RECULL DE CONFERÈNCIES 2021 - DEBATS DE RECERCA 14: 221-226 (2022)
Societat Andorrana de Ciències, Andorra
DOI: 10.2436/15.8060.31.4 ISBN: 978-99920-61-65-7

Laura Trapero i Bagué
Oriol Travesset i Baró
Marc Pons i Pons

Grup de Muntanya d'Andorra Recerca + Innovació

Laura Trapero i Bagué, doctora en Física

Oriol Travesset i Baró, doctor en Sostenibilitat

Marc Pons i Pons, doctor en Ciència i Tecnologia per la Sostenibilitat

L'ús i el potencial de les tecnologies emergents en el camp de la meteorologia i la climatologia

Paraules clau: innovació, tecnologia, Andorra, neu, meteorologia, climatologia.

Des d'Andorra Recerca + Innovació es potencia el desenvolupament de la recerca aplicada i la innovació a través de l'ús de tecnologies emergents, processos àgils d'innovació i eines disruptives perquè els actors clau d'Andorra puguin adoptar-les fàcilment. En aquest article es presentaran alguns dels projectes dins les línies de treball vinculades a la meteorologia, la climatologia i la neu en què la incorporació de nous procediments, eines i tecnologies permet promoure el desenvolupament de nous sectors econòmics més sostenibles i enfocats a la millora del benestar de la societat.

CLIM'PY (Climatologia)

La motivació principal d'aquest projecte ha estat la caracterització de l'evolució del clima i la provisió d'informació per a l'adaptació dels Pirineus en un context de canvi global. Aquest projecte ha estat finançat pel programa Interreg-Poctefa i pel Govern d'Andorra a través dels Ajuts complementaris al Poctefa 2014-2020, referència AUEP002-AND/2015 (https://www.opcc-ctp.org/ca/climpy). Els principals resultats en territori andorrà estan publicats al web de l'Observatori de la Muntanya d'Andorra (www.oma.ad).

Per primera vegada, s'ha caracteritzat l'evolució de la coberta de neu tant en l'espai com en el temps a partir d'eines de teledetecció. Actualment, com a complement de les observacions *in situ*, la teledetecció per satèl·lit és útil per fer un seguiment del senyal climàtic i els seus efectes sobre la dinàmica de la neu. Per generar les climatologies de la coberta de neu als Pirineus pel període 2000-2017 (figura 1), s'han utilitzat els productes diaris de neu MODIS (Terra/MOD10A1 i Aqua/MYD10A1), prèviament avaluats a partir de les observacions de neu mesurades a les estacions d'esquí.[1] Aquesta informació és fonamental per a alguns sectors com la producció d'energia hidroelèctrica, el reg de cultius o, també, el turisme.

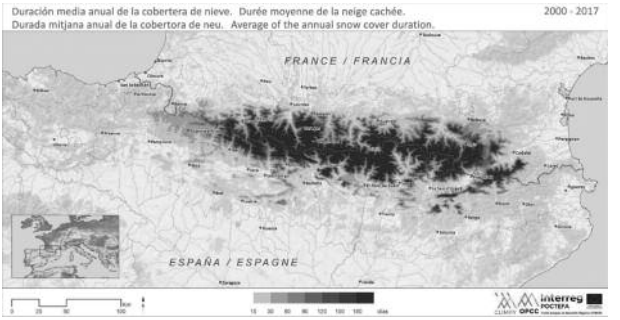

Figura 1. Duració mitjana anual, en dies, de la coberta de neu als Pirineus (2000-2017). Font: CLIMPY

Projecte GWOP (Meteorologia)

El projecte GWOP, que és l'acrònim de *Gravity Waves and Orographic Precipitation*, liderat per la Universitat de Barcelona, té l'objectiu general d'estudiar diferents processos meteorològics que es veuen afectats per la presència del relleu, com les ones de muntanya, la formació de rotors i els efectes de l'orografia en els processos de precipitació.

Després de la campanya experimental i observacional GWOP 17 efectuada als Pirineus Orientals l'hivern de 2017, es va iniciar el processament de totes les dades enregistrades. L'estratègia observacional va ser dissenyada per tal de caracteritzar dos fenòmens diferents: les ones de muntanya i la precipitació orogràfica. Les campanyes experimentals permeten el desplegament tecnològic d'instrumental molt específic que es basa en tècniques d'observació avançada, com és en aquest cas un radar meteorològic portàtil, un microradar de precipitació (MRR) que funciona com a perfilador vertical, i el disdròmetre, un aparell amb tecnologia làser que mesura la mida i la velocitat de caiguda dels hidrometeors. Pel que fa a l'observació del vent i les circulacions locals, es van instal·lar un Lidar, un aparell de teledetecció basat en la tecnologia làser que permet estudiar el vent horitzontal, i un perfilador de vent UHF, que utilitza pulsacions electromagnètiques per calcular els perfils verticals de vent (fins a 5 km) a partir de l'efecte Doppler.

Dels resultats inèdits obtinguts en destaquem els publicats en el treball d'Udina *et al.* (2020) en què s'ha pogut estudiar les característiques d'un rotor elevat que fou generat per un episodi d'ona de muntanya;[2] i en l'estudi de González *et al.*

1. Gascoin, S.; Hagolle, O.; Huc, M.; Jarlan, L.; Dejoux, J.-F.; Szczypta, C.; Marti, R.; Sánchez, R. (2015). "A snow cover climatology for the Pyrenees from MODIS snow products". *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 2337-2351, https://doi.org/10.5194/hess-19-2337-2015

2. Udina, M.; Bech, J.; Gonzalez, S.; Soler, M.; Paci, A.; Miró, J.R.; Trapero, L.; Donier, J.M.,; Douffet, T.; Codina, B., Pineda, N. (2020). "Multi-sensor observations of an elevated rotor during a mountain wave event in the Eastern Pyrenees". *Atmospheric Research*, 234, 104698. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104698

(2021) en què s'analitza l'estructura vertical i les característiques microfísiques dels episodis hivernals de precipitació.[3]

Figura 2. Instal·lació d'una estació de mesura HD-RAIN per a la detecció de la precipitació a la borda de Sorteny. Font: AR+I

Sistemes d'observació meteorològica: precipitació (meteorologia)

Andorra és un territori amb una orografia complexa que dificulta l'observació de la precipitació a partir de les imatges de radar dels serveis meteorològics dels països veïns. Malgrat que la xarxa d'estacions meteorològiques a Andorra és prou densa, no és suficient per mesurar la gran variabilitat d'aquest fenomen a tot el territori. Ens trobem així en un entorn adequat per explorar sistemes d'observació alternatius que ens permetin donar resposta a les limitacions actuals.

La primavera del 2022, es va iniciar una prova pilot en col·laboració amb l'empresa HD-RAIN per engegar una campanya de mesura de la precipitació a partir del senyal rebut de satèl·lits comercials. A diferència dels radars meteorològics convencionals, que són sistemes cars i costosos d'instal·lar i mantenir, la tecnologia desenvolupada per HD-Rain és innovadora i de baix cost i permet estimar la intensitat de precipitació a partir de l'atenuació del senyal que reben les antenes de televisió per satèl·lit. La zona d'estudi definida per la prova pilot ha estat la vall de la Valira del Nord. La primera fase del projecte és el desplegament de tota la xarxa pilot d'observació amb la instal·lació de dotze estacions de mesura a les parròquies d'Ordino i la Massana (figura 2). Si els resultats d'aquesta prova pilot fossin satisfactoris, tenint en compte la complexitat de l'orografia andorrana, aquest sistema permetria tenir cada minut un mapa a temps real de la intensitat i quantitat de precipitació caiguda al Principat.

DRONE LAB

El Drone Lab, ubicat a la caserna central de Bombers de Santa Coloma, és la secció d'Andorra Recerca + Innovació que conjuntament amb institucions del país, com el Cos de Bombers, donen suport logístic i operacional en projectes de recerca i innovació que facin ús d'aeronaus no tripulades a Andorra.

En el camp de la meteorologia, des de fa anys els radiosondatges han estat les úniques eines disponibles per conèixer l'estructura vertical de l'atmosfera. Les variables que

3. González, S.; Bech, J.; Garcia-Benadí, A.; Udina, M.; Codina, B.; Trapero, L.; Paci, A.; Georgis, J. F. (2021). "Vertical structure and microphysical observations of winter precipitation in an inner valley during the Cerdanya-2017 field campaign". *Atmospheric Research*, 264, 105826. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105826

Figura 3. Imatge del vol del MeteoDrone des de la Caserna de Bombers d'Andorra. Font: AR+I

s'obtenen són la temperatura, la humitat relativa, la pressió, la força i la direcció del vent a diferents altures en dos moments del dia. Actualment l'evolució tecnològica dels drons ofereix una oportunitat única de vol per explorar l'atmosfera en zones d'orografia complexa com els Pirineus, on no s'efectuen radiosondatges, i obtenir un perfil vertical de l'atmosfera.

Per poder explorar aquest nou sistema d'observació, l'hivern del 2022 va tenir lloc una demostració de vol d'una aeronau no tripulada equipada amb sensors per mesurar variables meteorològiques, per part de l'empresa suïssa Meteomatics. L'operació de vol es va dur a terme des de la caserna central de Bombers de Santa Coloma en diferents franges horàries (figura 3). Es van fer observacions durant el matí amb les primeres llums del dia i a la tarda amb la posta de sol (figura 4).

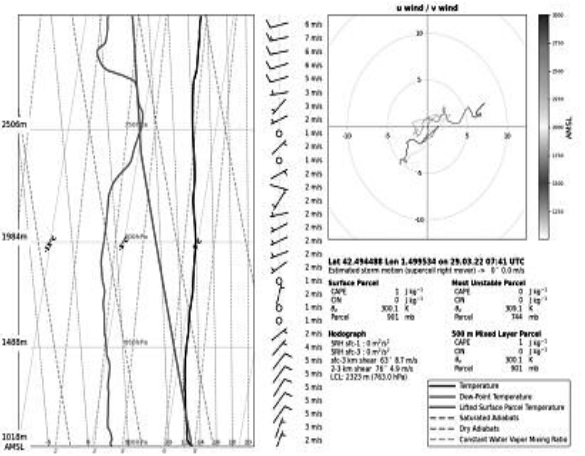

Figura 4. Perfil vertical de l'atmosfera observat amb el Meteodrone. Font: Meteomatics

La finalitat del vol era conèixer el potencial de l'ús de les aeronaus per a l'estudi de la capa límit planetària en zones urbanitzades amb orografia complexa, com la vall central d'Andorra. La identificació de l'estructura vertical de l'atmosfera és clau per a la predicció meteorològica d'alguns fenòmens com les inversions tèrmiques, la formació de tempestes, el límit pluja-neu... A més, també pot ser útil en altres àmbits com el monitoratge de la qualitat de l'aire, el comportament d'incendis forestals o la provisió d'informació per a activitats d'aeronàutica, entre molts d'altres.

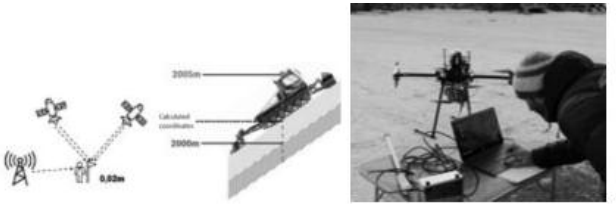

Figura 5. Representació esquemàtica de l'ús de la tecnologia GNSS-RTK en màquines trepitjaneu. Fotografia presa durant l'operació de vol LiDAR amb aeronau en unes pistes d'esquí a Andorra. Font: AR+I

Laboratori de la neu

El laboratori de la neu és l'espai de test d'estratègies innovadores en l'àmbit de la neu i la muntanya, amb l'objectiu de contribuir al desenvolupament sostenible. Es treballa principalment en dos línies, enfocades a la millora de l'eficiència en la gestió i a la planificació de la neu a les estacions d'esquí.[4, 5]

Conèixer amb precisió el gruix de neu pot afavorir un estalvi significatiu de l'ús de l'aigua i l'energia necessàries per poder produir neu artificial, així com el manteniment de les pistes que efectuen les màquines trepitjaneu. Segons estudis existents, disposar de dades precises del gruix de neu pot implicar un estalvi al voltant del 15% i el 8% d'aigua i energia utilitzades, respectivament.[6] Una de les tècniques emprades es basa en la instal·lació de receptors GNSS (Global Navigation Satellite Systems) RTK (Real-time Kinematic) en una màquina trepitjaneu (figura 5), per mesurar l'alçària absoluta del nivell de la neu sobre una superfície amb una precisió centimètrica (< 2 cm).[7] *A posteriori*, mitjançant el model digital del terreny sense neu a alta precisió implementat amb LiDAR (Light Detecting And Ranging), es calcula el gruix del mantell nival.

Paral·lelament a la instal·lació dels equips GNSS-RTK a les màquines, es treballa per poder integrar la tecnologia LiDAR en una aeronau no tripulada (dron), per poder operar-hi a les estacions d'esquí (figura 6). L'objectiu és que sigui una eina útil i complementària de les màquines trepitjaneu per a l'estimació del gruix de neu. Aquesta tècnica, malgrat que la distància que pot recórrer l'aeronau és limitada, permet efectuar mostrejos específics i amb un grau de detall més gran sobre zones d'un interès especial.

Figura 6. Estimació del gruix de neu a l'estació de Grandvalira mitjançant dron i LiDAR (10/02/2020). Font: AR+I

4. Pons, M.; López-Moreno, J. I.; Revuelto, J.; Alonso, E.; Vilella, M.; Travesset, O.; Apodaka, J.; Pesado, C.; Margalef, A.; Iravani, P. (2018). "Remote sensing techniques for helping decision-making in the management of ski areas". *International Snow Science Workshop 2018*, 2018, p. 548-552.

5. Travesset-Baro, O.; Domènech, M.; Pesado-Pons, C.; Pons, M. (2022). "Evolución de los usos de los recursos hídricos y posibles tensiones bajo escenarios de cambio climático en Andorra". Actividad 4.7, Desarrollo y puesta en marcha de estrategias de adaptación, 2022.

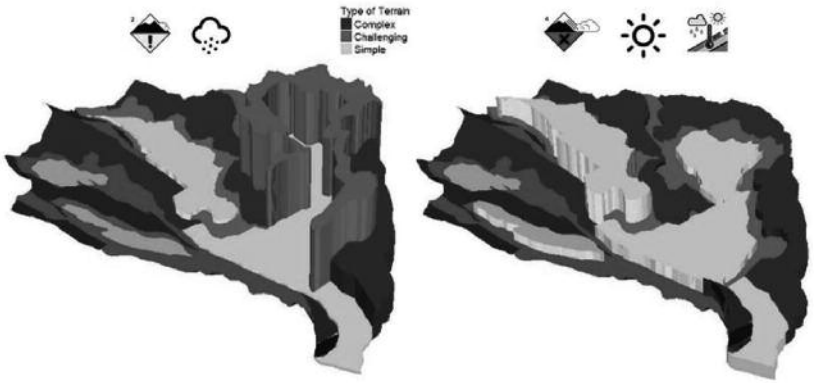

Figura 7. Distribució dels esquiadors segons la cartografia ATES en diferents condicions meteorològiques i de risc d'allaus

Anàlisi de dades de telefonia mòbil (neu)

En un context d'interès creixent pel concepte *intel·ligent* (*smart*) (ciutat intel·ligent, país intel·ligent), les dades espaciotemporals són imprescindibles per entendre millor les dinàmiques del nostre entorn. En aquest sentit, l'anàlisi de dades de telefonia mòbil pot contribuir a identificar patrons i relacions útils per a la planificació del territori i aportar eines per facilitar la presa de decisions i donar-hi suport.

Un exemple d'àmbit d'aplicació de les dades de telefonia mòbil ha estat l'anàlisi de les dinàmiques d'esquiadors en terreny d'allaus. S'ha realitzat un cas d'estudi mitjançant les dades del mes de febrer del 2018. En aquest estudi, les dades de telefonia mòbil es combinen amb la cartografia ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale). L'anàlisi es limita a la vall de Sorteny i inclou l'estudi d'episodis amb diferents condicions meteorològiques i risc d'allaus. Els resultats obtinguts quantifiquen com els esquiadors modifiquen el seu comportament pel que fa a l'elecció del tipus de terreny en funció del grau de perill d'allaus i les condicions meteorològiques (figura 7). Aquest cas d'estudi s'explica amb més detall en l'article publicat a l'*International Snow Science Workshop*.[8]

6. Olivart, J. M.; Llop, I.; Moreno-Salinas, D.; Sánchez, J. (2020). "Full real-time positioning and attitude system based on gnss-rtk technology". *Sustainability*, vol. 12, no. 23, p. 1-21, 2020. https://doi.org/10.3390/su12239796

7. Cognard, J.; & François, H. (2019). "Review of ski resort operating costs and market analysis" (Prosnow Project).

8. Francisco, G.; Apodaka, J.; Travesset-Baro, O.; Vilella, M.; Margalef, A.; Pons, M. (2018). "Exploring the potential of mobile phone data (Call Detail Records) to track and analyze backcountry skiers' dynamics in avalanche terrain". *International Snow and Science Workshop*, 2018, p. 1600-1603.