestión de Riesgos Invernales está basada en los conceptos de Seguridad y Productividad, y

desde el punto de vista operativo en un conjunto de protocolos o procedimientos que conforman el sistema denominado Operación Invierno.

La Operación Invierno constituye un régimen especial de trabajo, al que se le suman, además de las consideraciones permanentes, los riesgos inherentes al período invernal.

Mencionamos algunos de los protocolos o procedimientos que forman parte de la Operación Invierno:

- Check list de vehículos (Kit de Invierno)
- Uso de elementos de protección personal, incluyendo ARVA, pala y sonda
- Evacuación de zonas de operaciones y campamentos
- Tránsito en caravanas
- Postura y uso de cadenas
- Capacitación sobre Nieve y Avalanchas
- Elaboración de Boletín diario con información nivometeorológica, y recomendaciones
- Evaluación del manto nivoso
- Control de nevadas
- Búsqueda y rescate en avalanchas
- Control artificial de avalanchas
- Sistema de Alertas



● Ubicación del Proyecto



Camino principal

Figura 2 – Vertiente norte de la quebrada El Teniente. Construcción del proyecto Rajo Sur 2011, una operación a cielo abierto, inédita en El Teniente, dado que desde 1904 ha centrado sus operaciones en la explotación de la mina subterránea de cobre más grande del mundo, con 2.400 Km. de galerías. Pertenece a la Corporación Nacional del Cobre (Codelco), y está ubicada a 140 Km. al sur de Santiago, Chile.

OPERACIONES MINERAS Y GESTIÓN DE RIESGO INVERNAL

Operaciones más significativas

En Chile

- Codelco Chile División Andina
- Codelco Chile División El Teniente
- Minera los Pelambres
- Los Bronces
- Pascua Lama

En Argentina

- Veladero
- Lama
- Cerro Vanguardia

RECURSOS INVOLUCRADOS

Definiciones cada vez más exigentes, como se ha dicho, en productividad y seguridad, tecnología disponible, intervención de profesionales idóneos en la problemática y fenómeno invernal, y la

propia experiencia y conocimiento que aporta la naturaleza, han permitido la implementación de recursos para la prevención y protección de los riesgos invernales.

Actualmente la Operación Invierno que realiza la gran minería de Chile y Argentina, hace uso de importantes recursos técnicos y humanos. Respecto de los primeros podemos mencionar el uso de dispositivos tales como sistemas Catex, Gazex, Cañones, Explosivos manuales, y sistemas del tipo pasivo, como diques, deflectores y otros.

En relación a los recursos humanos, estos se traducen en una organización formal, responsable en distintos niveles, de la Gestión de los Riesgos Invernales. En relación a lo anterior cabe destacar la relevancia que ha adquirido la Capacitación del personal, destinando cerca del 6% del tiempo de trabajo a Capacitación. Algunos de los temas abordados son: sensación térmica, conducción en montaña, postura de cadenas, remoción de nieve, uso de ARVA, nieve y avalanchas, rescate.

DATOS ESTADÍSTICOS

En relación con el proyecto Rajo Sur, de CODELCO CHILE, la zona presenta del orden de 27 días de nevadas, con una precipitación promedio de nieve de 614 cm. por año, no obstante existen registros de años extremos, con nevadas que han alcanzado los 15 m.

Analizado un período de 17 inviernos se observa que existen nevadas por sobre los 250 cm. en 72 horas, volumen más que suficiente para la generación de avalanchas.

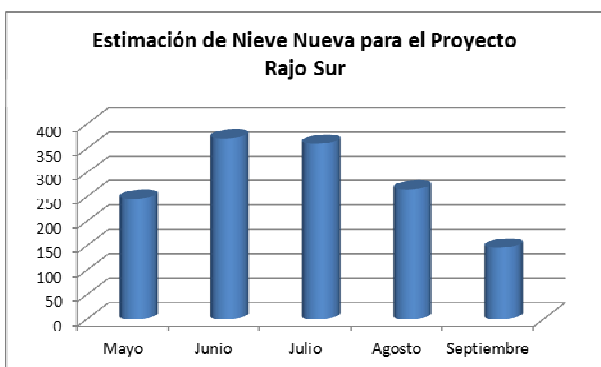


Gráfico 1 – Estimación de nieve nueva para el área del Proyecto Rajo Sur, basada en la serie mensual de 98 años de la estación meteorológica de Sewell (ubicada a una altura de 700 - 900 m. más baja que la zona del proyecto)

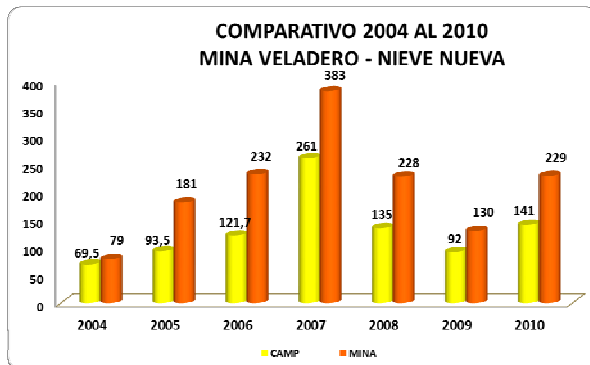


Gráfico 2 – Gráfico comparativo de nieve nueva precipitada en área de campamento, ubicada a 3.700 m. de altura y operaciones mina a 4.400 m., Mina Veladero, provincia de San Juan, Argentina.

La estadística de accidentes fatales por avalanchas en Argentina alcanza, entre 1943 y 2006, un total de 93 víctimas. Para el caso de Chile, entre 1905 y 2010, un número cercano a 220 personas han perdido la vida por esta causa.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a toda la organización de las IV Jornadas Técnicas de Nieve y Aludes.

Agradecemos también a los Sres. Marc Janeras, Lukas Stoffel, Carles García, Pere Oller, por sus contribuciones al desarrollo en las materias de prevención y protección de aludes en proyectos mineros de Chile y Argentina.

REFERENCIAS

Registros pluviométricos y nivometeorológicos proporcionados por la División El Teniente, Sr. Adolfo Cortés - Meteorólogo.

Base de datos fotográficos APM Ltda.

Datos centro Nivometeorológico Lagunitas, Codelco Chile, División Andina.

Estudio de riesgos de avalancha a nivel de ingeniería conceptual para el proyecto Rajo sur, Codelco Chile División El Teniente, realizado durante 2007 – 2008 por APM Ltda, SLF Davos, IGC España.

Prevençió i protecció
Prevencion e proteccion
Prevención y protección
Prévention et protection

LA PLANIFICACIÓ DE LES EMERGÈNCIES PER ALLAUS A CATALUNYA: EL PLA ESPECIAL ALLAUCAT

Xavier Saenz de Buruaga ⁽¹⁾; Manel Pardo Sabartés ⁽²⁾

(1) *Direcció General de Protecció Civil. Generalitat de Catalunya. xavier.saenz@gencat.cat*

(2) *Direcció General de Protecció Civil. Generalitat de Catalunya. mpardo@gencat.cat*

RESUM

El Pla Especial d'Emergències per Allaus a Catalunya és l'eina que ha de permetre fer front a totes aquelles emergències per allaus que es donin dins de l'àmbit territorial de Catalunya. El Pla analitza el risc d'allaus al Pirineu català i determina les zones i municipis amb major risc, alhora que estableix l'estructura organitzativa i els procediments operatius de resposta i coordinació necessaris per gestionar les emergències associades a allaus. El Pla ALLAUCAT defineix una sèrie de nivells o fases d'activació en funció del perill d'allaus als quals s'associa un conjunt d'avisos i d'actuacions preventives i pal·liatives a realitzar amb la finalitat de minimitzar el risc, garantir la seguretat de les persones i la protecció dels béns i infraestructures.

PARAULES CLAU: protecció civil, risc, allaus, prevenció, planificació, emergència.

INTRODUCCIÓ

Els plans especials de protecció civil són eines que identifiquen i analitzen un risc determinat i estableixen l'organització i el conjunt d'actuacions de resposta a realitzar pels equips que intervenen en l'emergència per tal de minimitzar les conseqüències i els danys derivats d'una situació d'emergència. La finalitat principal de tot pla de protecció civil és protegir la població, els béns i el medi ambient en situació de greu risc col·lectiu o calamitat pública. Per tant, l'àmbit d'aplicació d'aquests plans seran aquelles situacions que suposin un greu risc col·lectiu potencial [1].

Queden fora de l'abast dels plans de protecció civil les emergències de tipus "ordinari", és a dir, aquelles que es produeixen de manera relativament freqüent però que acostumen a tenir una afectació puntual o de poca magnitud, com poden ser els accidents de trànsit o els incendis d'habitatge, que no requereixen mesures especials o extraordinàries de coordinació i/o d'intervenció.

El Pla ALLAUCAT [2] és el pla especial que analitza el risc d'allaus a Catalunya i estableix l'estructura organitzativa i els procediments operatius de resposta necessaris per gestionar les emergències associades a allaus.

Al Pirineu i Prepirineu català, la majoria d'allaus es produeixen per sobre les 1500-2000 metres d'altitud, afectant a persones que realitzen activitats en zones d'alta muntanya o bé les infraestructures que es troben per sobre d'aquestes cotes. Malgrat tot, cal tenir present que

no es tracta d'un fenomen exclusiu de l'alta muntanya, sinó que en alguns casos les allaus poden arribar a baixar per vessants menys elevats i arribar fins al fons de les valls, on pot no tenir-se la percepció adequada d'estar sotmesos al perill d'allaus i a on es concentra la població, els béns, les infraestructures i els serveis.

Als darrers anys, les allaus han afectat vies de comunicació, torres elèctriques, instal·lacions d'estacions d'esquí i edificacions. En el cas concret de les edificacions, es té constància de més de 76 víctimes als darrers dos segles al Pirineu català.

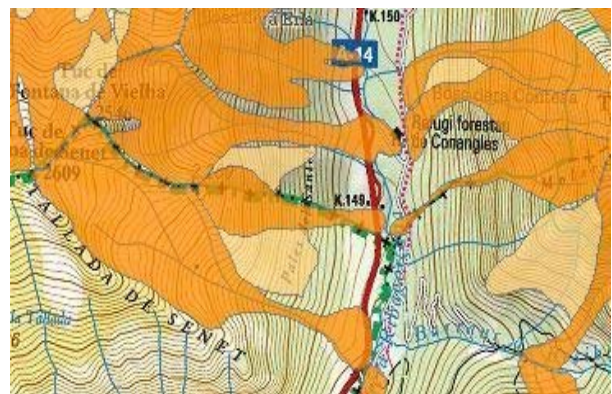


Figura 1. Afectació d'allaus sobre infraestructures.

El desenvolupament turístic al Pirineu ha fet augmentar considerablement la població, els béns i les infraestructures que un moment donat poden estar exposades al perill d'allaus. Aquest fet, juntament amb la gran capacitat destructiva que poden arribar a tenir les allaus, és el que motiva la necessitat d'elaborar un pla especial que analitzi el risc en detall i que estableixi una estructura i uns procediments operatius de resposta adaptats a les situacions d'emergències causades per allaus [3].

OBJECTIUS DEL PLA

El Pla Especial d'Emergències per Allaus a Catalunya (ALLAUCAT), com a instrument per fer front a totes aquelles emergències per allaus que es donin dins de l'àmbit territorial de Catalunya, té com a objectius principals:

- Determinar les zones i els municipis de Catalunya amb risc d'allaus.
- Predir el perill d'allaus amb la màxima antelació possible i avaluar el risc per tal de poder prendre les mesures preventives adients.
- Establir l'estructura organitzativa i els procediments operatius de resposta i coordinació necessaris per gestionar les emergències associades a allaus, amb la finalitat de minimitzar el risc, garantir la seguretat de les persones i la protecció dels béns i infraestructures.
- Definir les tasques d'implantació i manteniment del pla, en especial les referents a l'elaboració dels Plans d'Actuació dels Grups Operatius, Plans d'Actuació Municipals, Plans d'Autoprotecció i Plans d'Assistència i Suport Comarcals.

ABAST DEL PLA

L'abast territorial del pla ALLAUCAT són les comarques pirinenques i prepirinenques amb condicions orogràfiques i nivometeorològiques favorables al desencadenament d'allaus. Aquestes comarques són: la Val d'Aran, l'Alta Ribagorça, el Pallars Jussà, el Pallars Sobirà, l'Alt Urgell, el Solsonès, la Cerdanya, el Berguedà i el Ripollès.

L'abast temporal del Pla és entre els mesos d'octubre i abril (ambdós inclosos), però sempre en funció de l'existència o no d'un mantell nival suficient per tal que puguin desencadenar-se allaus.

En general, el Pla Especial d'Emergències per Allaus a Catalunya ALLAUCAT es podrà activar per qualsevol situació d'emergència associada amb les allaus.

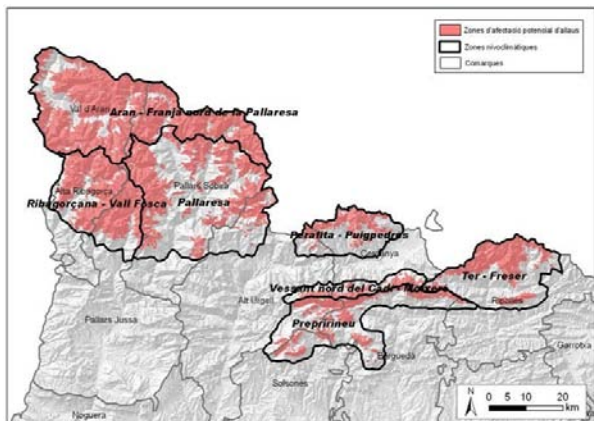


Figura 2. Sectors nivològics i zones d'afectació d'allaus.

Ara bé, és important remarcar que els accidents o situacions de perill d'allaus que afectin persones que realitzin activitats d'oci o professionals d'alta muntanya hivernal, queden fora de l'abast del Pla, atès que es consideren dins dels límits del risc inherent a la pràctica d'aquestes activitats. Malgrat tot, sí que es preveu la posada en funcionament de l'estructura de gestió de l'emergència i la mobilització dels mitjans adscrits al Pla en el cas d'accidents de muntanya en què hi hagi una afectació a un nombre elevat de persones i/o bé en el dispositiu de recerca i rescat es mobilitzi un nombre de recursos superior als habituals i que pugui fer necessària la presa de mesures de coordinació excepcionals.

ANÀLISI DE RISC

A l'anàlisi de risc del Pla ALLAUCAT s'avalua la perillositat de les allaus i la vulnerabilitat dels elements exposats al perill d'allaus, per tal d'identificar prèviament aquelles situacions que poden donar lloc a emergències per allaus i delimitar les zones de risc.

La perillositat de les allaus ve determinada per la seva intensitat i la seva freqüència. L'estimació de la perillositat de les allaus es basa en l'anàlisi estadística del registre històric d'allaus majors i de les zones afectades (Base de Dades d'Allaus de Catalunya) i en el Mapa de Zones d'Allaus de Catalunya (MZA).

De l'anàlisi de la Base de Dades d'Allaus de Catalunya se'n desprèn que al Pirineu català, la probabilitat de patir una o més situacions de grans allaus a l'any és del 64%. Per altra banda, el Mapa de Zones d'Allaus de Catalunya permet disposar d'una visió global de la susceptibilitat del territori en relació al desencadenament d'allaus, mitjançant la representació de la trajectòria i abast de les allaus.

L'elaboració del MZA es basa en l'anàlisi de fotografies aèries, models derivats del model digital d'elevacions (mapes de pendents), mapes de zones propenses al desencadenament i cartografia de camp. Aquesta informació es completa amb enquestes a la població i observació hivernal d'allaus.

Pel que fa a la vulnerabilitat, l'estudi s'ha focalitzat en els nuclis habitats, les vies de comunicació (xarxa viària i cremallera de Núria) i en les afectacions sobre el subministrament elèctric per caiguda de torres i cablejat elèctric. A Catalunya, la zona amb major risc d'allaus és el Pirineu Occidental, i la comarca més afectada la Val d'Aran.

CRITERIS DE PLANIFICACIÓ MUNICIPAL

En base a l'anàlisi de risc, el Pla ALLAUCAT estableix l'obligació d'elaborar el Pla d'Actuació Municipal (PAM) per allaus als municipis que compleixin alguna de les següents condicions:

- Hagin patit allaus amb afectació a edificacions, infraestructures o béns i/o bé que es trobin ubicats en zones de perill d'allaus i que per tant en puguin patir.
- Tinguin infraestructures turístiques d'hivern en zona de risc.
- Tinguin previst el seu desenvolupament urbanístic total o parcial en zones d'afectació d'allaus a les quals el risc sigui gestionable

Un total de 38 municipis repartits en 9 comarques tenen l'obligació d'elaborar el Pla d'Actuació Municipal per Allaus.

ESTRUCTURA I ORGANITZACIÓ DEL PLA

L'estructura i organització del Pla ALLAUCAT segueix el model habitual dels plans d'emergència elaborats per la Generalitat de Catalunya, que es caracteritzen per l'existència de les següents figures:

- **Comitè d'emergències:** integrat per la direcció del pla (Conseller d'Interior), el Consell Assessor, el Centre de Coordinació Operativa de Catalunya (CECAT) i el Gabinet d'Informació. El Comitè d'Emergències desenvolupa les tasques de direcció i coordinació de l'emergència a través de la direcció del pla amb el suport del Consell Assessor i del CECAT respectivament.
- **Comitè d'emergències municipal:** format pel Centre de Coordinació Operativa Municipal (CECOPAL), la direcció del pla d'emergència municipal (alcalde) i el Consell Assessor municipal. Aquesta estructura es defineix per a la direcció i gestió de l'emergència dins l'àmbit municipal. El comitè d'emergències municipal es coordinaran entre si a través dels seus centres de coordinació (CECAT i CECOPAL respectivament).
- **CCA:** El Centre de Comandament Avançat és el centre des d'on s'efectuarà la coordinació operativa in situ de les actuacions realitzades pels diferents grups operatius per combatre l'emergència.
- **Grups Actuants:**
 - *Grup d'Intervenció:* executa tasques de mitigació i contenció de l'emergència, com la recerca, rescat i salvament dels afectats per una allau.
 - *Grup Sanitari:* proporciona l'assistència sanitària necessària derivada de l'emergència.
 - *Grup d'Ordre:* assegura la seguretat ciutadana a la zona de l'emergència i garanteix l'accés dels grups operatius al lloc del sinistre perquè puguin actuar sense impediments. També fa tasques de control de trànsit i d'avisos a la població.

- *Grup Judicial i de Medicina Legal i Forense:* està previst per a aquelles emergències a les quals es poden produir múltiples víctimes. Gestiona les accions destinades a l'aixecament de cadàvers, identificació de les víctimes, investigació dels fets i causes de la mort...
- *Grup Logístic:* assegura el subministrament de serveis bàsics en general a la població i la provisió de qualsevol mitjà o recurs que puguin necessitar els grups actuants.
- *Grup d'Avaluació Nivometeorològica:* és un grup específic del Pla ALLAUCAT. Realitza les tasques de predicció, avaluació i seguiment del perill d'allaus, així com la determinació de l'abast que aquestes poden tenir. El formen l'Institut Geològic de Catalunya, el Servei Meteorològic de Catalunya i el Conselh generau d'Aran.

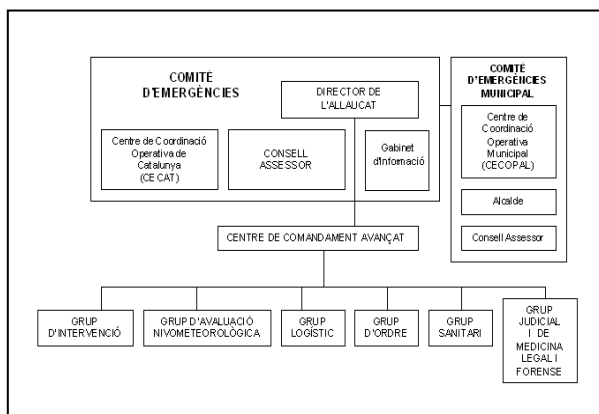


Figura 3. Organigrama del Pla ALLAUCAT

OPERATIVITAT

L'operativitat d'un pla de protecció civil determina les actuacions que cal fer davant d'una situació de risc potencial. El primer pas per poder determinar aquestes actuacions és establir diferents nivells o situacions de risc en funció de la seva gravetat. El segon, és assignar a cada nivell unes actuacions concretes a executar.

El Pla ALLAUCAT té 4 fases o nivells que determinaran el conjunt d'actuacions i d'avisos que es duren a terme. Aquests nivells, ordenats de forma creixent en funció de la seva gravetat, són els següents: prealerta, alerta, emergència 1 i emergència 2.

Avis de Prealerta

Els avisos de prealerta no suposen l'activació del Pla ALLAUCAT i es corresponen amb situacions que no requereixen la intervenció general de tots els operatius però que per les seves característiques poden derivar en situacions de risc elevat i que per tant requereixen d'un seguiment per a la seva contenció si s'escau.

El CECAT emetrà un comunicat d'avis de prealerta del pla ALLAUCAT en el moment en què

l'Institut Geològic de Catalunya emeti un avís de perill d'allaus de nivell 4 (perill fort, segons l'Escala Europea de Perill d'Allaus). Aquest avís s'ampliarà posteriorment amb la corresponent difusió del Butlletí de Perill d'Allaus (BPA).

Escala de Perill d'Allaus	1 FEBLE	2 MODERAT	3 MARCAT	4 FORT	5 MOLT FORT

Figura 5. Escala Europea de Perill d'Allaus.

Activació del Pla ALLAUCAT

Es procedirà a activar el pla ALLAUCAT en fase d'alerta en aquelles situacions que facin necessari l'establiment de mesures preventives i de control extraordinàries o especials, com per exemple restriccions o talls de circulació en determinades vies circulació o bé en cas que s'hagi d'evacuar o confinar un grup de persones o un nucli habitat a causa del perill d'allaus [3]. En concret, s'activarà l'ALLAUCAT en alerta quan l'índex de perill d'allaus sigui 5 (Molt fort) o bé en cas que s'hagi desencadenat una allau amb una afectació lleu sobre béns, infraestructures o serveis bàsics. El Pla es mantindrà en fase d'alerta mentre la situació es pugui solucionar amb els mitjans habituals de gestió d'emergències i l'afectació a la població sigui nul·la o reduïda.

L'activació en *emergència* del Pla ALLAUCAT es farà sempre que s'hagi desencadenat una allau amb afectació important sobre infraestructures, zones habitades o serveis bàsics, amb o sense afectació a persones. També s'inclouen com a supòsit d'activació en emergència de l'ALLAUCAT els accidents de muntanya de gran magnitud. L'activació del Pla en emergència comportarà la posada immediata en funcionament de l'estructura organitzativa de gestió de l'emergència, amb la mobilització total o parcial dels mitjans i recursos adscrits al pla.

AVÍS DE PREALERTA - Quan el BPA indica índex de perill 4
ACTIVACIÓ EN ALERTA - Quan el BPA indica índex de perill 5 - Allaus amb afectació lleu a infraestructures
ACTIVACIÓ EN EMERGÈNCIA 1 - Allaus amb afectació important a infraestructures i/o zones habitades, amb o sense afectació a persones - Accident de muntanya de gran magnitud
ACTIVACIÓ EN EMERGÈNCIA 2 - Situacions de grans allaus generalitzades en què els serveis d'emergències són insuficients o es veuen desbordats.

Figura 5. Resum dels criteris d'activació del Pla ALLAUCAT.

CONCLUSIONS I CONSIDERACIONS FUTURES

Per tal que l'ALLAUCAT sigui un pla realment operatiu i no esdevingui un document teòric i amb poca utilitat pràctica, és necessari que tots els grups actuants implicats al Pla tinguin un ple

coneixement dels mecanismes i les actuacions planificades i assignades. Aquest procés d'assumpció d'actuacions i informació s'anomena *implantació*.

Així doncs, a partir d'ara caldrà orientar els esforços per aconseguir la màxima implicació possible dels diferents organismes i agents que intervenen al Pla (centres de coordinació, grups operatius, municipis, etc) per tal elaborin els seus protocols interns d'actuació i de coordinació en els anomenats Plans d'Actuació de Grup, Plans d'Actuació Municipals, Plans d'Autoprotecció i Plans d'Assistència i Suport Comarcals.

AGRAÏMENTS

Els autors volen agrair la col·laboració i el suport rebut en tot moment per part d'Olga Costa, Carles Garcia, Glòria Martí i Pere Oller de l'Institut Geològic de Catalunya, a més d'en Jordi Gavalda del Conselh Generau d'Aran.

REFERÈNCIES

- [1] Llei 4/1997, de 20 de maig, de protecció civil de Catalunya (DOGC 2401, de 29 de maig).
- [2] Pla Especial d'Emergències per Allaus a Catalunya (Aprovat per l'acord GOV/68/2010, de 13 d'abril).
- [3] STOFFEL, L., SCHWEIZER, J., ISSW 2008: Guidelines for avalanche control services: organization, hazard assesment and documentation – an example from Switzerland. WSL Institute for Snow and Avalanche Research (SLF), CH-7260 Davos Dorf, Switzerland.

L'EXPERTISE DES RISQUES D'AVALANCHE POUR LA PREVISION LOCALISEE ET L'APPUI A LA GESTION DE CRISE. L'EXPERIENCE DES SERVICES RTM

Claudet Roland ⁽¹⁾; JeanYves Lasplaces⁽¹⁾; Michel Truche ⁽¹⁾

(1) Office National des Forêts – Service de Restauration des Terrains en Montagne des Pyrénées-Orientales, France, roland.claudet@onf.fr

RÉSUMÉ

Plusieurs axes routiers internationaux franchissant les Pyrénées sont soumis en de multiples endroits au risque d'avalanche. Aujourd'hui l'utilisateur attend du gestionnaire un fonctionnement continu et sécurisé des infrastructures montagnardes. C'est pourquoi ce risque, pris très au sérieux, génère le besoin de prévision localisée du risque avalanche (PLRA).

Cette mission est confiée, coté français, aux services RTM (restauration des terrains en montagne) qui ont développé une réelle capacité d'expertise. A partir d'une connaissance renforcée des couloirs d'avalanches, de la capitalisation des savoirs des experts locaux et d'une méthodologie d'analyse à l'échelle des massifs puis à l'échelle des couloirs, le système expert porte un diagnostic précis, fixant le niveau de risque et proposant d'éventuels déclenchements préventifs.

Le croisement de plusieurs sources d'informations est indispensable, notamment : suivi nivo-météorologique de J-3 à J+3 grâce aux bulletins par massifs de Météofrance, recueil de données locales, suivi des paramètres localisés atténuant ou aggravant le risque pour chaque couloir surveillé. Le bulletin PLRA est l'outil majeur de communication diffusé par mail au gestionnaire routier ainsi qu'aux autorités de la sécurité civile.

De la même façon, en cas de crise non préparée, l'expert s'efforce d'analyser la situation de façon méthodique. Gardant son indépendance de vue, il remet aux autorités des avis écrits, se rapprochant dans la forme, des bulletins PLRA.

MOTS CLÉS: avalanches, prévision localisée, risques naturels, expertise, gestion de crise

INTRODUCCION

Vivre à la montagne nécessite de gérer le risque d'avalanche de façon adaptée aux enjeux exposés. Mais il est clair que la randonnée, la station de ski, le village, la route ... ne se gèrent pas de façons identiques. On s'aperçoit aussi que la société s'habitue à un fonctionnement continu des infrastructures montagnardes, accès aux stations, itinéraires de transit, habitats permanents ou saisonniers... ce qui fait naître en temps réel des pressions importantes en cas de risques naturels avérés.

Les enjeux demandent des approches très différentes quant aux informations à recueillir, aux prévisions à établir et aux décisions à prendre face au risque. Qu'il s'agisse d'enjeux élevés (avec deux contraintes de gestion majeures, la plus grande continuité de service possible et le maintien d'une sécurité maximale) ou d'enjeux plus faibles, le besoin d'expertises fiables donne tout son sens à l'intervention de l'expert. Mais son travail est délicat. Peut-il évaluer précisément le niveau de risque ? Comment exprimer les menaces ? Y a-t-il des risques résiduels acceptables ou gérables ? Jusqu'où va le rôle de l'expert en vue de la prise des décisions ?

Du fait de leur implantation territoriale et de leur expérience dans le domaine des avalanches, les

services Restauration des Terrains en Montagne (RTM) sont fréquemment appelés sur ce type de missions, en appui aux gestionnaires. Ils ont récemment clarifié les modalités d'intervention de leurs experts, cela à la lumière de deux approches :

- les missions PLRA, c'est-à-dire de Prévision Localisée du Risque Avalanche,
 - les interventions dans des crises peu préparées.
- En voici les points de repère essentiels et éléments de méthode.

PLRA: OBJECTIFS, ENJEUX, CONNAISSANCE RENFORCEE DES COULOIRS, FORME ELABOREE DU BULLETIN DE PREVISION

Un exemple opérationnel est la mise en sécurité du réseau routier national pyrénéen, stratégique pour l'accès à la Cerdagne et à l'Andorre (convention Direction Interdépartementale des Routes du Sud-Ouest (DIRSO) – RTM), qui met en œuvre 4 phases principales :

- le suivi des conditions nivo-météorologiques qui contribuent au risque d'avalanche, notamment au travers de la veille d'indicateurs
- la phase d'expertise lorsque des indicateurs dépassent des valeurs limites préétablies, avec évaluation des niveaux de risques
- l'activation éventuelle de déclenchement préventif des couloirs d'avalanche équipés enfin, sous la responsabilité du gestionnaire routier et si nécessaire, la restriction des conditions de circulation routière.

Les enjeux économiques et de communication du réseau exploité par la DIRSO-District Sud sont très importants. Au centre d'un vaste territoire se trouve le plateau de Cerdagne, relié à 5 directions majeures : Andorre, Ariège (et au-delà, la métropole toulousaine), Aude, Roussillon (Perpignan) et Espagne (la métropole de Barcelone n'est qu'à une centaine de kilomètres).

Le réseau de routes nationales qui dessert et relie tous ces territoires est exploité par la DIRSO. Il est formé de la RN 116 (qui relie Perpignan à Bourg-Madame), de la RN 20, desservant au sud l'Espagne et au nord l'Andorre et l'Ariège. Le col du Puymorens (1915 m) secteur de confrontation entre les influences océaniques et méditerranéennes se franchit à l'air libre par la RN 320 et en souterrain par la RN 20 via le tunnel de Puymorens (4,5 km de longueur). Le tourisme hivernal y est très développé. Une dizaine de stations de ski se répartissent sur les massifs environnants du Capcir, Cambre d'Aze, Puigmal, Puymorens, sans oublier le Pas de la Case en Andorre.

Connaissance renforcée des couloirs d'avalanches : un préalable indispensable à la PLRA est de connaître parfaitement les couloirs en cause. C'est le but des monographies de couloirs [cf. figure 1 en fin de document], qui comprennent non seulement une analyse poussée de leurs caractéristiques physiques et de l'historique des événements mais aussi intègrent autant qu'il est possible le savoir des experts locaux (techniciens des stations de ski et des communes ...). Ces experts ont de l'expérience et ont acquis des repères locaux de « lecture des couloirs », très utiles pour la prévision. Le dialogue a été source de précieuses informations se recoupant entre elles. Nous insistons sur trois points majeurs :

- l'existence d'indices visibles de remplissage des couloirs (repères locaux tels que émergence de rochers, boisements ... visibles par temps clair)
- l'identification de couloirs voisins aux comportements semblables
- enfin l'importance de l'orientation des vents par rapport à l'orientation des couloirs dans les phénomènes d'accumulation ou au contraire de balayage de la neige (sous remplissage).

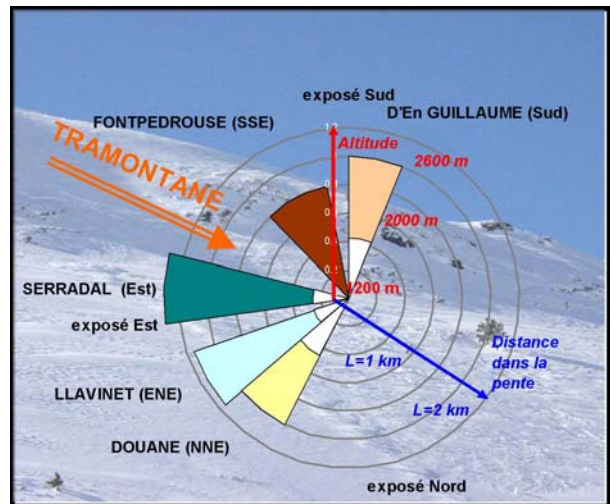


Figure 1 – graphes issus des études monographiques préalables à la mission de PLRA (Pyrénées-Orientales).

Ce dire d'experts nous a amené à détecter un grand intérêt, lors d'événements générant des cumuls de neige fraîche importants, pour trois paramètres essentiels sur lesquels il faut de l'information en temps quasi réel :

1. Présence ou non de fortes accumulations en tête de couloir.
2. Neige avec des vents violents (> 60-80 km/h). Dans ce cas, il faut être très attentif à la direction des vents dominants au regard de l'orientation du couloir ; un vent transversal au couloir sera un facteur atténuant alors qu'un vent présentant peu d'angle avec la tête du couloir aura tendance (par températures basses) à le suralimenter et y provoquer de grosses accumulations (et formation de corniches). De telles conditions météorologiques sont, chacun le sait, favorables à la formation de plaques à vent
3. Constaté le taux de remplissage du couloir de la tête à la zone d'arrivée : facteur essentiel d'aggravation ou d'atténuation du risque vis-à-vis des enjeux aval.

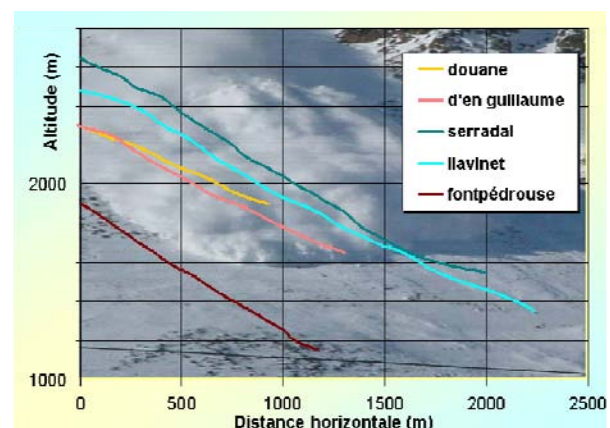


Figure 2 – Profils en long comparés

Le bulletin d'expertise : outil majeur de communication du niveau de risque

Le bulletin d'expertise définit le niveau de risque pour chaque couloir exposé de façon à ce que le représentant de l'Etat (Préfet) et le gestionnaire (DIRSO) puissent prendre les bonnes décisions, fondées sur d'éventuelles mesures de restriction ou d'interdiction du trafic.

Le bulletin propose en tant que de besoin de recourir au déclenchement préventif des avalanches. En effet ce déclenchement est réalisable depuis les systèmes déclencheurs installés in situ (de type Gazex, trois couloirs équipés sur Porta et Porté ou Catex, pour les couloirs de l'Hospitalet).

La méthode de prévision PLRA est dite « intégrée et explicite ». Le critère de l'intégration signifie qu'il y a combinaison de l'approche par massif et de l'approche par couloir. Le critère d'explicitation signifie que tous les paramètres nécessaires à l'expertise, dans les limites bien sûr de nos connaissances et réflexions actuelles, ont été inventoriés, peuvent être renseignés en temps peu différé et ont donc toute leur place dans un bulletin.

L'analyse et la décision s'articulent autour de trois étapes importantes :

- une forte valorisation des bulletins météorologiques et de prévision du risque avalanche par massif, produits par Météo-France
- une collecte spécifique de données et informations dans l'environnement de chaque couloir menaçant l'axe routier. Parmi celles-ci, des sondages du manteau neigeux sont réalisés pour bien évaluer la stabilité ou l'instabilité du manteau neigeux.
 - Après ces 2 étapes, notre bulletin dresse un bilan nivo-météorologique par massif intégrant un suivi de données sur une échelle de temps de J-3 à J+3
- enfin pour former le diagnostic par couloir, une comparaison qualitative et rigoureuse des facteurs susceptibles d'aggraver ou atténuer le risque est nécessaire. Il conduit à l'évaluation du niveau de risque PLRA et aux préconisations de déclenchement préventif pour les couloirs équipés.
 - en cohérence avec le BRA (Avalanche Bulletin), nous avons opté pour un niveau de risque cohérent avec l'échelle européenne de 1 à 5. Pour l'opérationnel, la décision revient au gestionnaire qui établira le plus souvent les correspondances suivantes pour la gestion de l'infrastructure : si niveau entre 2 et 3 => vigilance ; si niveau entre 4 et 5 => actions de restriction ou d'interruption du trafic adaptées à la menace et au contexte.

Ce mode d'expertise a été conçu pour s'exercer en équipe. Il aboutit à un bulletin final écrit, régulièrement mis à jour. Voulu pour assurer la transparence et la traçabilité de l'expertise, il est le vecteur de communication auprès du gestionnaire. Nous pourrions dans les prochaines années

rechercher, pour fiabiliser l'expertise, des améliorations dans 2 types de directions : rendre le diagnostic encore plus objectif, en tirant parti de la connaissance acquise des facteurs aggravant ou atténuant le risque ; étudier les conditions nivo-météorologiques qui ont prévalu dans la genèse des événements avalanchueux majeurs des couloirs à surveiller.

INTERVENTIONS EN CRISES PEU PREPARÉES

Certaines interventions d'expertise ne rentrent pas dans une convention précise de service pour la prévision ou l'aide à la décision. Mais elles doivent être faites au titre du service public pour aider à gérer des situations critiques sur des secteurs à enjeux en amont desquels se sont accumulés de grandes quantités de neige.

A partir de sa connaissance du territoire et des informations récentes qu'il a collectées lui-même, mais aussi en valorisant toutes les autres informations disponibles, l'expert est en situation d'établir un avis.

L'expert doit assumer un rôle prioritaire : formuler son avis par un processus de communication claire, précise et synthétique, en sélectionnant les informations utiles aux décideurs.

Il doit préciser le niveau du risque, c'est-à-dire de la menace pour les enjeux en cause, habitats, routes ...

En général, ce sera une évaluation de la probabilité que tel ou tel enjeu soit atteint par une avalanche dans les heures (ou les jours) à venir. Une telle évaluation combine la probabilité de départ des avalanches et leurs probabilités de propagation jusqu'aux enjeux. L'expert doit donner une évaluation de la menace pour chaque couloir (ou pour chaque groupe de couloirs similaires). Il doit ainsi faciliter la prise de décisions opérationnelles qui sont de la responsabilité du décideur (maire, préfet...). Il est légitime que l'expert participe aux débats qui les précèdent mais sans se substituer au décideur (qui doit intégrer bien d'autres contraintes qui ne relèvent pas de l'expert en avalanche : contraintes des solutions de confinement ou d'évacuation des personnes menacées, solutions alternatives, contraintes économiques, organisation des secours ...).

Expertises « multi-couloirs » : si une expertise propre à chaque couloir est souvent indispensable, il sera souvent précieux au préalable de grouper les couloirs présentant des similitudes topographiques ou morphologiques :

- *type a* : par fonctionnement « similaire » (altitude, exposition, ...)
- *type b* : par la distance aux enjeux : atteinte facile des enjeux, atteinte par un phénomène majeur (mais déjà connu), atteinte par un phénomène dépassant les emprises connues (propagation plus en aval, emprise plus large, changement de trajectoire, ...).

Ces raisonnements sont complexes, mais, grossièrement, les regroupements de *type a* doivent surtout aider à apprécier les probabilités de déclenchement des avalanches et de *type b* doivent surtout aider à apprécier les probabilités de propagation jusqu'aux enjeux

LES ROLES DE L'EXPERT : POUVOIR EXPLIQUER SON RAISONNEMENT, INSTAURER DES DIALOGUES CONSTRUCTIFS, VEILLER A ETRE BIEN COMPRIS, PRENDRE DES INITIATIVES

Bien que l'urgence s'impose souvent dans ces situations, l'expert doit rester capable de présenter les informations principales qu'il a sélectionnées, d'expliquer son raisonnement et au besoin de dialoguer avec d'autres experts (et pour partager les conclusions qui seront communiquées au décideur). Ces avis sont régulièrement actualisés et si possible écrits. Il est recommandé qu'ils prennent la forme de bulletins qui récapitulent les principales informations, puis énonce l'avis d'expert – c'est-à-dire l'appréciation de la menace. Il peut aussi aller jusqu'à des propositions de décisions opérationnelles. Plus l'avis ou le bulletin est explicite, plus il facilitera les retours d'expérience, les progrès et l'amélioration.

Dans les situations d'urgence mal préparées, l'expert doit aussi prendre des initiatives. Il ne doit pas accepter de répondre à des questions mal posées ou accepter toutes les sollicitations d'acteurs de la crise trop pressés. Il doit aussi soulever les points importants qui ne sont pas encore traités (couloirs d'avalanche non examinés, hameaux ou routes non évoqués dans la cellule de crise, ...).

CONCLUSION

A travers ces deux approches, missions PLRA et interventions dans des crises peu préparées, on s'aperçoit qu'il y a des différences sensibles et des points similaires.

La prévision en appui à un gestionnaire génère des obligations de moyens et de résultats. Elle doit donc être très bien préparée, avec une étude détaillée de fonctionnement des couloirs avalancheux surveillés. Elle doit aussi mobiliser une équipe bien formée avec des acquis homogènes sur les sites avalancheux. Enfin la

traçabilité des expertises, sous forme de bulletins détaillés est essentielle pour faciliter les retours d'expérience et l'amélioration.

Sur des situations de crise moins préparées, hors mission de prévision, la tâche de l'expert sera souvent plus délicate. C'est pourquoi on ne peut que lui conseiller de prendre le temps de travailler de façon méthodique, d'établir des avis écrits en se rapprochant de la forme des bulletins PLRA, enfin de conserver une liberté d'initiative et de s'assurer qu'il est bien compris des décideurs locaux.

BIBLIOGRAPHIE

- Mission de retour d'expérience sur les avalanches de l'hiver 2008-2009 produit par le Conseil général de l'environnement et du développement durable à la demande du MEEDDM. n° 006966-01- Mars 2010. Yves Cassayre et Denis Laurens. 41 pages.
- Revue Neige et avalanches de l'ANENA de Juillet 2010, avec un dossier consacré au Bulletin du Risque d'Avalanche - BRA
- Gestion de crise : les interventions des experts en avalanches. Philippe Bouvet. 14 pages. Module 9 Université d'Été de septembre 2010

Seguretat en activitats de muntanya
Seguretat en activitats de montanha
Seguridad en actividades de montaña
Sécurité lors d'activités en montagne

L'ACNA: UNA INICIATIVA PER A LA DIVULGACIÓ DE LA NEU I LES ALLAUS

Helena Serred ⁽¹⁾; Glòria Martí ⁽¹⁾; Pere Oller ⁽¹⁾; Jordi Gavalda ⁽¹⁾ i Pere Martínez ⁽¹⁾

(1) *Associació per al Coneixement de la Neu i les Allaus. ACNA E-mail: acna@acna.cat*

RESUM

L'Associació per al Coneixement de la Neu i les Allaus ACNA, és una associació relativament jove, es va crear el 2006 i va néixer amb l'objectiu de donar a conèixer el fenomen de la neu i les allaus, especialment al territori Pirinenc. Tot i les diferències amb altres associacions ja existents a Europa, amb molta més solera com per exemple, l'ANENA a França o l'AINEVA a Itàlia, l'ACNA es fixa assolir uns objectius similars com són la divulgació de la neu i les allaus així com també la creació d'un espai de comunicació i suport entre professionals i no professionals de la neu. Des dels seus inicis s'han dut a terme diverses iniciatives que han anat des de la creació d'una pàgina web que serveix "d'altaveu" per a la difusió dels temes d'interès per a l'associació, passant per la formació, la publicació d'una revista anual, participació en jornades tècniques, realització de xerrades divulgatives i activitats lúdiques. A curt termini es proposa tirar endavant més iniciatives que permetin en definitiva ser un referent pel que fa a la difusió d'aquest fenomen.

PARAULES CLAU: *Associació divulgació, allaus, neu, Pirineu.*

INTRODUCCIÓ

L'ACNA, és una associació sense ànim de lucre que es va registrar com a tal el juny del 2006 al Registre d'Associacions del Departament de Justícia de la Generalitat de Catalunya. Els objectius principals són donar a conèixer i divulgar el coneixement de la neu i les allaus, recopilar informació relacionada amb aquesta temàtica, així com aglutinar el col·lectiu professional i no professional, involucrat o interessat en la neu i les allaus. S'estructura a partir d'una junta directiva i s'han creat diferents comissions que contemplen el àmbit en què treballa l'associació. Actualment l'associació està formada per més de 150 socis (Figura 1).

ELS ANTECEDENTS

La tardor del 2004 un grup de gent relacionada tant a nivell professional com afeccionat amb el món de la neu i les allaus, es van trobar a Sort, Pallars Sobirà. El motiu de la trobada era el de crear una associació que aglutinés la gent interessada en aquests temes, que els donés a conèixer, i que fes de centre neuràlgic de les activitats relacionades amb aquesta temàtica especialment als Països Catalans, però també a la resta de comunitats lingüístiques dels Pirineus i per extensió al conjunt de l'estat.

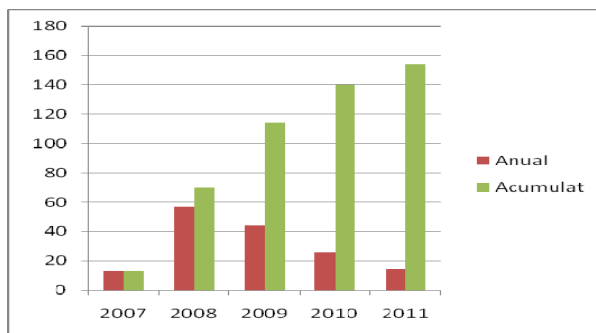


Figura 1 – Gràfica de l'evolució del nombre de socis des de la creació de l'ACNA.

Un cop redactats els estatuts, el 30 de juny del 2006 l'ACNA quedà inscrita amb el número 32653 de la Secció Primera del Registre d'Associacions. El mateix mes de juny de 2006, durant la celebració de les 2es Jornades Tècniques de Neu i Allaus, organitzades per l'Institut Cartogràfic de Catalunya, s'informà públicament de la creació de l'ACNA i es feu un breu resum de quins eren els objectius de la mateixa.

ELS OBJECTIUS DE L'ACNA

Els objectius de l'ACNA són:

- Divulgar els riscos associats a la neu i les allaus, així com la informació i el coneixement tècnic de la nivologia i les allaus
- Comunicar i relacionar els professionals i afeccionats que treballen en l'àmbit de la neu i les allaus
- Recopilar informació relacionada amb la neu i les allaus
- Recolzar els professionals que realitzen la seva activitat amb neu i allaus.
- Facilitar les trobades entre especialistes i usuaris, promoure l'intercanvi d'experiències i afavorir les relacions entre tècnics i usuaris.

- Afavorir relacions amb altres associacions estrangeres.
- Donar suport, encoratjar i ajudar la recerca duta a terme tant per persones físiques o jurídiques, públiques o privades. També afavorir la coordinació i proposar estudis a emprendre.

L'ACNA ACTUALMENT

A nivell organitzatiu, l'ACNA està formada per una junta directiva formada per un president, un vicepresident, un secretari i un tresorer. A més s'han format unes comissions com són: la comissió de seguretat en allaus, de divulgació, de publicacions, comissió professional i tècnica, d'accidents, comissió web i comissió de formació en neu i allaus.

D'altra banda, tal i com indiquen els seus estatuts, poden associar-se a l'ACNA totes aquelles persones o entitats interessades en els objectius abans esmentats. En aquest sentit, actualment hi ha 154 persones associades, xifra que s'ha assolit gràcies a un constant creixement des de la seva creació. (Figura 1.) Atenent al perfil de l'associat cal esmentar que el 17% són dones en front d'un 83% d'homes. La major part dels associats estan entre 29 i 47 anys, tot i que de forma més minoritària n'hi ha de més joves i de més grans. Pel que fa al lloc de procedència dels associats, el 88% són de Catalunya. La resta d'associats provenen d'Astúries, País Vasc, Madrid, Aragó, Cantàbria, País Valencià i Andorra. D'altra banda, a destacar la quasi paritat entre membres associats que són professionals de la neu i les allaus (44%) i els no professionals (56%).

Actualment l'òrgan d'expressió de l'ACNA és la seva pàgina web www.acna.cat. A través d'aquesta, s'informa als socis de les notícies i activitats que s'ofereixen, com cursos, xerrades, conferències i trobades. La pàgina és oberta a tot el públic en gran part, però també amb una secció destinada només al socis. Aquests són informats regularment a temps real de totes les actualitzacions a la web.

El finançament de l'associació es fa a través de les quotes de soci, tant individuals com empreses (socis protectors) i de subvencions públiques.

ACTIVITATS DE L'ACNA

L'ACNA ofereix la possibilitat de poder formar-se a partir de cursos, xerrades, conferències i trobades de temàtica diversa.

Actualment els cursos estan dirigits a temes de seguretat en activitats esportives de muntanya, donada la forta demanda en aquest tema, tot i que l'associació és oberta a altres formacions, si hi ha interès en realitzar-les. Actualment es realitzen els

següents cursos programats:

- Curs bàsic de seguretat en terreny d'allaus
- Curs avançat de neu, allaus i seguretat



Figura 2: Pràctiques sobre el terreny durant el curs avançat de neu, allaus i seguretat. Febrer de 2011
Autor: Jordi Armet

Aquests cursos inclouen aspectes de nivologia, apreciació del perill, progressió en terreny d'allaus, autorecat i primers auxilis a les víctimes d'allaus. Eventualment s'organitzen cursos per encàrrec i a mida. Durant la temporada 2009/10 un total de 89 alumnes van passar pels cursos programats per l'ACNA.

Durant tot l'any, però especialment aprofitant la trobada de l'Assemblea General, l'ACNA organitza xerrades i conferències de caire divers, impartides tant per gent del país com de l'estranger. La majoria d'aquestes activitats són gratuïtes per als socis de l'ACNA.

Altres activitats que realitza l'ACNA és la traducció de publicacions de l'estranger, així com la difusió de nous productes i publicacions que van sortint al mercat. En aquest sentit i per tal de conscienciar els usuaris de la muntanya hivernal sobre la necessitat de formar-se en seguretat, durant la temporada 2010/11 s'ha realitzat una campanya que s'ha anomenat "Alerta amb les allaus". Ha consistit en el passi d'una pel·lícula i una breu xerrada amb debat final.

EL FUTUR DE L'ACNA

El treball de l'associació apunta lluny i és realment ambiciós.

En primer lloc es fan esforços per a ampliar el número de socis i sobretot el seu origen pel tal de que tots els massissos muntanyosos estiguin perfectament representats.

Per altra banda, la formació és un dels puntals en la que es basen les activitats de l'ACNA. L'objectiu a curt termini és consolidar el pla de formació destinat a l'usuari de la muntanya i ampliar-lo al col·lectiu professional.

L'augment de la massa social permetrà en un futur proper professionalitzar algunes de les tasques administratives i de coordinació de les diferents activitats.

També es vol potenciar el lloc web com a eix fonamental de comunicació entre els socis i com aparador a la resta de la societat. Apartats recentment engegats com l'espai Soci o el Fòrum han de servir per a involucrar i interrelacionar cada cop més als associats.

En definitiva, seguir potenciant i difonent tot allò d'interès comú per a les persones associades, o sigui, en relació amb la neu i les allaus.

AGRAÏMENTS

Els autors volem agrair a tots aquells que d'una manera o altra han contribuït tant a la creació de l'associació com al seu creixement i manteniment. També a tots aquells que amb les seves idees i propostes ens insten a tirar endavant cada vegada amb més activitats. I finalment un agraïment especial a tots aquells de forma altruista dediquen temps i esforços per a que aquest projecte tiri endavant.

Pòsters
Panèus
Pósters
Posters

CARTOGRAFÍA DEL MANTO NIVOSO EN SIERRA NEVADA MEDIANTE TRATAMIENTO DE IMÁGENES LANDSAT 7

Benedita M. Santos ⁽¹⁾; Ferran Salvador Franch ⁽²⁾; Montserrat Salvà Catarineu ⁽³⁾ y Antonio Gómez Ortiz ⁽⁴⁾

- (1) *Universitat de Barcelona. Montalegre, 6, 08001 Barcelona. sundial17@hotmail.com
Cryospheric Sciences Branch, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD 20771, USA.*
(2) *Universitat de Barcelona. Montalegre, 6, 08001 Barcelona. fsalvador@ub.edu*
(3) *Universitat de Barcelona. Montalegre, 6, 08001 Barcelona. salva@ub.edu*
(4) *Universitat de Barcelona. Montalegre, 6, 08001 Barcelona. gomez@ub.edu*

La presencia, extensión y duración del manto nivoso determina de forma directa las características de muchos procesos geomorfológicos vinculados al hielo-deshielo, del régimen térmico del suelo, y de la presencia y permanencia del suelo helado (*permafrost*), a través fundamentalmente de su papel de aislante-regulador térmico y del suministro de agua de fusión.

Con el objetivo de conocer la presencia-permanencia del manto nivoso en Sierra Nevada, y debido a la falta de datos nivométricos suficientes de observación directa en campo, se está ensayando su obtención a través de teledetección.

Se presenta ahora la metodología usada y los primeros resultados obtenidos para el sector de cumbres de Sierra Nevada, por encima de la cota 2.000 m, durante el período agosto 2007-agosto 2008. Por su accesibilidad (descarga gratuita), resolución espacial (30 m) y temporal (16 días), se han usado las imágenes del satélite Landsat 7, suministradas por NASA, accesibles a través del *website* del Servicio Geológico norteamericano (*USGS*).

Tras efectuar las correcciones geométricas, atmosféricas y radiométricas necesarias (mediante IDRISI), se han ensayado varios índices para el cálculo de superficies cubiertas de nieve, resultando el más idóneo el NDSI (*Normalized Difference Snow Index*) que utiliza las bandas 2 y 5. Se han tratado un total de 14 imágenes disponibles (10 completas, 4 parciales) respecto a las 24-26 posibles para un período de 13 meses.

A pesar de las lagunas de información existentes, la secuencia de mapas de cobertura nivosa obtenida (mediante ARCGIS 9.2) resulta extraordinariamente útil para caracterizar la extensión y duración del manto nivoso. Así, para 2007-2008, ha sido posible establecer la fecha aproximada de inicio del período nivoso (mitad octubre), su marcada oscilación posterior (noviembre), extensión máxima (enero-febrero) y su reducción progresiva con prolongada permanencia en las cumbres hasta entrado verano (junio). La aplicación de este método a la totalidad de las imágenes Landsat 5 y 7 disponibles (desde 1985) habrá de permitirnos dar carácter climático a los resultados que se obtengan, de interés no solo medioambiental, también para el mejor uso y gestión del territorio de alta montaña.

RELACIÓ ENTRE LA NAO I LES GRANS ALLAUS AL PIRINEU DE CATALUNYA

Carles García ⁽¹⁾; Juan Carlos Peña ⁽²⁾ i Glòria Martí ⁽¹⁾

(1) Institut Geològic de Catalunya. cgarcia@igc.cat

(2) Servei Meteorològic de Catalunya. jpena@meteo.cat

(3) Institut Geològic de Catalunya. gmarti@igc.cat

La NAO (Oscil·lació de l'Atlàntic Nord) és un dels patrons de variabilitat de circulació atmosfèrica més important i recurrent en l'hemisferi nord i afecta el comportament de la precipitació i de les temperatures a l'Europa Occidental. Donat que les allaus estan altament condicionades per les precipitacions i les temperatures, hem correlacionat la NAO i el nombre d'episodis de grans allaus a Catalunya.

La relació entre la NAO i les grans allaus s'ha establert mitjançant l'aplicació de l'índex acumulatiu NAO proposat per Keylock al 2003. Aquesta relació s'ha demostrat que és consistent en zones com Islàndia mentre que en d'altres no és significativa, com és el cas dels Alps francesos. En aquest pòster presentem què és al que passa a les nostres muntanyes, força allunyades dels dos centres d'acció que defineixen la NAO (l'anticicló de les Açores i les depressions nord-atlàniques).

Els resultats mostren que la correlació entre la NAO i les grans allaus és significativa i de caràcter negatiu i, fins i tot, més elevada amb l'índex acumulatiu NAO. Aquest índex acumulatiu dóna informació de la persistència de la fase, ja sigui positiva o bé negativa, de la NAO. Respecte a la precipitació, aquest índex acumulatiu reflexa molt bé l'efecte d'acumulació de neu a les zones de sortida de les allaus, donat que la variabilitat de la precipitació ve condicionada per la fluctuació de la NAO.

El signe de la correlació és negatiu ja que l'increment de la precipitació a la major part del Pirineu de Catalunya va lligada a la fase negativa de l'índex NAO. No obstant, els resultats a escala regional (set regions definides per a la predicció d'allaus) suggereixen que l'activitat d'allaus respon de diferent manera respecte a la NAO, confirmant els Pirineus de Catalunya com una complexa zona de transició climàtica. Finalment es fa un petit apunt sobre la tendència futura de l'activitat de grans allaus tenint en compte l'evolució de la NAO segons els models climàtics d'escalfament global.

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS PROCEDENTES DE LA INNIVACIÓN (ERHIN) EN EL ÁMBITO DE LA CUENCA DEL EBRO.

César Ferrer ⁽¹⁾; M^a Luisa Moreno ⁽²⁾; Guillermo Cobos ⁽³⁾; Ramón Sánchez ⁽⁴⁾; Eduardo Lastrada ⁽⁵⁾ y Fernando Pastor ⁽⁶⁾

- (1) Confederación Hidrográfica del Ebro. Sagasta, 24. 50071 Zaragoza. cferrer@chebro.es
(2) Confederación Hidrográfica del Ebro. Sagasta, 24. 50071 Zaragoza. mlmoreno@chebro.es
(3) Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera. 46022 Valencia. gcobos@spesa.es
(4) Confederación Hidrográfica del Ebro. Sagasta, 24. 50071 Zaragoza. jrsanchez@chebro.es
(5) Servicios y Proyectos del Ebro. Paseo Rosales, 28. 50008 Zaragoza. elastrada@spesa.es
(6) Dirección General del Agua. Agustín de Betancourt, 25. 28071 Madrid. fpastor@mma.es

La Confederación Hidrográfica del Ebro empezó a cuantificar los recursos hídricos procedentes de la nieve a mediados de los años 80, dentro de un programa de ámbito nacional denominado ERHIN (Estudio de Recursos Hídricos procedentes de la INNivación).

Desde aquella época, en la que se implantó la primera red de pértigas, se ha ido ampliando la red de medición especialmente con la instalación de telenivómetros y se han ido desarrollando y aplicando metodologías (interpretación de imágenes satélite, análisis geoestadístico de las variables,...) que han permitido una notable mejora en el conocimiento de los recursos hídricos en las subcuencas de la cuenca del Ebro afectadas por el fenómeno nivoso.

En la actualidad, gracias al modelo Aster, podemos estimar diariamente no sólo el volumen de agua acumulada en forma de nieve en cada una de estas subcuencas (en función de las variables temperatura y precipitación), sino también, teniendo en cuenta las previsiones meteorológicas, cuándo y cómo se va a incorporar esta agua en la red fluvial.

De este modo, además de optimizar la gestión ordinaria, la modelización de las cuencas hidrológicas con aportaciones significativas en forma de nieve permite prever situaciones de riesgo por inundación calculando caudales fluyentes por los cauces y evolución del manto nivoso a partir de las previsiones meteorológicas. Este hecho, hace posible adoptar con suficiente antelación las medidas más adecuadas para minimizar los posibles impactos negativos sobre bienes y personas, mediante la alerta temprana y la adecuada gestión de los sistemas de explotación (básicamente laminación de embalses).

Actualmente la red de sensores distribuidos a lo largo de las subcuencas nivales está compuesta por:

- 113 pértigas, en las que se suelen realizar tres campañas de medición al año. En cada campaña se obtienen los espesores y densidades con las que se calcula el volumen de agua acumulado en el momento de la medición mediante la aplicación de un modelo geoestadístico sobre soporte GIS. Estas mediciones, además de ofrecer un dato puntual de las reservas de agua en forma de nieve, sirven para calibrar el modelo Aster.
- 12 telenivómetros, que cumplen la misma función que las pértigas pero que transmiten la Información en tiempo real al Centro de Control.
- 85 pluviómetros y 100 termómetros de los que se reciben datos en tiempo real y con los que se alimenta el modelo hidrometeorológico Aster.
- 16 estaciones de aforo en los puntos de cierre de las subcuencas, en las que se comprueba si la escorrentía calculada por el modelo Aster corresponde con los caudales reales circulantes y permiten su calibración. También se dispone de estaciones de aforo dentro de las cuencas.

La toma de datos se completa con la medición de la cobertura de nieve mediante las imágenes del visor MODIS con una resolución de 0,25 km².

LES CONGESTES D'ANDORRA (ANYS 1948, 1972, 1995 I 2003): PRIMERA CARTOGRAFIA I ANÀLISI

Marta Domènech ⁽¹⁾; Pere Esteban ⁽¹⁾ i Roger Caritg ⁽¹⁾

(1) CENMA-IEA, Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra, Sant Julià de Lòria, AND. E-mail: mdomenech.cenma@iea.ad

Es presenta la primera cartografia de congestes del Pirineu (Andorra) i la seva anàlisi.

La disminució de la durada i l'extensió del mantell nival poden esdevenir una realitat en els propers anys. Actualment les congestes estan sotmeses a l'amenaça de l'escalfament global. Segons les projeccions de l'Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), s'espera que la mitjana de la temperatura mitjana del planeta augmenti entre 1,4°C i 5,8°C durant el període 1990 a 2100. L'escenari de l'escalfament propicia la fosa de la neu a dates més primerenques i exposa a alguns hàbitats de congesta a la seva reducció o desaparició.

En el present estudi s'ha dut a terme una cartografia de congestes d'Andorra dels estius dels anys 1948, 1972, 1995 i 2003 i la seva comparativa a partir de fotografies aèries. A més s'ha dut a terme l'anàlisi de les principals variables que poden influenciar el nombre i extensió de congestes dels diferents anys estudiats a Andorra com són: l'altitud, l'exposició, el grau d'innivació i les anomalies tèrmiques i de precipitació. Per elaborar la cartografia i per fer el posterior anàlisi SIG s'ha utilitzat el programa de software Arcgis 9.2 i s'ha treballat sempre a escala 1:5.000.

La superfície total de congestes d'Andorra ha resultat ser de 118 ha representant un total de 2.702 congestes. Les allaus són el principal factor responsable per l'acumulació i la conservació de les congestes andorranes.

DINÀMICA DEL MANTELL NIVAL ALS PIRINEUS A LA DÈCADA DELS 2000: UNA APROXIMACIÓ AMB IMATGES DEL SATÈL·LIT SPOT-VGT

Nicolau Pineda Ruegg ⁽¹⁾

(1) Servei Meteorològic de Catalunya npineda@meteo.cat

El coneixement de la neu que s'acumula a les nostres muntanyes, així com les variacions que pateix aquesta important reserva d'aigua dolça és fonamental en la gestió dels recursos hídrics del nostre país. Les condicions meteorològiques de les nostres latituds, així com les característiques geogràfiques dels Pirineus fan que la innivació s'hi presenti amb una gran variabilitat espacial i temporal. Els satèl·lits d'observació de la terra són un dels instruments que cal tenir present a l'hora d'estudiar la dinàmica del mantell nival dels Pirineus.

En aquest estudi es presenten els resultats fruit d'analitzar 10 anys d'imatges del satèl·lit SPOT-VGT. Aquest radiòmetre de resolució mitjana (1 km al nadir) proporciona imatges amb una freqüència diària, fet que permet obtenir de manera regular imatges lliures de núvols. A partir de l'índex de cobertura nival NDSII, calculat amb imatges S_{10} del SPOT-VGT, s'ha estimat la superfície coberta per neu als Pirineus catalans, cada deu dies, pels últims 10 anys. Amb aquestes dades, s'ha analitzat la dinàmica del mantell nival als Pirineus, per cotes superiors a 1500 metres.

TENDÈNCIES RECENTS DEL CLIMA D'ANDORRA I CÀLCUL D'ÍNDEXS DIARIS

Pere Esteban Veà ⁽¹⁾; Marc Prohom Duran ⁽²⁾ i Enric Aguilar ⁽³⁾

(1) *Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA-IEA). Av. Rocafort 21-23, Edifici Molí 3r pis, AD600 Sant Julià de Lòria (Andorra). pesteban.cenma@iea.ad*

(2) *Àrea de Climatologia – Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). C. Berlín, 38-46 4a planta, 08029 Barcelona. mprohom@meteo.cat*

(3) *Centre en Canvi Climàtic (C3) – Departament de Geografia, Universitat Rovira i Virgili de Tarragona. Av. Catalunya, 35, 43002, Tarragona. enric.aguilar@urv.cat*

En aquest treball es resumeixen els resultats obtinguts del càlcul de les tendències anuals i estacionals de la temperatura màxima, la temperatura mínima i la precipitació a Andorra del 1934 al 2008 a partir de les observacions de tres estacions meteorològiques del Principat gestionades per Forces Elèctriques d'Andorra, FEDA. Abans de calcular les tendències per a les diferents variables, s'han aplicat filtres de qualitat i d'homogeneïtat de les dades per resoldre possibles errors associats a la digitalització o al mostreig (canvis d'emplaçament, canvis de sensors, etc.), que en alguns casos han requerit la consulta de les dades originals dels arxius de FEDA. Els resultats obtinguts representen una primera descripció sòlida de la dinàmica del clima a Andorra durant les darreres vuit dècades i permeten conèixer la variabilitat i el canvi climàtic experimentats al país, tot confirmant les tendències detectades regionalment per altres organismes, tant francesos com espanyols. Així, i utilitzant dos mètodes independents (Caussinus-Mestre i SNHT), es confirma (s'obté significació estadística) l'increment de la temperatura de l'aire per a la temperatura màxima mitjana anual (0,10-0,12°C/dècada) i per la màxima estival (0,17-0,25°C/dècada). Pel que fa la precipitació, no s'obtenen tendències estadísticament significatives, tot i que apunten cap a la disminució.

A més a més, i emprant la informació revisada amb el control de qualitat a resolució diària, s'han calculat diferents índexs que permeten afinar en el coneixement de l'impacte del canvi climàtic en aquest sector pirinenc. Els resultats d'aquest treball permeten posar el Principat d'Andorra en context a nivell global en relació a aquesta problemàtica mediambiental.

DENDROGEOMORFOLOGIA APLICADA A ZONES D'ALLAUS A VAL D'ARAN

Elena Muntán Bordas ⁽¹⁾; Pere Oller Figueras ⁽²⁾; Jordi Gavaldà Bordes ⁽³⁾; Gemma Arjó Rella ⁽³⁾;
Ivan Moner Seira ⁽³⁾ i Olga Costa Foguet ⁽²⁾

(1) emuntanbordas@hotmail.com

(2) Institut Geològic de Catalunya.

(3) Conselh Generau d'Aran.

Amb la finalitat d'obtenir dades relatives a freqüència i dimensions d'allaus de neu, es poden analitzar els anells de creixement dels arbres de les zones d'allaus mitjançant dendrogeomorfologia i examinar les característiques de la vegetació. Al Pirineu, a demanda de l'Institut Geològic de Catalunya, s'han realitzat els primers treballs d'aplicació de la tècnica dendrogeomorfològica a diferents zones d'allaus que afecten poblacions i vies de comunicació a Val d'Aran. En el present treball s'exposen els resultats de l'estudi a dues zones d'allaus del Baish Aran (GAR050, o barranc de Còth de Castèth a Bossòst i GAR175, o arriu de Soberpèra a Les) i una al Mijaran (GAR079, que inclou els diferents torrents que conflueixen al barranc de Casau). Els resultats han confirmat dates d'allaus que ja eren conegudes a través d'enquesta (com, per exemple, l'allau excepcional que va arribar al cap de la vila de Bossòst l'hivern de 1980-1981) i d'altres desconegudes fins ara a les tres zones. En relació a la cartografia, malgrat la dificultat general de trobar evidències d'allaus antigues als trams inferiors i zones d'arribada a causa de l'elevada antropització, s'han trobat indicis que permetran esmenar i en algun cas, ampliar les cartografies dels trams superiors i intermitjos de les zones d'allaus que van ser realitzades amb les tècniques convencionals, també a les tres zones. I finalment, en el cas de la zona d'allaus analitzada a Les, a partir de les datacions, ha estat possible estimar la periodicitat del fenomen a diferents altituds en una mateixa zona d'allaus.

ELS BOSCOS PROTECTORS D'ANDORRA: APLICACIÓ DE LA PRIMERA TIPOLOGIA FORESTAL

Marta Domènech ⁽¹⁾ i R. Caritg ⁽¹⁾

*(1) CENMA-IEA, Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra, Sant Julià de Lòria, ANDORRA.
mdomenech.cenma@iea.ad*

Els boscos de protecció exerceixen un paper protector molt important per evitar el desencadenament de les allaus. La funció protectora està condicionada per l'estructura funcional del rodal forestal, el qual es va modificant amb el pas del temps.

Es presenten els resultats de l'aplicació de la primera tipologia de boscos protectors desenvolupada al Pirineu (Andorra) en tres parròquies Andorranes (La Massana, Ordino i Encamp) superfície que ocupa 2.950 ha en boscos de coníferes subalpines. Per a desenvolupar la tipologia es van dur a terme inventaris forestals amb la recollida de variables dasocràtiques i dendromètriques que posteriorment es van interpretar amb anàlisis multivariant per veure quines variables condicionen més les funcions protectores. La tipologia trobada va concloure que l'àrea basimètrica, la densitat de peus i la forma de la massa (regular, irregular) eren les variables més determinants per definir les estructures de protecció enfront les allaus. L'aplicació d'aquesta tipologia a les parròquies andorranes ens mostra que la majoria de rodals presenten tipologies amb un bon nivell de fixació del mantell nival, essent la tipologia H la més estesa.

ESTIMACIÓ DEL RISC D'ALLAUS A CATALUNYA

Olga Costa Foguet ⁽¹⁾; Pere Oller Figueras ⁽¹⁾ Xavier Saenz de Buruaga ⁽²⁾; Manel Pardo Sabartés ⁽²⁾
i Pere Martínez Figueras ⁽¹⁾

(1) Institut Geològic de Catalunya. ocosta@igc.cat

(2) Direcció General de Protecció Civil. Generalitat de Catalunya.

El coneixement del risc permet disposar d'una visió de conjunt del territori i gestionar-lo on sigui necessari, iniciant accions preventives per a reduir-lo o per actuar-hi en cas d'emergència. En el marc del pla de protecció civil Allaucat, s'ha realitzat una primera aproximació a la determinació del risc d'allaus a escala regional. Aquest risc s'obté a partir de l'avaluació de la perillositat de les allaus i de la vulnerabilitat en zones habitades i vies de comunicació. En ambdós àmbits, el risc ha estat quantificat en funció de la pèrdua potencial de vides humanes. El resultat mostra com el major nombre de poblacions i de vies de comunicació amb risc elevat es localitzen a la zona occidental del Pirineu de Catalunya. És en aquesta zona on hi ha més territori susceptible de ser afectat per les allaus, especialment a la Vall d'Aran on, a més, la freqüència d'episodis allavosos és major. A la resta del Pirineu les zones amb risc es troben de forma més puntual. En la majoria dels casos, les zones on s'ha identificat major risc, coincideixen amb les zones de major desenvolupament turístic hivernal i, per tant, amb major concentració humana durant aquesta època.

CLASSIFICACIÓ DELS HIVERNS DEL SEGLE XX I PRINCIPI DEL XXI AL PIRINEU DE CATALUNYA SEGONS INTENSITAT I EXTENSIÓ TERRITORIAL DE LES ALLAUS MAJORS REGISTRADES

Pere Oller⁽¹⁾, Carles García⁽¹⁾, Olga Costa⁽¹⁾, Elena Muntán⁽²⁾

(1) Institut Geològic de Catalunya (IGC), Balmes 209, E-08006-Barcelona. pereoo@igc.cat

(2) Universitat de Barcelona (UB) – Dep. Ecologia, Diagonal 645, E-08028-Barcelona.

Es presenta una proposta de classificació de la magnitud de les temporades d'allaus majors identificats al Pirineu de Catalunya, a partir de la seva intensitat i de l'extensió territorial afectada. L'heterogeneïtat de la informació cartogràfica registrada a la BDAC, obtinguda a partir de diferents fonts d'informació (documentació històrica, enquesta a la població local, anàlisi d'indicis sobre el terreny, observació directa del fenomen, fotografia aèria i dendrocronologia) i amb diferents nivells de precisió, limiten les possibilitats a l'hora de tractar totes les dades en conjunt. L'abast de les allaus és l'únic paràmetre comú a tots els registres. A partir de la situació relativa del punt d'abast de les diferents allaus majors registrades en cadascuna de les zones d'allaus analitzades, s'han estimat els períodes de retorn a què corresponien. Donat que l'abast és proporcional a la intensitat de l'allau, aquests valors de període de retorn han estat assumits com a classes d'intensitat. Combinant la intensitat amb l'extensió de la zona afectada, s'ha determinat la magnitud de la temporada hivernal allavosa. El resultat mostra com es detecta una major freqüència de temporades d'allaus majors la darrerria del segle XX i inici del XXI, a causa del seguiment intensiu de l'activitat d'allaus a partir de 1995. Abans d'aquesta data el registre és incomplet. Malgrat això, es detecten 39 temporades amb events majors, 16 d'alta intensitat, que combinats amb l'extensió territorial destaca, com a més important, l'hivern 1995/96. Altres hiverns majors han estat el 1971/72, 2002/03, 2005/06, 2008/09 i 2009/10. Anterior a aquests registres, hiverns com el de 1914/15, 1937/38 o 1962/63, mostren indicis d'haver presentat una activitat significativa.

ALUDES EN ZONAS PERIFÉRICAS DEL PIRINEO ALTOARAGONÉS: LA SIERRA DE GUARA

Rocío Hurtado Roa ⁽¹⁾; Santiago Fábregas Reigosa ⁽¹⁾ y Jose Antonio Cuchi Oterino⁽²⁾

(1) Pirinea Consultores Técnicos. rhurtado@pirinea.com

(2) Universidad de Zaragoza.

Dada su naturaleza montañosa, los aludes de nieve forman parte de los riesgos naturales del Pirineo de la provincia de Huesca. Sin embargo, no hay información sobre este peligro en el Prepirineo oscense. El núcleo central de la sierra de Guara, la mayor altura de esta cordillera, presenta una escarpada cara norte. A su pie se encuentra un enorme talud de crioclastos, colonizado por un pinar en su parte inferior. El bosque muestra varias grandes cicatrices características. Otros criterios de campo e información visual y local revelan la existencia de avalanchas de nieve en Guara. Basándose en ortofotos y mapas DGN, el presente trabajo realiza un estudio preliminar sobre las zonas de salida de aludes y sus principales características topográficas. Las avalanchas parecen, principalmente, ser de tipo nieve húmeda.

NIVOMETRIA DEL PIRINEU ORIENTAL A PARTIR DELS PERFILS D'INNIVACIÓ DE LA MOLINA I NÚRIA, 1956/57 – 1999/00

Ferran Salvador Franch ⁽¹⁾; Francesc Vilar Bonet ⁽²⁾ i Josep Miquel Raso Nadal ⁽³⁾

(1) *Universitat de Barcelona. fsalvador@ub.edu*

(2) *photo.dng@gmail.com*

(3) *Universitat de Barcelona. raso@ub.edu*

Amb l'objectiu de contribuir a la caracterització de la nivometria del Pirineu oriental durant la segona meitat del segle XX, es presenta una síntesi de l'estat actual del recull d'informació realitzat, a través dels perfils d'innivació dels darrers 44 períodes hivernals (novembre-maig). Per a la confecció dels perfils d'innivació, per tal d'assolir el període indicat i cobrir les llacunes existents, s'han utilitzat i analitzat conjuntament les dades diàries d'innivació de tres sèries nivoclimàtiques de referència: La Molina-Font Canaleta, 1.711 m, entre 1956-57 i 1995-96; La Molina-Costa Rasa, 2.050 m, entre 1981-82 i 1988-89; i Núria, 1.970 m, entre 1985-86 i 1990-00, gaudiment revisades i validades.

Associat a cadascun dels perfils d'innivació obtinguts es presenten els valors estadístics més significatius del període, relacionats amb: temperatura mitjana, dies d'innivació, període d'innivació contínua, quantitat de neu caiguda, quantitat màxima caiguda en 24 hores, gruixos màxims i mitjans.

L'anàlisi, detallada o simplement visual, de la sèrie de perfils presentats permet constatar la forta irregularitat del comportament del mantell nival al Pirineu oriental quant a la seva durada, fragmentació, gruix, calendari d'inici i final i, sobretot, variabilitat interanual. A grans trets, s'observa la concentració dels valors màxims tant de nivositat com d'innivació a la primera meitat dels anys 70, mentre els mínims corresponen a finals dels 80. Agafant com a referència la cota 1.700 de La Molina, la nivositat anual mitjana és de 250 cm (amb valors extrems entre 557 i 56 cm), amb una durada mitjana al terra de poc més de 100 dies (valors extrems entre 170 i només 23 dies). La intensitat màxima anual en 24 hores ha oscil·lat entre 70 i 10 cm. Els gruixos màxims anuals registrats han oscil·lat entre 150 i 20 cm.

Finalment, a manera de conclusions preliminars, es presenten i comenten algunes taules i gràfics que mostren l'evolució, tendència i marcada irregularitat dels indicadors nivomètrics utilitzats per a la caracterització del període indicat.

SIMULACIÓ DEL FLUX DE VENT EN SUPERFÍCIE EN TERRENY COMPLEX I CORRELACIÓ AMB EL TRANSPORT DE LA NEU PEL VENT

Jordi Armet Unzeta ⁽¹⁾

(1) Associació pel Coneixement de la Neu i les Allaus (ACNA). armetun@hotmail.com

En una escala espacial de 1-100m, l'acceleració, desacceleració i turbulència del vent és causada principalment per la topografia i el tipus de sòl, i en canvi, deixen de participar efectes sinòptics com la força de Coriolis, el gradient de temperatura i/o l'estabilitat atmosfèrica.

La modelització del vent a aquesta escala es fa mitjançant un model CFD (Computational fluids dynamics) que resol les equacions de Reynolds i Navier-Stokes sobre la conservació de la massa i del moment per una topografia determinada, tot simulant un flux laminar a la capa límit atmosfèrica. D'aquesta manera s'obtenen les variables físiques de velocitat, acceleració i turbulència del vent i la pressió atmosfèrica als vèrtex d'una quadrícula, en aquest cas de pocs metres de costat, per poder tenir en compte les irregularitats del terreny a escala local i per tant els efectes d'acceleració i desacceleració del vent

L'eina que es presenta en aquest estudi pot resultar molt útil de cara a fer la previsió local del risc d'allaus ja que el coneixement de les dades a nivell sinòptic permetran la seva modelització en superfície en un terreny complex i permetran predir i definir aquelles àrees més susceptibles d'acumular la neu en funció de la direcció i intensitat del vent.

En aquest projecte, s'ha simulat un flux de vent pels 360° a la superfície d'un terreny complex d'alta muntanya utilitzant un model comercial CFD i un model d'elevació del terreny. S'ha elaborat el model d'elevació del terreny mitjançant la cartografia gratuïta més precisa disponible (ICC 1:5.000) ajustant la precisió a les zones més complexes i de més interès per tal d'optimitzar els recursos computacionals. A continuació, s'han definit tots els paràmetres meteorològics i les condicions de contorn de l'àrea a modelitzar. Finalment s'ha executat el model.

El resultat ha estat la simulació del flux de vent d'una àrea de 1km x 1km amb un pas de malla de 9m al centre i de 20 m als costats i de fins a 6 m d'altura als primers nivells.

Per tal de validar el model al camp, s'han mostrejat 10 punts inclosos en el model, els quals tenen diferent turbulència per una mateixa direcció del vent i s'han fet observacions sobre el terreny després d'un episodi de transport de neu en la mateixa direcció. A continuació s'han mesurat els gruixos de la neu acumulada en els diferents punts i s'han correlacionat amb la turbulència de cada punt.

Una altra aplicació força útil de l'eina consisteix en l'extracció d'una sèrie temporal de vent en un punt concret sense instrumentació mitjançant l'extrapolació d'una sèrie coneguda d'una torre meteorològica existent i reduint d'aquesta manera despeses tant materials com de personal i agilitzant la presa de dades en llocs remots i de difícil accés.

MODELITZACIÓ I ANÀLISI D'EPISODIS DE NORD AL PIRINEU: EL CAS D'ANDORRA

Laura Trapero Bagué⁽¹⁾ i Pere Esteban Veà⁽²⁾

(1) Centre d'Estudis de la Neu i la Muntanya d'Andorra (CENMA-IEA). ltrapero.cenma@iea.ad

(2) Centre d'Estudis de la Neu i la Muntanya d'Andorra (CENMA-IEA). pesteban.cenma@iea.ad

Sovint els episodis de nord que afecten els Pirineus durant l'hivern s'associen a forts vents i nevades al vessant septentrional d'aquesta serralada. En canvi, predir els seus efectes, i en especial al vessant sud, presenta una major complexitat. Andorra és una zona molt sensible a aquest tipus d'episodis, ja que a causa de la seva situació geogràfica es veu fàcilment afectada per l'extensió d'aquest fenomen al vessant sud i als diversos fenòmens nivometeorològics que es poden desencadenar.

En aquest treball s'han escollit diferents episodis de nord que han afectat el Principat, s'han modelitzat utilitzant el model WRF (Weather and Research Forecast Model), definint un domini sobre els Pirineus, centrat a Andorra, amb una resolució de 3 km. L'objectiu és analitzar amb detall la interacció del flux de nord amb la serralada, els efectes associats i detectar característiques que permetin diferenciar-los. Per exemple, en l'episodi que va tenir lloc el 10-11 de febrer del 2009, en què la nevada intensa va creuar al vessant sud afectant el Prepirineu i poblacions a cotes baixes, s'ha detectat un acoblament del vent de nord a tots els nivells, amb un màxim a nivells baixos i la presència del jet en alçada. En estudis preliminars d'episodis semblants aquest factor ja es presenta com una de les causes d'intensificació de les nevades al vessant meridional. El repte rau doncs en la dificultat que tenen els models en predir els efectes d'aquest tipus d'episodis i és quan l'experiència dels predictors es converteix en un factor decisiu.

LA XARXA D'ESTACIONS METEOROLÒGIQUES AUTOMÀTIQUES (XEMA). PROBLEMÀTIQUES I TECNOLOGIES EMPRADES EN ALTA MUNTANYA

Roger Vendrell ⁽¹⁾ i Marc Prohom⁽¹⁾

(1) Àrea de Climatologia – Servei Meteorològic de Catalunya

En aquest pòster es presenta la XEMA (Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques) que gestiona el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), posant especial atenció en les problemàtiques i tecnologies associades a les estacions que donen servei al món de la neu i les allaus. A febrer de 2011, la XEMA consta de 165 estacions automàtiques, de les quals 11 es consideren d'Alta Muntanya, amb instrumentació específica per a la mesura de la temperatura de la neu, la precipitació sòlida o el gruix de neu. A més a més, la xarxa disposa de 28 pluviòmetres de balancí amb calefacció repartits pel territori, i de 7 estacions més (18 en total) que mesuren el gruix de neu. L'evolució constant de la tecnologia emprada i l'ambient hostil en el qual s'han de realitzar algunes de les observacions exigeixen una acurada tria d'equips, sensors i instal·lacions, així com un manteniment i calibratge periòdics. Les problemàtiques lligades a les EMA d'Alta Muntanya també comporten un seguiment continu del pluviòmetre totalitzador per assegurar-ne el seu buidatge abans que aquest arribi a vessar (exigint un temps de resposta molt petit), o importants dificultats en la validació de variables com el gruix de neu o la mateixa precipitació, per l'acció del vent i el transport de neu.

EL PROJECTE SMIGOL-WHITE. MONITORITZACIÓ DE PARÀMETRES DE LA NEU AMB UN INSTRUMENT GNSS-R

Albert Agasca Solé ⁽¹⁾

(1) Universitat Politècnica de Catalunya. aguasca@tsc.upc.edu

És de tots sabut que la caracterització de l'estat de la neu (entre d'altres el gruix, la seva densitat i humitat, etc) és un procés fonamental a fi de poder predir el risc d'allau. Existeixen diferents tècniques per l'obtenció dels anomenats paràmetres, algunes d'elles permeten l'estalvi d'haver d'accedir insitu als possibles punts de mesura, usualment amb la col·locació d'instruments ultrasònics controlats remotament. La tècnica que es presentarà descriu l'ús dels senyals GPS com a base d'un nou tipus d'instrument, també operable remotament. A grans trets, el principi de funcionament rau en la capacitat que té la neu de reflectir els senyals GPS emesos des dels satèl·lits, i aprofitar el fet que el sensor mesura la interferència del senyal rebut pel camí directe amb el reflectit sobre la neu, i és d'aquí d'on es podran extreure els anomenats paràmetres. L'avantatge que ofereix aquest sensor és que, a més de permetre fer la mesura amb una tècnica complementària a les actuals, pot arribar a obtenir un mapa de la superfície que envolta el sensor (de l'ordre de desenes de m²), i per tant minimitza l'efecte de possibles anomalies en la generació de la superfície de la neu. En la presentació es farà la descripció del funcionament bàsic de l'aparell. A més, s'incorporarà una comparativa entre resultats preliminars obtinguts i els recollits pel sensor ultrasònic també instal·lat en l'emplaçament de Comalada (Val d'Aran).

SITUACIONS SINÒPTIQUES QUE GENEREN GRANS ALLAUS A CATALUNYA

Carles García ⁽¹⁾, Juan Carlos Peña ⁽²⁾, Glòria Martí ⁽¹⁾.

(1) Institut Geològic de Catalunya. cgarcia@igc.cat

(2) Servei Meteorològic de Catalunya. jpena@meteo.cat

(3) Institut Geològic de Catalunya. gmarti@igc.cat

En aquest pòster hem calculat amb quina freqüència es produeixen grans allaus al Pirineu de Catalunya. Donat que s'aprecien diferències en la distribució espacial dels valors de freqüència entre les set regions en què s'ha dividit el Pirineu de Catalunya a efectes d'avaluar el perill d'allaus, això ens porta a buscar variacions espacials en la relació entre els episodis de grans allaus i els patrons de circulació atmosfèrica a escala sinòptica.

Mitjançant un anàlisi de components principals s'han obtingut 6 patrons de situacions sinòptiques que expliquen la major part dels episodis de grans allaus enregistrats a Catalunya entre el 1970 i el 2007. Després s'han comparat aquestes 6 situacions sinòptiques que generen activitat d'allaus grans amb la circulació atmosfèrica mitjana a Europa occidental per tal de veure la anormalitat o no d'aquestes situacions.

Aquest catàleg de situacions atmosfèriques, com a interrelació de diferents paràmetres meteorològics (precipitació, temperatura i vent), ens permet millorar la predicció d'allaus, d'una banda des d'un punt de vista temporal al disminuir falses alarmes basades en gruixos crítics de neu recent, i d'altra banda des d'un punt de vista espacial, ja que cada situació sinòptica té un determinat abast territorial en l'activació de grans allaus.

CROSTES, POLS RECICLADA I TESTS D'INESTABILITAT

Ivan Moner ⁽¹⁾; Jordi Gavalda ⁽²⁾; Montserrat Bacardit ⁽³⁾ i Eduardo González ⁽⁴⁾

(1) Centre de Prediccion de Lauegi. Conselh Generau d'Aran. i.moner@aran.org

(2) Centre de Prediccion de Lauegi. Conselh Generau d'Aran. j.gavalda@aran.org

(3) Centre de Prediccion de Lauegi. Conselh Generau d'Aran. m.bacardit@aran.org

(4) Centre de Prediccion de Lauegi. Conselh Generau d'Aran.

En el nostre clima, les crostes de regel i de pluja són un element molt freqüent en el mantell nival, no només en les orientacions solanes si no també a les nord i sovint a totes les cotes. Tot i que es pensa que afavoreixen l'estabilitat, l'efecte d'aquestes crostes no es coneix en profunditat. A més, la majoria dels tests d'estabilitat no donen bons resultats quan es realitzen en neus amb presència de crostes: d'una banda els tests de bloc no valoren l'efecte pont de les crostes, i d'una altra alguns tests sobrevaloren l'efecte que tenen els nivells durs en l'afavoriment de la propagació.

Durant la primera part de l'hivern 2010/2011 a l'Aran s'han donat unes condicions de crostes intercalades entre nivells febles persistents de molt baixa cohesió ("pols reciclada") que han permès realitzar diferents campanyes de tests d'inestabilitat en vessants esquiat sense desencadenament i comparar els resultats oferts per diferents tests (Compresió, Columna Estesa, Propagació del Xurrac, Rutschblock). Al mateix temps es revisen els resultats dels tests realitzats vora allaus que involucren crostes de les darreres temporades.

Tot i que el de les crostes és un tema molt ampli i complex que requereix de molta més investigació, aquest treball desemmascara alguns tests que donen sistemàticament resultats de falsa alarma i posa de relleu quins són els que millor lidien amb situacions de crostes enterrades.

TÈCNIQUES DE MESURA DE LA DURESA DE LA NEU

Jordi Gavaldà ⁽¹⁾; Ivan Moner ⁽²⁾ i Montserrat Bacardit ⁽³⁾

(1) Centre de Prediccion de Lauegi. Conselh Generau d'Aran. j.gavalda@aran.org

(2) Centre de Prediccion de Lauegi. Conselh Generau d'Aran. i.moner@aran.org

(3) Centre de Prediccion de Lauegi. Conselh Generau d'Aran. m.bacardit@aran.org

Hi ha diverses formes de calcular la duresa de la neu a partir de la resistència a la penetració. La més estesa i senzilla de prendre és la duresa de mà (Puny, 4 dits, 1 dit, Llapis i Ganivet). Un altre sistema és realitzant un sondeig de percussió amb la sonda Haëfeli. Sovint, però no sempre, les dues mesures són comparables i correlacionables.

Cada sistema té els seus punts forts i febles. La duresa de mà permet obtenir de forma individual un valor per a cada una de les capes observades. Per contra, és un paràmetre molt subjectiu. Amb el sondeig de percussió es fa una mesura objectiva i comparable arreu, però en mantells amb estructures complexes (capes molt contrastades i de gruixos petits) la mesura pot tendir a falsejar i homogeneïtzar els valors de les capes.

En aquest treball s'ha utilitzat un duròmetre digital on s'hi ha adaptat una espàtula d'acer. La seva inserció en el mantell provoca el trencament de les unions entre els grans de gel i per tant s'obté una mesura directa del procés que es dona en el moment que es desencadena una allau.

S'han realitzat diferents campanyes de camp durant la temporada 2010-2011 amb l'objectiu de mesurar la major quantitat de tipologies de grans i poder correlacionar els valor calculats amb els obtinguts amb els mètodes de la duresa de mà i el sondeig de percussió. Finalment es valora la possibilitat d'incorporar en un futur proper aquesta metodologia en la presa de dades.

VARIABILITAT ESPACIAL DE L'ESTABILITAT VS VARIACIÓ DE L'ANGLE DEL PENDENT, MITJANÇANT TESTS D'ESTABILITAT

Mariona Gòdia ⁽¹⁾; Jordi Gavalà ⁽²⁾; Ivan Moner ⁽²⁾; Joan Manuel Vilaplana ⁽¹⁾

(1) Grup Risknat. Universitat de Barcelona.

(2) Centre de Prediccion de Lauegi. Conselh Generau d'Aran.

El Test de la Columna Estesa (ECT) és un test amb una àmplia acceptació pels predictors d'allaus d'arreu del món. Proposat l'any 2006 per K. Birkeland i R. Simenhois, ha aportat un indicador que dona una informació objectiva, tant mecànica com estructural del mantell que tenim, i és ràpid i fàcil de realitzar. Però, com escollim el millor lloc per realitzar el nostre test?

Fins a dia d'avui, s'ha assumit que les capes febles del mantell nival col.lapsen més fàcilment en terrenys de fort pendent (35-40°), que pas en pendents suaus. Amb aquesta premisa, s'ha cregut que la informació aportada per un ECT realitzat en un terreny amb baix pendent, no era prou fiable ni extrapolable a un terreny amb forta inclinació per fer la valoració de l'estabilitat del mantell.

Contràriament al que es creia fins ara, estudis recents (Birkeland et al., 2010) duts a terme a Montana i Alaska, demostren que el nombre de cops en l'ECT necessaris per a que la fractura es propagui al llarg de la columna sencera, no varia o només s'incrementa lleugerament amb l'augment de l'angle del pendent. Aquests resultats, van suggerir la possibilitat de dur a terme els ECT en vessants amb un pendent menor i, per tant, més segurs.

El present treball és, doncs, un estudi de l'estabilitat del mantell nival per determinar la seva variabilitat espacial. Aquest s'ha dut a terme tot seguint la metodologia dels estudis més recents, realitzant diverses campanyes de camp, en parcel·les de diferents orientacions i pendents de la zona de la Val d'Aran i amb l'aplicació de diferents tests d'estabilitat (principalment ECT).

ENQUESTA DE COMPRENSIÓ DEL BUTLLETÍ DE PERILL D'ALLAUS DEL PIRINEU DE CATALUNYA

Glòria Martí Domènech ⁽¹⁾; Carles García Sellés ⁽²⁾ i Jordi Pujol Cayón ⁽³⁾

(1) Institut Geològic de Catalunya. gmarti@igc.cat

(2) Institut Geològic de Catalunya. cgarcia@igc.cat

(3) Institut Geològic de Catalunya. jpujol@igc.cat

El 2009, la predicció regional d'allaus a Catalunya inicia una nova etapa amb l'elaboració d'un butlletí de perill d'allaus gràfic a més del butlletí en format text que fins al moment duia publicant. Amb l'objectiu de millorar i fer més comprensibles les informacions sobre el perill d'allaus, que emeten conjuntament l'Institut Geològic de Catalunya amb el Servei Meteorològic de Catalunya, s'elabora una enquesta destinada a avaluar la comprensió dels butlletins per part de l'usuari. Mitjançant l'anàlisi de l'enquesta es pot saber quines informacions es consulten més sovint i si les dades publicades a la pàgina web són prou clares i entenedores. Els resultats preliminars de dues temporades permeten copsar que en general l'usuari valora positivament el butlletí de perill d'allaus gràfic per la facilitat en visualitzar i retenir la informació a través d'icones associatives. Tot i així hi ha un nombre destacat d'enquestats que consideren molt important també les especificacions del butlletí en format text. Tanmateix també es demana informació cada vegada més gràfica i més dades complementàries com per exemple gruixos de neu, estratificació del mantell, etc.

L'anàlisi de l'enquesta de comprensió del Butlletí de Perill d'Allaus del Pirineu de Catalunya sumat a l'anàlisi que en fan predictors i especialistes indica que serà adient diversificar els canals de difusió a través de les noves tecnologies que sorgeixen al mercat.

INFOBPA: PLATAFORMA TECNOLÒGICA DE DIFUSIÓ DEL BUTLLETÍ DE PERILL D'ALLAUS DEL PIRINEU DE CATALUNYA

Jordi Pujol Cayón ⁽¹⁾; Jorge Fleta Pastor ⁽¹⁾ i Glòria Martí Domènech ⁽¹⁾

(1) Institut Geològic de Catalunya. jpujol@igc.cat, jfleta@igc.cat, gmarti@igc.cat

Aquesta contribució dona una visió del rerefons tecnològic que fa possible el procés diari de difusió del perill d'allaus al Pirineu de Catalunya.

En els darrers anys a Catalunya ha crescut la necessitat d'informació sobre perill d'allaus, majoritàriament entre els practicants d'esports de muntanya i professionals relacionats. L'IGC és l'organisme que ofereix el servei públic de predicció d'allaus a Catalunya, en col·laboració amb el Servei Meteorològic de Catalunya.

Amb l'objectiu de facilitar el procés de difusió del perill d'allaus s'ha desenvolupat a mida una eina robusta i flexible (InfoBPA), que permet elaborar i difondre des de l'IGC diàriament el Butlletí de Perill d'Allaus (BPA).

El BPA s'emet durant la temporada hivernal per set subdivisions geogràfiques diferenciades en funció del seu comportament nivoclimàtic. El BPA requereix prop de tres-cents valors diaris per emetre la predicció. Aquesta informació associada al perill és recopilada per InfoBPA i transformada en diferents productes finals aptes per ser distribuïts entre la ciutadania en diferents idiomes i diferents mitjans de comunicació (pdf, html, rss i kml). InfoBPA és un programari que permet emmagatzemar aquesta informació, maquetar-la i redistribuir-la per a diferents plataformes i dispositius, fent possible reduir el temps de treball i emmagatzemar les dades relatives a la predicció en una base de dades.

SISTEMAS DE PROTECCIÓN EN LA ZONA DE LA FIJACIÓN. PROBLEMAS PROYECTUALES Y CUESTIONES TÉCNICAS RELATIVAS A LA INTERVENCIÓN CON PANELES TRIANGULARES Y REDES MONO ANCLAJE

Massimo Raviglione ⁽¹⁾; Maurizio Iori ⁽²⁾ y Melina Matias ⁽³⁾

(1) *Studio tecnico Dott Ing Massimo Raviglione*

(2) *Incofil*

(3) *Inaccés Geotècnica Vertical, S.L.*

Esta intervención técnica, ilustra los principales tipos de intervenciones para mitigar el peligro de avalanchas y el riesgo asociado a las mismas.

A partir de la clasificación de todas las obras de protección (estructurales) y de reducción del riesgo (medidas de gestión) se abordan en detalle los principales tipos de intervenciones en el ámbito de las obras en la zona de partida de la avalancha.

El análisis, que se inicia a partir de las estructuras específicas destinadas a romper la continuidad de las placas (trípodes y snowgripper), a continuación, se analiza las obras lineales de estructura rígida (puentes y rastrillos), seguidamente el sistema de seguridad de estructuras flexibles continua (barreras de paneles triangulares) y finalmente las lineales modulares (mono anclaje).

Posteriormente, exploraremos, a partir de los parámetros técnicos principales que caracterizan e identifican cada zona avalanchosa, los parámetros que definen la elección más apropiada de sistema de contención.

El análisis se concluye analizando en detalle las características de los sistemas flexibles lineales o modulares, afrontando las principales problemáticas ligadas a la proyectación de una intervención de protección (posicionamiento de las estructuras en el área de salida de la avalancha, distancia entre filas, altura útil, etc.), la problemática de las cimentaciones en alta cota y al mantenimiento de las instalaciones.

ALUDES DE NIEVE EN ESPAÑA DURANTE LAS DIEZ PRIMERAS TEMPORADAS DEL SIGLO XXI

Pere Rodés Muñoz ⁽¹⁾ y M^a Carmen Miranda Parlon ⁽¹⁾

(1) Registro estatal de accidentes por alud. prodesmunoz@gmail.com

A pesar del cambio climático, la nieve cubre las montañas de la península ibérica cada año con más o menos nieve.

El aumento de los usuarios de la montaña invernal, practicantes de los diversos deportes de invierno: esquí de pista, esquí de montaña, travesías con raquetas, surf, escalada invernal de canales y corredores, etc. Así como la facilidad desplazarse a esos lugares de prácticas, hace que ingresen en la base de datos del Registro Estatal de Accidentes por Alud un goteo constante de informaciones sobre accidentes por alud.

El Registro Estatal de Accidentes por Alud. Es un ente sin finalidad de lucro que desea recopilar toda aquella información posible sobre este meteoro y una de sus más graves consecuencias, los aludes de nieve. Recoge información de aquellos accidentes en todo el territorio español que afecten a personas de cualquier autonomía y nacionalidad, así como daños a infraestructuras (FFCC, carreteras, torres de electricidad, etc.). Recoge aquellos accidentes ocurridos a españoles en la vertiente norte del Pirineo y en Andorra, lo que permite el aumento de casuística de cara, a quien importe, la formación sobre esta temática a estos montañeros o esquiadores que si deben ser formados en el territorio español.

Se expone la información recogida sobre más de 210 accidentes por alud durante las diez primeras temporadas del siglo XXI, desglosando la información por accidentes por temporada, tipo de alud y actividad que realizaban las víctimas, tabla con sexo, edad y consecuencias para la salud de las mismas.

NOTAS SOBRE NIEVE Y ALUDES DEL PASADO (Hasta 1800)

Pere Rodés Muñoz ⁽¹⁾ y M^a Carmen Miranda Parlon ⁽¹⁾

(1) Registro estatal de accidentes por alud. prodesmunoz@gmail.com

El meteoro de la nieve es poco recordado, en general. Las precipitaciones en forma de nieve al ocurrir, en la mayoría de las ocasiones, en zonas aisladas de montaña la información no nos llega, siendo difícil conocer su incidencia y sus más graves consecuencias, como pueden ser los aludes que afecten a personas o sus pertenencias o infraestructuras.

De todos es conocido que el planeta Tierra en el curso de su historia ha pasado por una serie sucesiva de periodos climáticos que han sido estudiados por diversos autores, siendo en Catalunya /España el Dr. Mariano Barriendos quien dispone de las mejores series sobre climatología histórica. Dichos autores detectan un periodo frío de cerca de 300 años de duración, entre los siglos XIV a mediados del XIX, que han denominado la Pequeña Edad del Hielo.

En el presente trabajo queremos dejar constancia de aquella información sobre la nieve y los aludes que se ha ido recopilando en el Registro Estatal de Accidentes por Alud. Un ente sin finalidad de lucro que desea recopilar toda aquella información posible sobre la nieve y una de sus más graves consecuencias, los aludes.

Se expondrá aquella información recogida desde el siglo XV hasta 1800.

DIVULGACIÓ DE LA NEU I LES ALLAUS A ANDORRA: L'EDNA

Aina Margalef Porcar ⁽¹⁾; Pere Esteban ⁽¹⁾; Natàlia Gallego ⁽¹⁾; Oscar Santos ⁽¹⁾; Francesc Poujarnisclé ⁽¹⁾; Lluís López ⁽¹⁾

(1) Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA-IEA)

L'EDNA (Espai de Neu i Allaus) és un entorn de divulgació sobre la neu i les allaus creat l'any 2008 per tres organismes andorrans: el GRIM (Grup de Rescat, Immersió i Muntanya dels Bombers d'Andorra), l'EFPEM (Escola de Formació de Professions Esportives i de Muntanya) i el CENMA (Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra), de l'Institut d'Estudis Andorrans. L'any 2010 s'hi va afegir el Servei de transport per cable i meteorologia de l'Àrea de transport i energia del Govern d'Andorra.

Actualment l'EDNA té una pàgina web (www.edna.ad), on es mostren una sèrie de temes a mode de manual, i que inclouen aspectes tan diversos com la meteorologia de muntanya, els tests d'estabilitat, com preparar una sortida o com fer una cerca amb DVA.

Des de fa 3 hiverns, cada temporada es fan els cursos anomenats "Neu, allaus i seguretat a la muntanya hivernal", que consten de 2 nivells de 15 hores cadascun i que són impartits per membres dels 4 organismes. Aquests cursos estan oberts a tots els públics.

D'altra banda, des de la temporada 2008-2009 l'EDNA compta amb el primer parc DVA dels Pirineus, que s'utilitza tant en els cursos propis de l'EDNA com en diferents activitats amb escoles, en formacions de l'EFPEM, entrenament de bombers, etc.

Per últim, des de l'EDNA s'organitzen activitats diverses que inclouen des de formacions a les escoles fins a xerrades d'especialistes en els diferents àmbits de la meteorologia de muntanya, la nivologia o la seguretat.

LES ALLAUS A ANDORRA (1975-2010): ANÀLISI ESTADÍSTIC

Natàlia Gallego Robert ⁽¹⁾; Raül Mas Garcia ⁽¹⁾; Pere Esteban Veà ⁽¹⁾; Aina Margalef Porcar ⁽¹⁾

(1) Institut d'Estudis Andorrans (IEA)

Com a país de muntanya, Andorra està exposada a tota una sèrie de fenòmens naturals que afecten els seus habitants i les seves infraestructures, entre els quals hi ha les allaus durant la meitat freda de l'any. El CENMA disposa d'una completa base de dades de riscos naturals a Andorra creada a partir del recull de notícies de la premsa escrita entre els anys 1975 i 2010 i de la informació dels cossos especials de la Policia i dels Bombers d'Andorra, que permet obtenir una detallada descripció estadística dels episodis d'allaus que han afectat el país al llarg d'aquests anys. Tot i no ser el risc més freqüent al país, les allaus són el fenomen que més víctimes mortals han causat (15 morts en 35 anys), i el fet que cada dia es practiquin més els esports forapista fa pensar que la tendència podria anar a l'alça.

Patrocinen

