

AVALUACIÓ DELS RECURSOS HÍDRICS EMMAGATZEMATS EN FORMA DE NEU AMB L'ÚS DE TÈCNIQUES LIDAR.

J.Marturia¹, P.Oller¹, A.Ruiz², y P.Martinez¹.

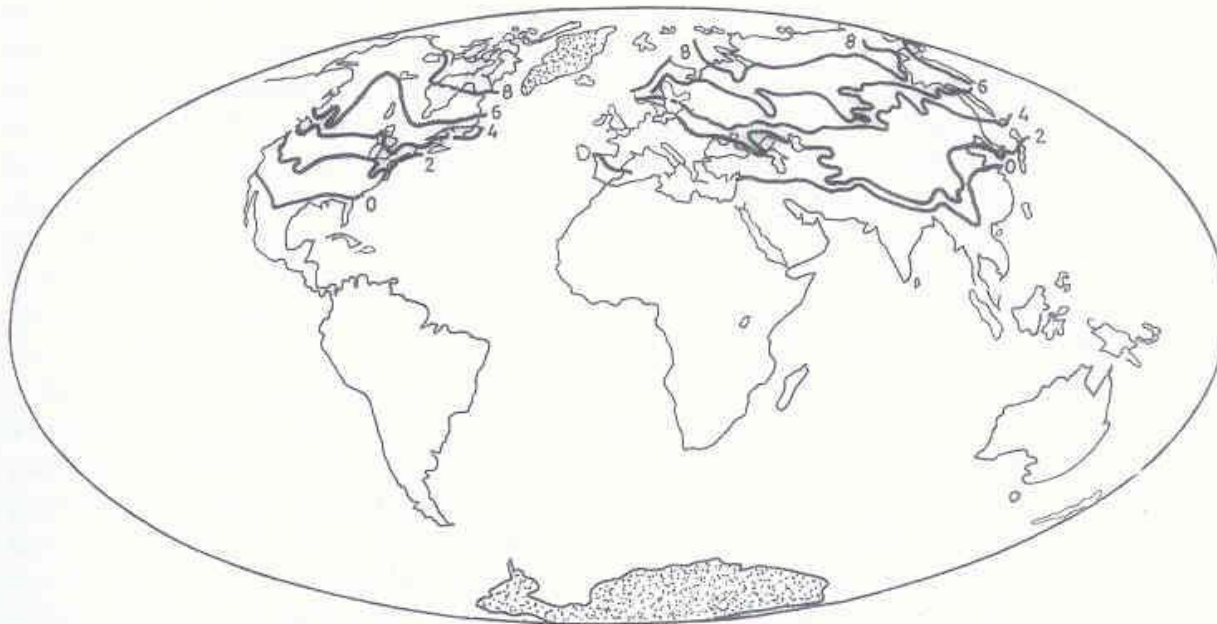
¹Institut Geològic de Catalunya

²Institut Cartogràfic de Catalunya

- 1. OBJECTIU**
- 2. ANTECEDENTS**
- 3. METODOLOGIA i RESULTATS**
 - **LiDAR**
 - **Metodologia**
 - **Resultats**
- 4. BALANÇ I PERSPECTIVES**

La neu i les glaceres aporten almenys un terç de l'aigua utilitzada per irrigació en el món, essent la principal font d'aport d'aigua de països com Xina, Índia, USA, Canadà, Pakistan, Afganistan, Rússia, Nepal, i de certs països europeus (Singh&Singh, 2001).

Concretament a Espanya aquest fenomen té especial rellevància a las capçaleres de les conques dels Pirineus, Serralada Cantàbrica, Sistema Central e Ibèric i a Sierra Nevada.



- L'aigua emmagatzemada en forma de neu actua com un sistema natural regulador del cicle de l'aigua i per tant condiona la gestió dels recursos hídrics i els càlculs del fenomen neu-escorrentia tant per a situacions d'avinguda com a reservori d'aigua en situacions de sequera
- Per tant és imprescindible **la determinació de la extensió i espessor del mantell nival** amb la màxima precisió possible.
- L'ús de noves tecnologies, com el LIDAR, poden aportar millores substancials en aquesta determinació.
- L'objectiu **establir la utilitat del LiDAR aerotransportat com a eina per calcular el potencial hídric emmagatzemat en forma de neu.**
- Aquest projecte és una col·laboració entre l'Institut Geològic de Catalunya i l'Institut Cartogràfic de Catalunya..

El càlcul dels recursos d'aigua emmagatzemada en forma de neu requereix de la superfície i distribució de l'espessor i densitat del mantell nivós.

Els **mètodes** per a l'obtenció d'aquest paràmetres és poden resumir en:

- Tècniques de teledetecció per satèl·lit permeten la obtenció de la superfície nival
- El càlcul de espessors i densitats s'obté a partir de dades puntuals de camp.
- Models estadístics/geoestadístics permeten estendre els paràmetres puntuals a tota la superfície nival
- Finalment, models de fusió permeten calcular la esorrentia.

Altres metodologies es basen en l'ús de models meteorològics de precipitació (predictius).

Projectes existents a Espanya:

On la determinació de la distribució espacial de la neu (i els seus paràmetres) es essencial per a poder calcular el volum d'aigua emmagatzemat en forma de neu.

Finalitat d'utilitzar models de fusió per tal d'incorporar les dades en un SAIH (Sistema Automàtic d'Alerta Hidrològica).

PROGRAMA ERHIN: simulació del fenomen neu-escorrentia. Model ASTER

Projecte ACA-CREAF: Teledetecció aplicada al càlcul de la superfície nival

Projecte ICC-IGC: LIDAR aplicat al càlcul de la massa innivada

PROYECTO	OPERATIVO	GROSOR NIEVE	DENSIDAD	EQUIVALENTE EN AGUA	SUPERFICIE NIVOSA	DISTRIBUCION ESPACIAL PARAMETROS	GESTION
ERHIN	SI	PUNTUAL	PUNTUAL	SI	SATELITE	INTERPOLACION PARAMETRIZADA	EST/SIG
ACA	NO	PUNTUAL	PUNTUAL	NO	SATELITE		
IGC-ICC	NO	AREAL	PUNTUAL	SI	LIDAR	INTERPOLACION PARAMETRIZADA	SIG

Programa Estudio de Recursos Hídricos derivados de la INnivación – ERHIN

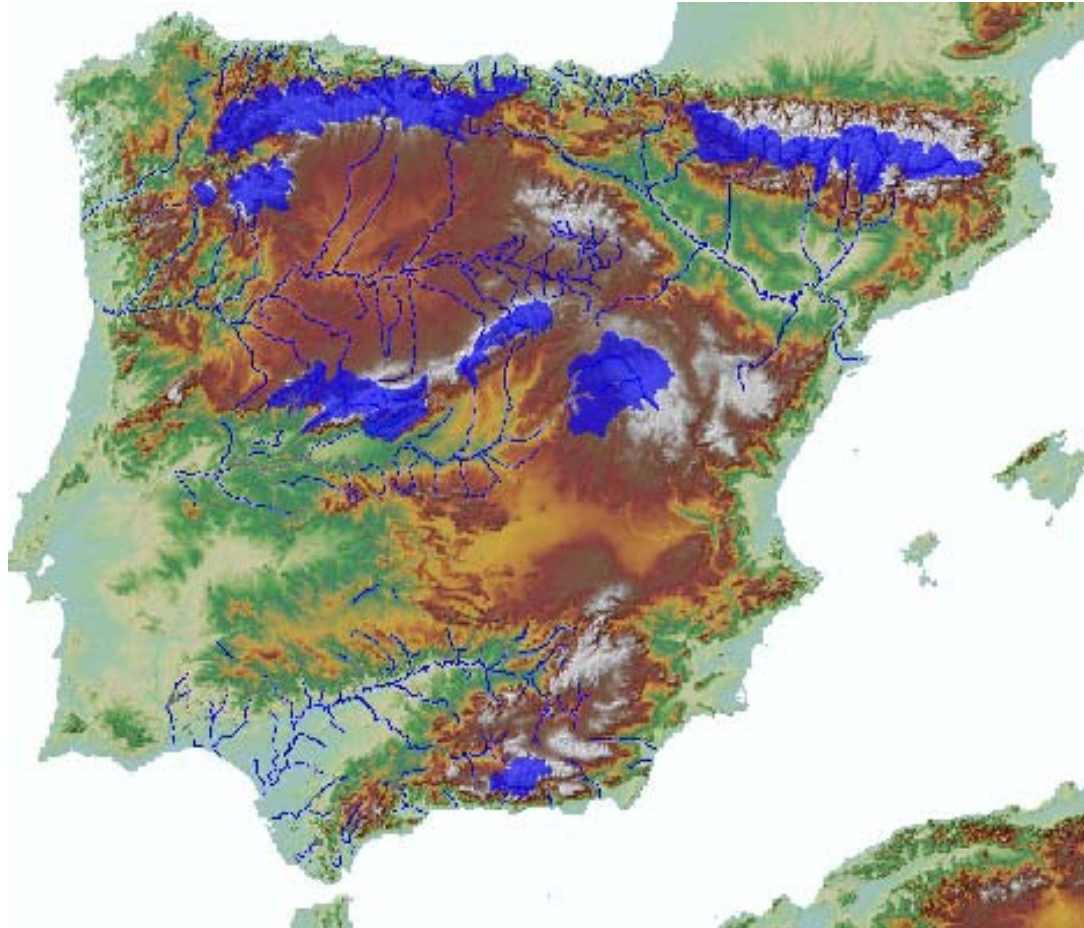
Objectiu

“Conocer la disponibilidad de recursos hídricos y realizar una gestión optima de los embalses para asegurar el abastecimiento y los caudales ecológicos asi como regular circunstancias extremas de avenida y sequía”, Cobos (2006).

El projecte es va iniciar fa més de vint anys per la *Dirección General de Obras Hidráulicas*.

En l'any 1986, l'àmbit d'actuació era el Pirineu, i posteriorment es va anar ampliant a Cordillera Cantábrica (1987), Sierra Nevada (1990) y Sistema Central (1996)

ERHIN



Àrea del territori espanyol (en blau) on s'estudien els recursos hídrics procedents d'acumulació de la neu. (Font MMA)

ERHIN: Activitats

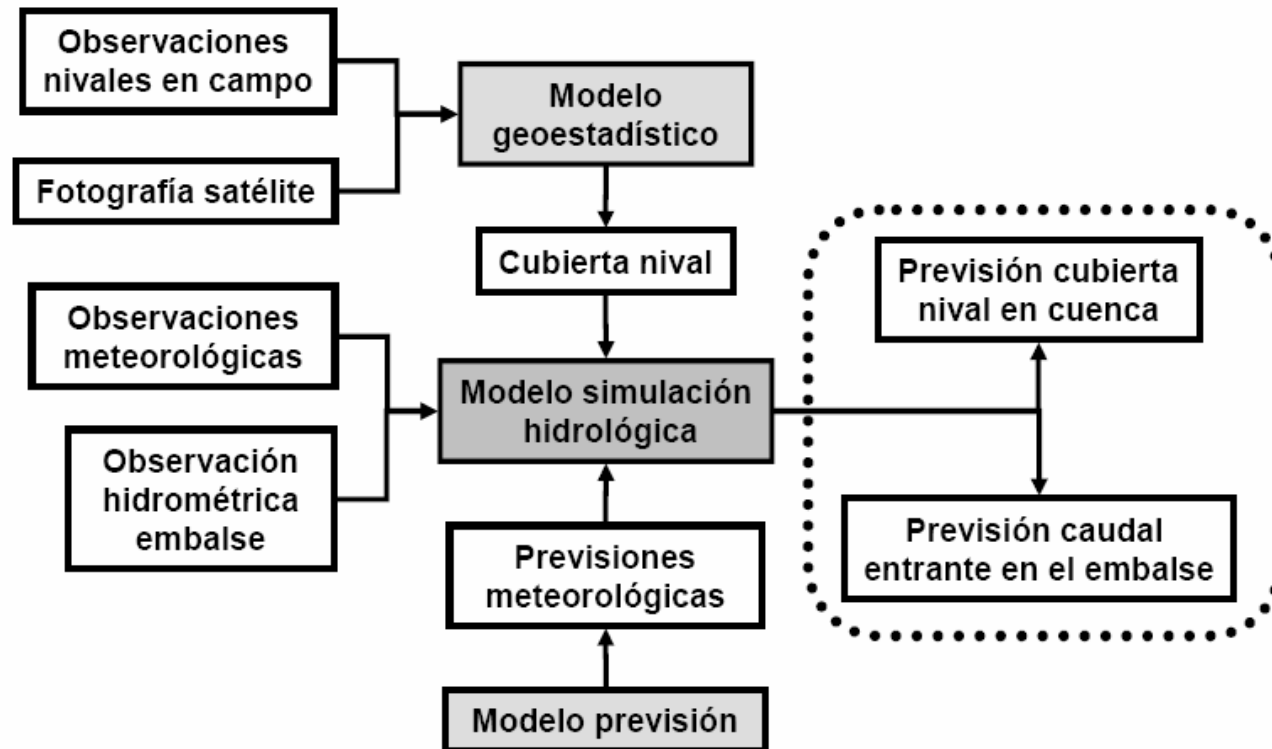
Les principals activitats desenvolupades en el Programa ERHIN son:

- Instal·lació d'una xarxa fixa de mesura d'espessors del mantell nival, formada per perxes i estacions automàtiques.
- Realització de campanyes de camp (3) per a la presa de dades (espessors i densitats).
- Utilització imatges satèl·lit per a la quantificació de las superfícies nevades.
- Aplicació de mètodes hidrològic-estadístics per la quantificació de neu acumulada.
- Previsió de aportacions, desenvolupament de models de simulació hidrològica.

ERHIN: Metodologia

La metodologia ERHIN es basa en dos models conceptuals diferents integrats conjuntament:

1. model de predicció meteorològica (precipitació - escolament).
2. modelo geoestadístic que permet la quantificació del mantell nival per a una data en la qual es disposen d'observacions nivals (mesures en camp e imatge satèl·lit).

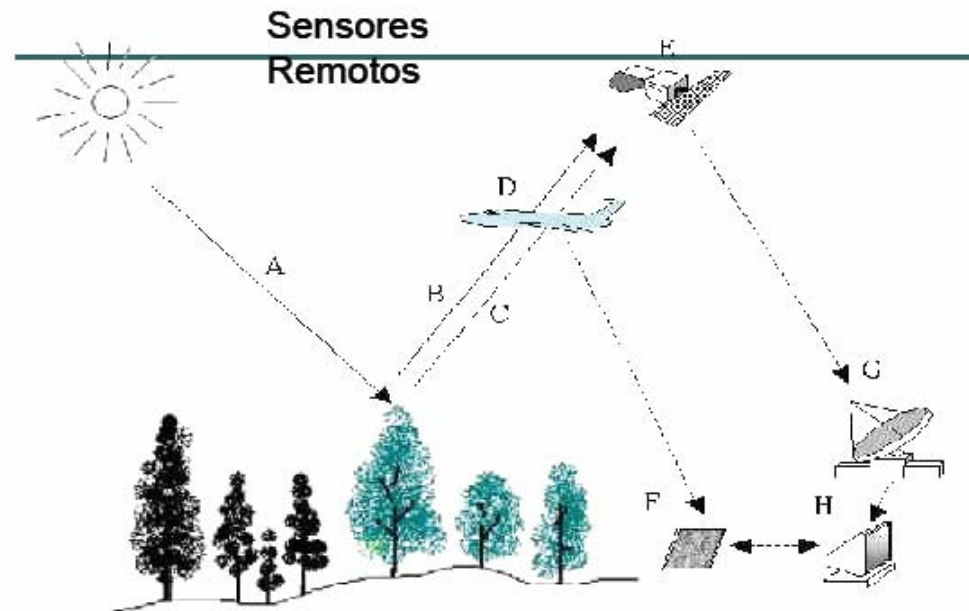


Esquema detallat de la metodologia aplicada per a la quantificació dels recursos hídrics procedents de la innivació

Tècnica: Teledetecció

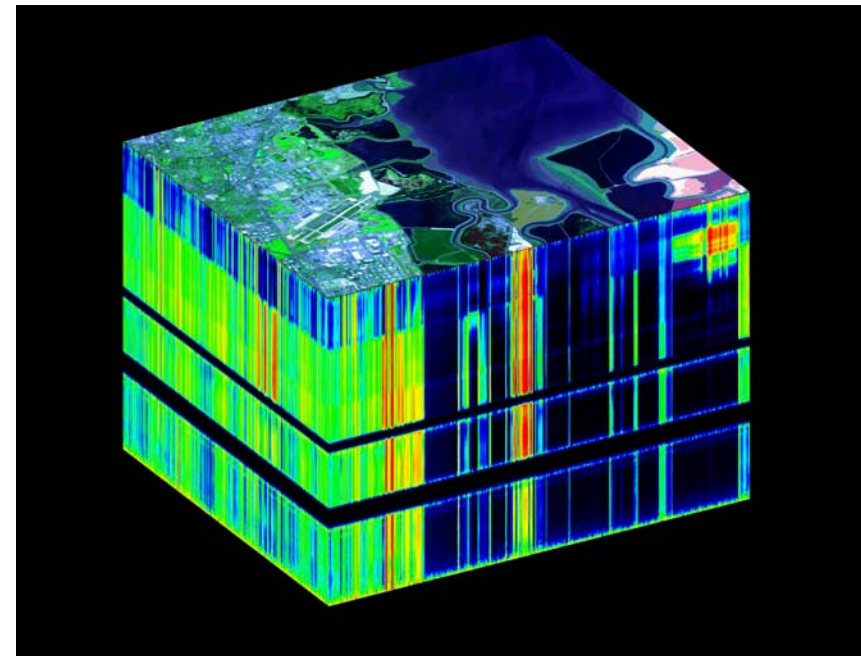
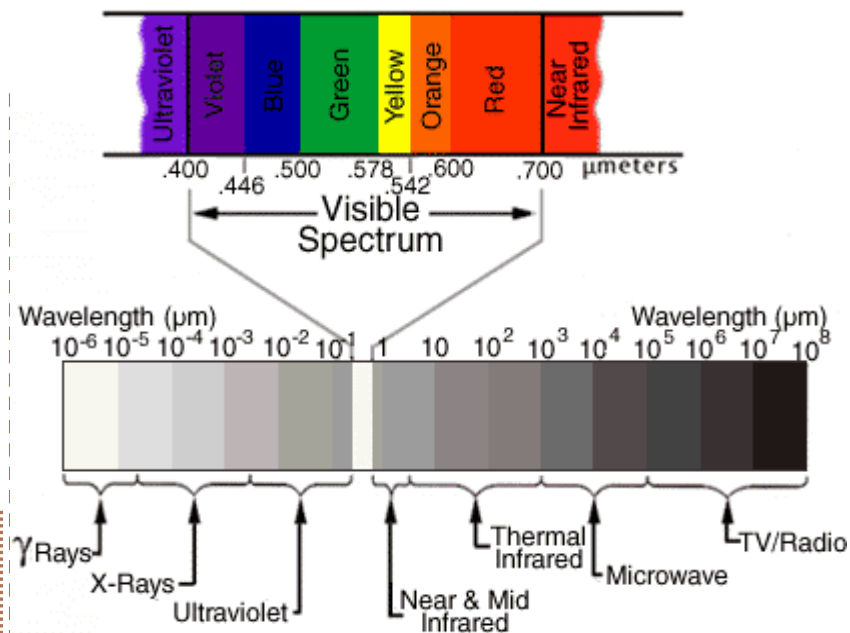
Fins l'actualitat tant sols s'han utilitzat tècniques de teledetecció per satèl·lit per el càlcul de la superfície innivada.

Qualsevol sistema de teledetecció es compon de tres elements bàsics: **el sensor**, **l'objecte observat i un flux energètic que permet relacionar tots dos**. Aquest flux pot ser energia emesa per el propi objecte o per el propi, i és algun tipus de radiació electromagnètica.



Tècnica: Teledetecció. Espectre electromagnètic.

La superfície coberta de neu s'obté per combinació de sensors (index NDSI)



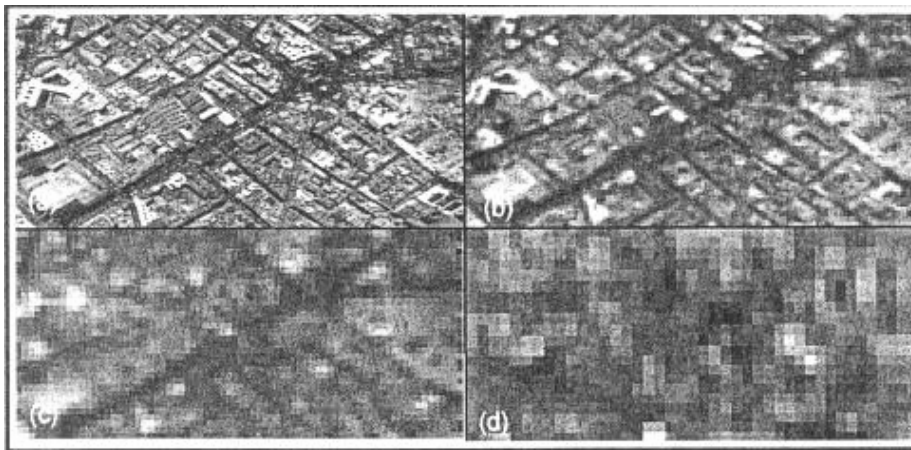
Teledetecció per satèl·lit: Factors limitants per l'ús en l'estimació de la superfície innivada.

RESOLUCIÓ TEMPORAL

Frecuència de la cobertura que proporciona el sensor o periodicitat amb la que aquest adquireix les imatges

RESOLUCIÓ ESPACIAL

La unitat mínima la d'informació inclosa en una imatge (Píxel); per tant només es poden discriminar sobre la imatge elements de mida superior o igual al del píxel.



- (a) resolució de 1m;
- (b) resolució de 5m;
- (c) resolució de 10m;
- (d) resolució de 30m.

LiDAR

El LIDAR (Light Detection And Ranging) és un sistema actiu basat en un sensor làser.

Consisteix en l'emissió d'un pols làser i en la mesura del temps que tarda en arribar a la superfície.

- Aeroportat:
 - ALS: Airborne Laser Scanning**
 - AHL: Airborne Hydrographic Lidar**
- Terrestre:
 - TLS: Terrestrial Laser Scanning**

Integra:

- Distanciòmetre làser: emissor i receptor
- Sistema d'escombrat
- GPS-INS (només l'aeroportat)

LiDAR aerotransportat

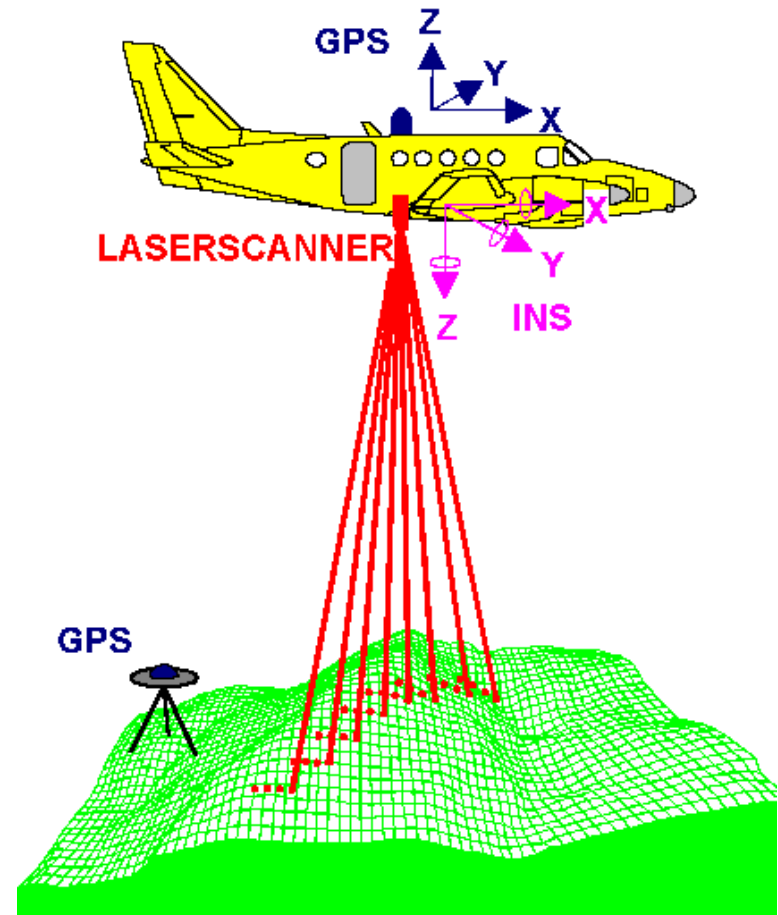
El làser emet polsos.

Es determina el temps que tarda el pols en rebotar y tornar al sensor.

Un mirall desvia el raig que escombra el terreny transversalment.

Equip instal·lat en avió o helicópter: sistema de navegació, GPS, INS y làser-scanner.

El GPS y el INS mesuren la posició i orientació del sensor. GPS en terra para DGPS.



LiDAR: aerotransportat

Actualment el **LiDAR aerotransportat** és la tecnologia més precisa per a la generació de models digitals del terreny (MDT) amb 1 ó 2 m de resolució espacial per grans extensions de terreny, amb precisions en alçada de l'ordre de 15 cm.

Aquesta tecnologia ofereix moltes avantatges en la adquisició de dades digitals d'elevació enfront dels sistemes fotogramètrics clàssics, per exemple, permet mesurar la alçada real del terreny per sota de la vegetació, manté una precisió homogènia per a totes les dades de la zona de estudi, ràpida ...

El LIDAR ha revolucionat la generació de MDT d'alta precisió per diferents aplicacions, principalment per l'elaboració de cartografia per estudis hidràulics, models tridimensionals urbans, etc.

LiDAR: aerotransportat

Quan el làser arriba al terreny es comporta diferent depenent de las característiques dels objectes que trobi:

- En una superfície solida (edificis, sol, neu, etc.), el raig es reflexa directament i retorna l'avió.
- En aigua el raig làser es absorbit ràpidament i no retorna. No s'obté informació.
- En vegetació, part del raig es reflexa i retorna, però al tractar-se d'una superfície no solida, una altra part travessa la vegetació fins el terra y retorna. El sistema guarda el primer y darrer pols.

LiDAR: Característiques ALTM 3025

Frecuencia del pulso láser: 25 kHz

Ángulo de barrido ajustable: $0^\circ - \pm 20^\circ$

Anchura de la pasada (*swath*): 0 a 0,68 H

Frecuencia de barrido variable según ángulo

Divergencia del haz: 0.2-0.67 mrad

Altitud de vuelo (H): 175-3000 m

Medida de primer y último eco

Medida de la intensidad

Longitud de onda: 1064 nm (infrarrojo)

Precisión vertical: 15 cm a 1200 m, 25 cm a 2000 m (1σ)

Precisión horizontal: H/2000

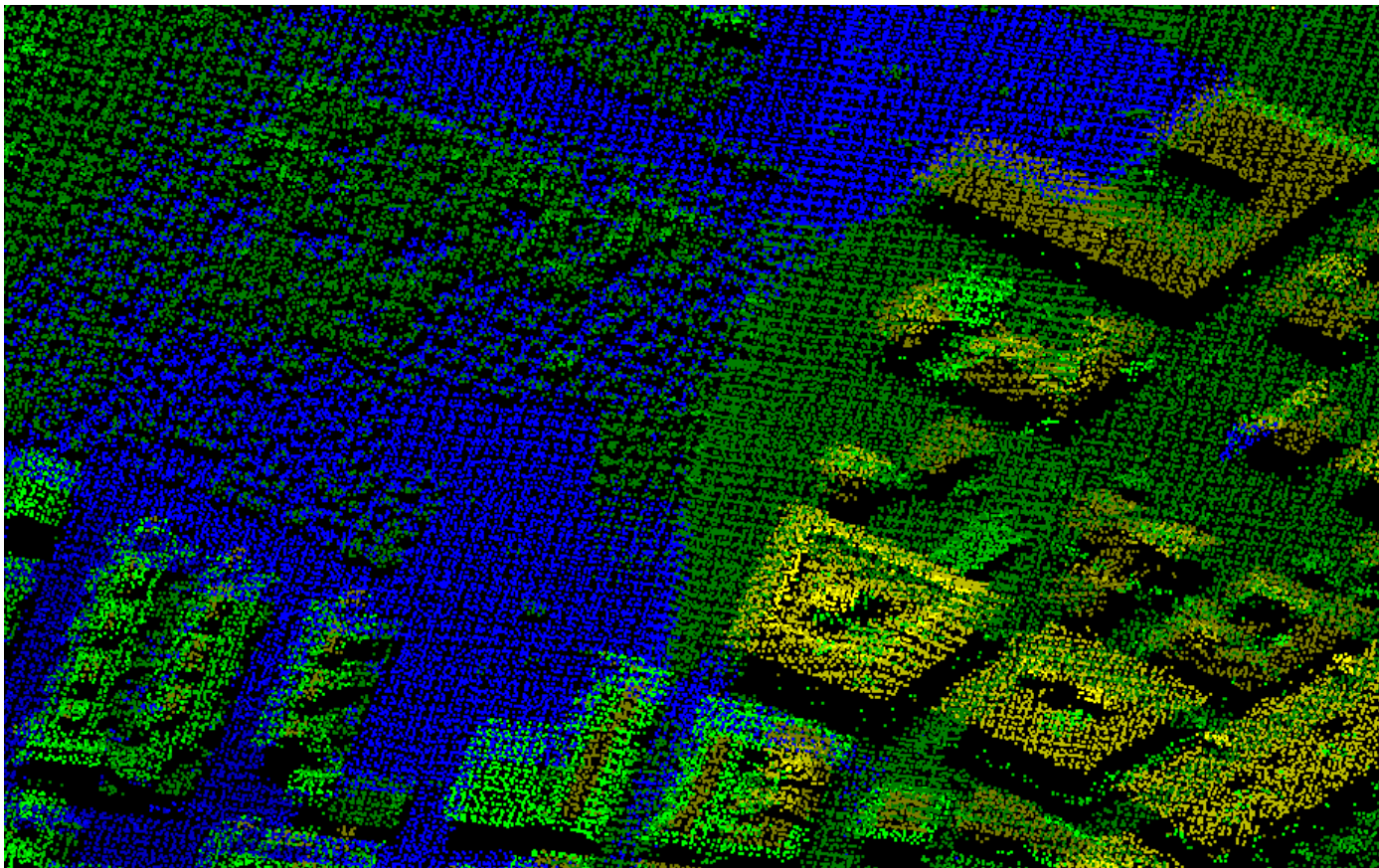
Compensación de balanceo

LiDAR: ALTM 3025 instal·lat en Partenavia P-68C Observer



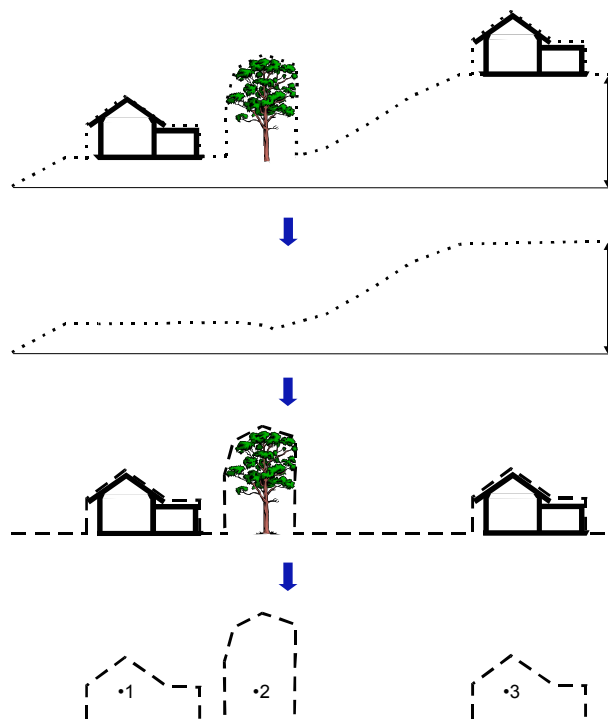
LiDAR: Dades

Proporciona punts con x, y, z, I (intensitat)



LiDAR: Dades

Diferents superfícies que se deriven: **Models de superfície y topogràfic**



DSM



DTM



DSM - DTM = DSM normalizat



Models d'objectes (vector)

LiDAR: Generació DTM alta precisió. Aplicacions

DTM en zones de costa i maresmes

Cartografia de glaciars

DTM en zones de bosc. Alçada de vegetació

Clasificació del DSM: DSM de vegetació, DSM de edificis

Models 3D de ciutats

Cartografia de línees elèctriques, oleoductes, carreteres, ferrocarrils

Càlculs de volum en mines i abocadors

Estudis d'erosió, esllavissades ...

LiDAR

Avantatges del LIDAR aerotransportat com a eina pel càlcul de la innivació:

- Independència de satèl·lits: millor resolució temporal i espacial.
- Major precisió en les dades
- Obtenció de major numero de dades “reals” d'espessor de neu
- Mètode de Interpolació sobre DTM més precís

Metodologia definida

Generació de DTM de precisió del territori “nu”

Per a cada campanya de mesura:

Obtenció de dades d'espessor y paràmetres (densitat...) de neu en zones puntuals: manual i estacions automàtiques

Vol LIDAR hivernal. Trajectòria predeterminada por les valls característiques (una sola passada)

Generació del DTM del territori amb cobertura nival.

- Càlcul d'espessors de neu en la zona de trajectòria
- Calibració amb dades de camp

Interpolació de l'espessor i dels paràmetres a tota la zona nivosa por unitats fisiogràfiques

Càlcul del volum d'aigua acumulada en forma de neu

Metodologia: Validació de la tècnica:

1. Establiment de la zona pilot en la Vall de Nuria.
2. Generació del DTM, amb i sense neu.
3. Càlcul del gruix de neu. Control amb valors de camp. Estimació dels errors
4. Primers resultats

Metodologia: Feines realitzades

- El 9 de març de 2004 es va iniciar la primera fase del projecte, que va consistir en la realització del primer vol LiDAR i una campanya de presa de dades en camp:
 - generar un MDT de la superfície innivada.
 - obtenció mesures els gruixos de neu. Els punts es van escollir en funció de les característiques morfològiques del terreny i amb diferents rangs de gruixos de neu.
- Posteriorment, amb data de 9 d'agost de 2006, es va realitzar el segon vol LiDAR per tal d'obtenir un nou MDT “nu” de l'àrea d'estudi.

Els dos vols es van fer amb un Optech ALTM3025 propietat de l'Institut Cartogràfic de Catalunya.

Metodologia: Feines realitzades



Metodologia: Feines realitzades



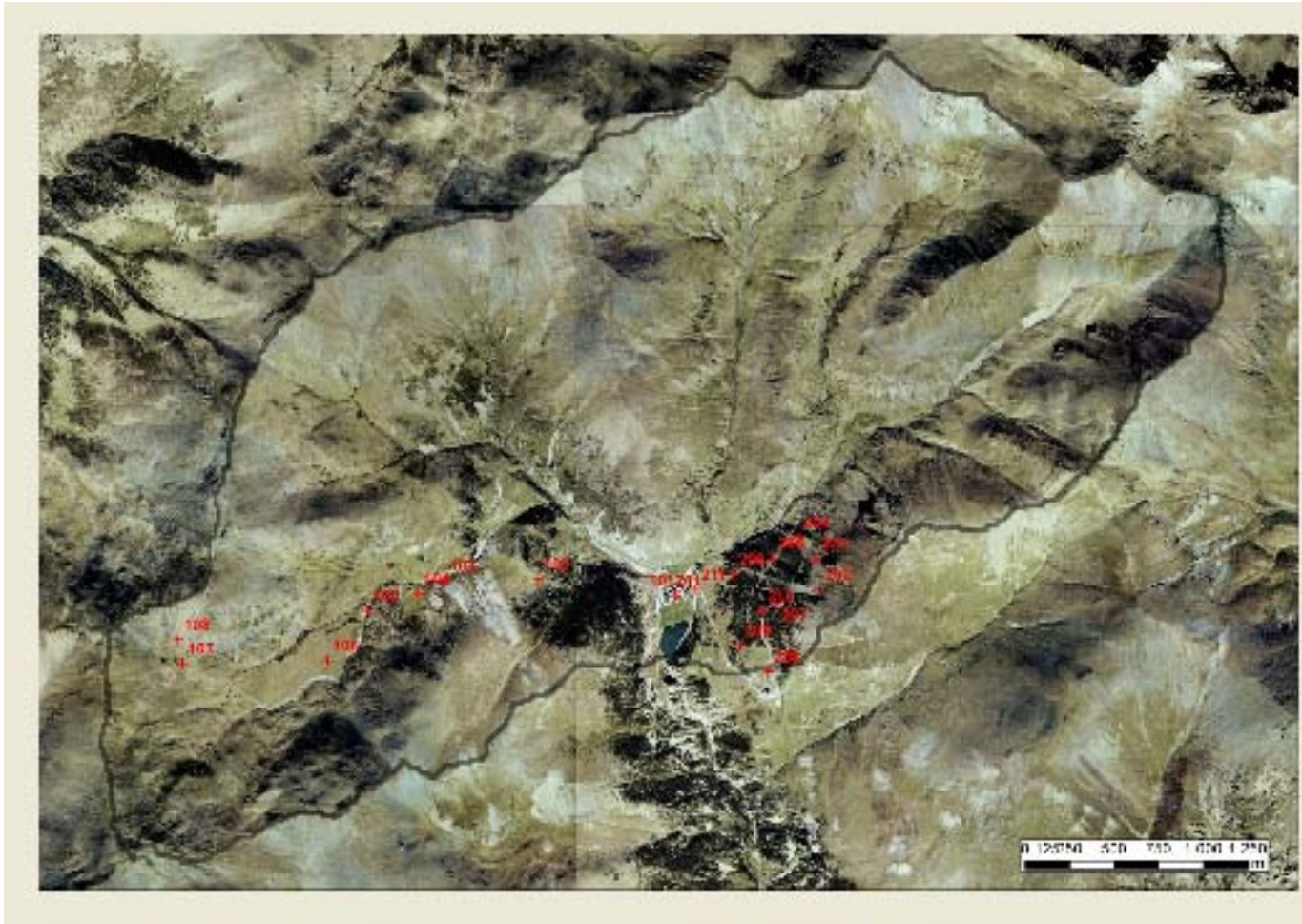
Dades de camp

Metodologia: Feines realitzades

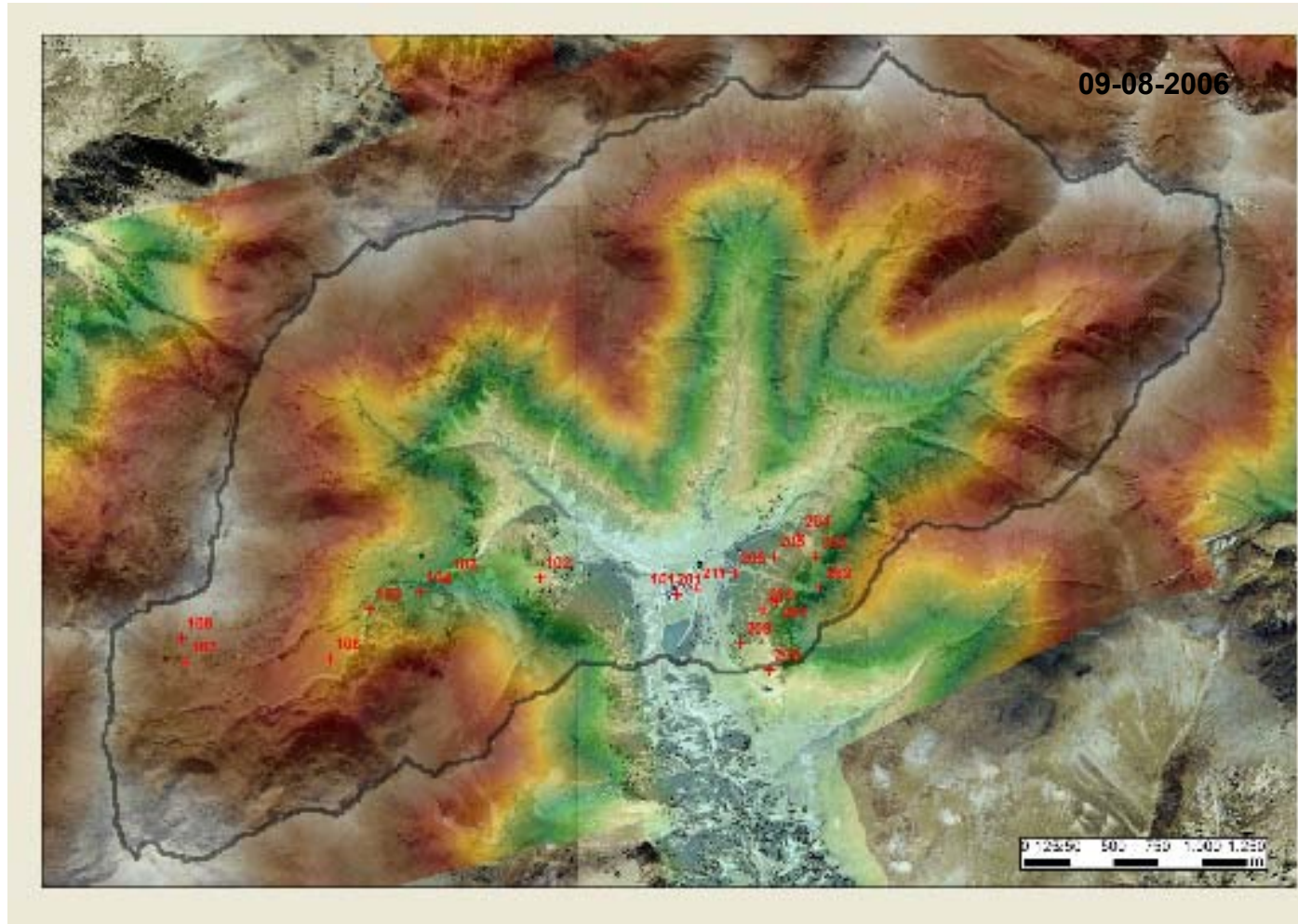


Dades de camp

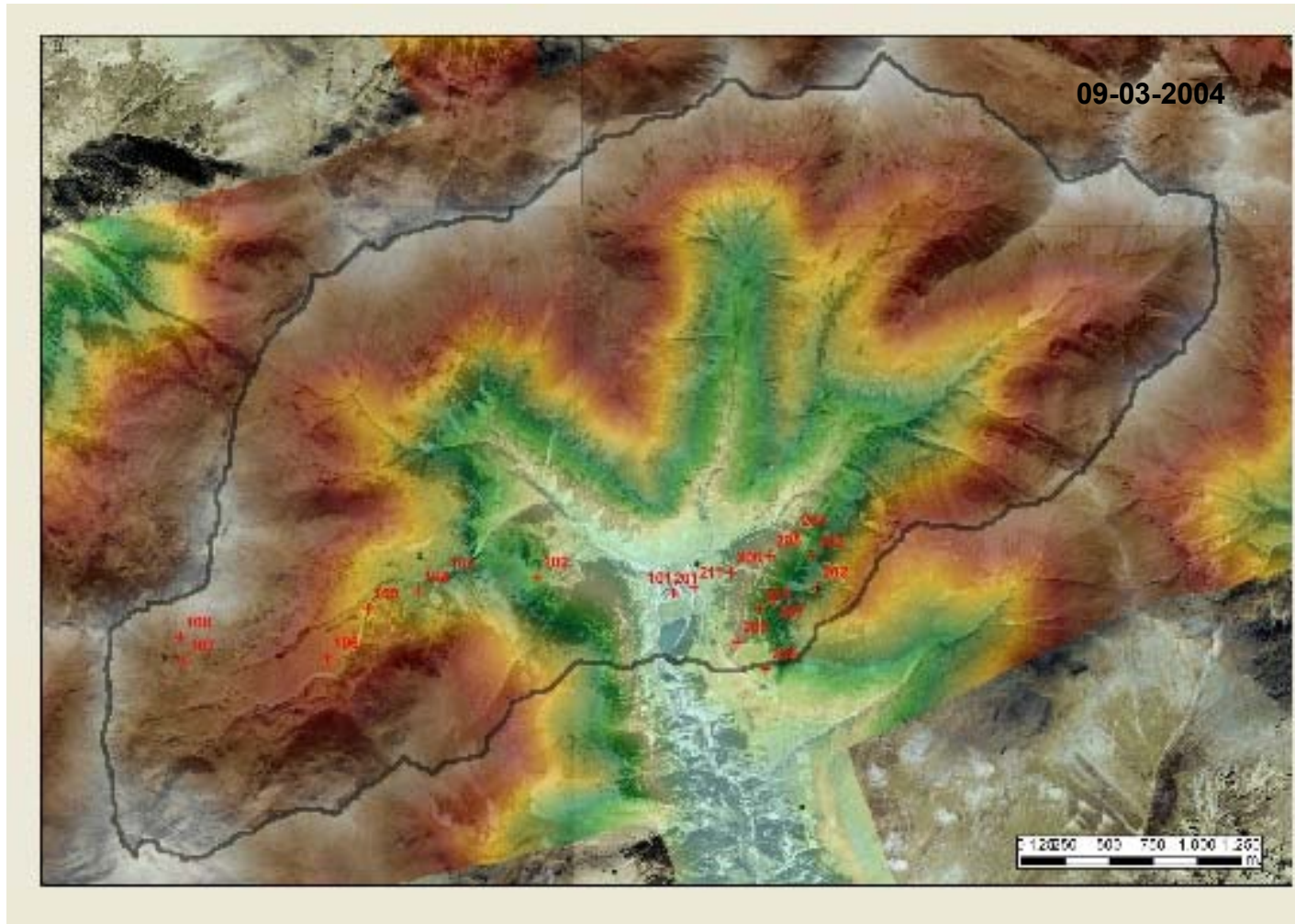
Metodologia: Feines realitzades



Resultats: MDT

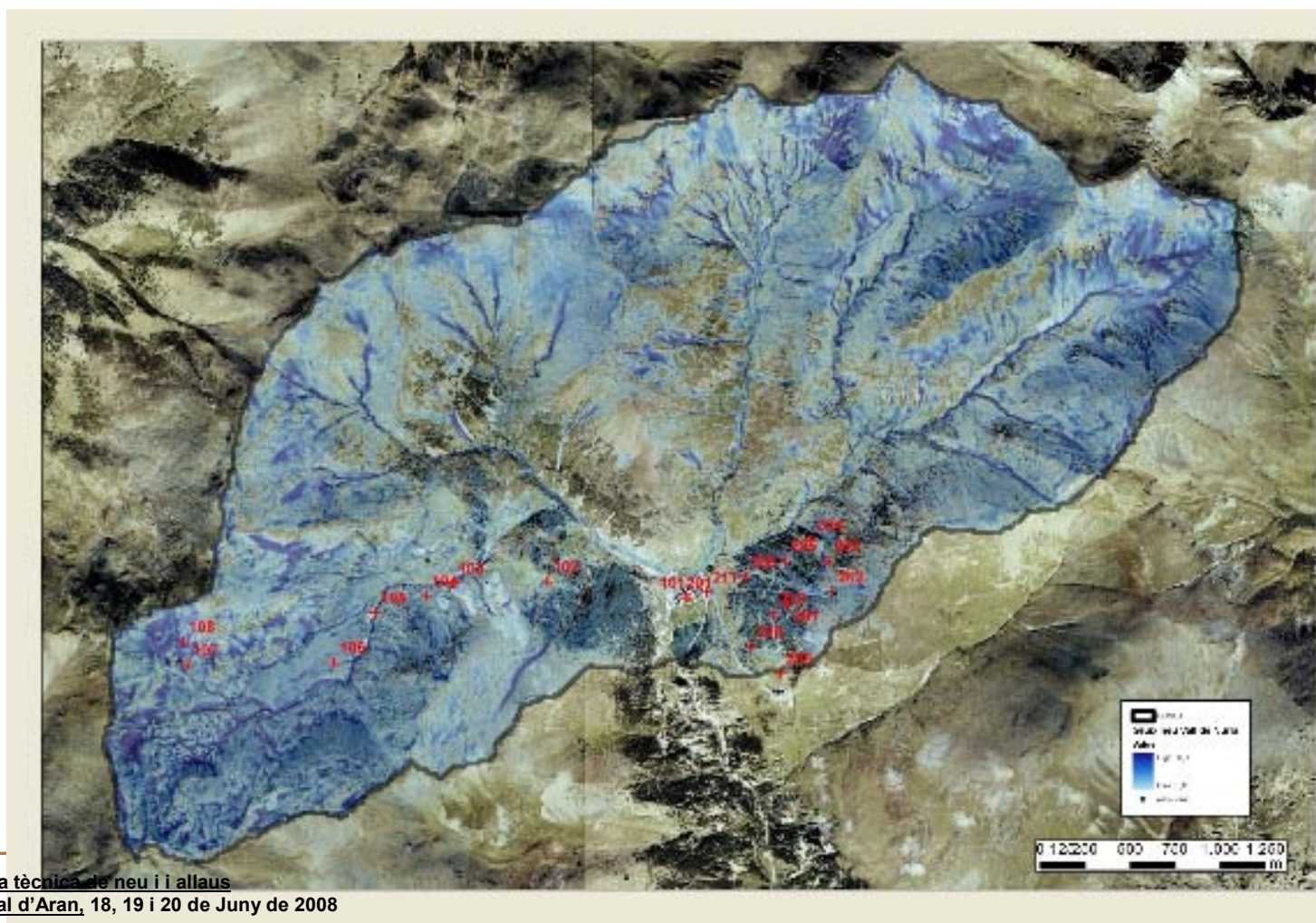


Resultats: MDT + mantell nival



Resultats: Distribució del mantell nival.

El càlcul del gruix de neu s'obté a partir de la diferencia positiva entre aquests dos models, de manera que ens queda un MDT que representa la distribució i gruix del mantell nival, que podem representar com a un mapa d'isòpaques del gruix de neu.



Resultats:

El mantell nival obtingut representa de manera global la distribució coneguda de la neu, però al validar-lo amb les dades obtingudes al camp, s'observa un error significatiu.

El fet de disposar de pocs punts de validació de camp fa que aquests resultats siguin tan sols orientatius, i no permetin extreure grans conclusions.

Part d'aquests errors venen condicionats per les relacions geomètriques entre la trajectòria de l'avió, el sistema d'escaneig, i l'orografia irregular de l'àrea d'estudi (Deems 2006).

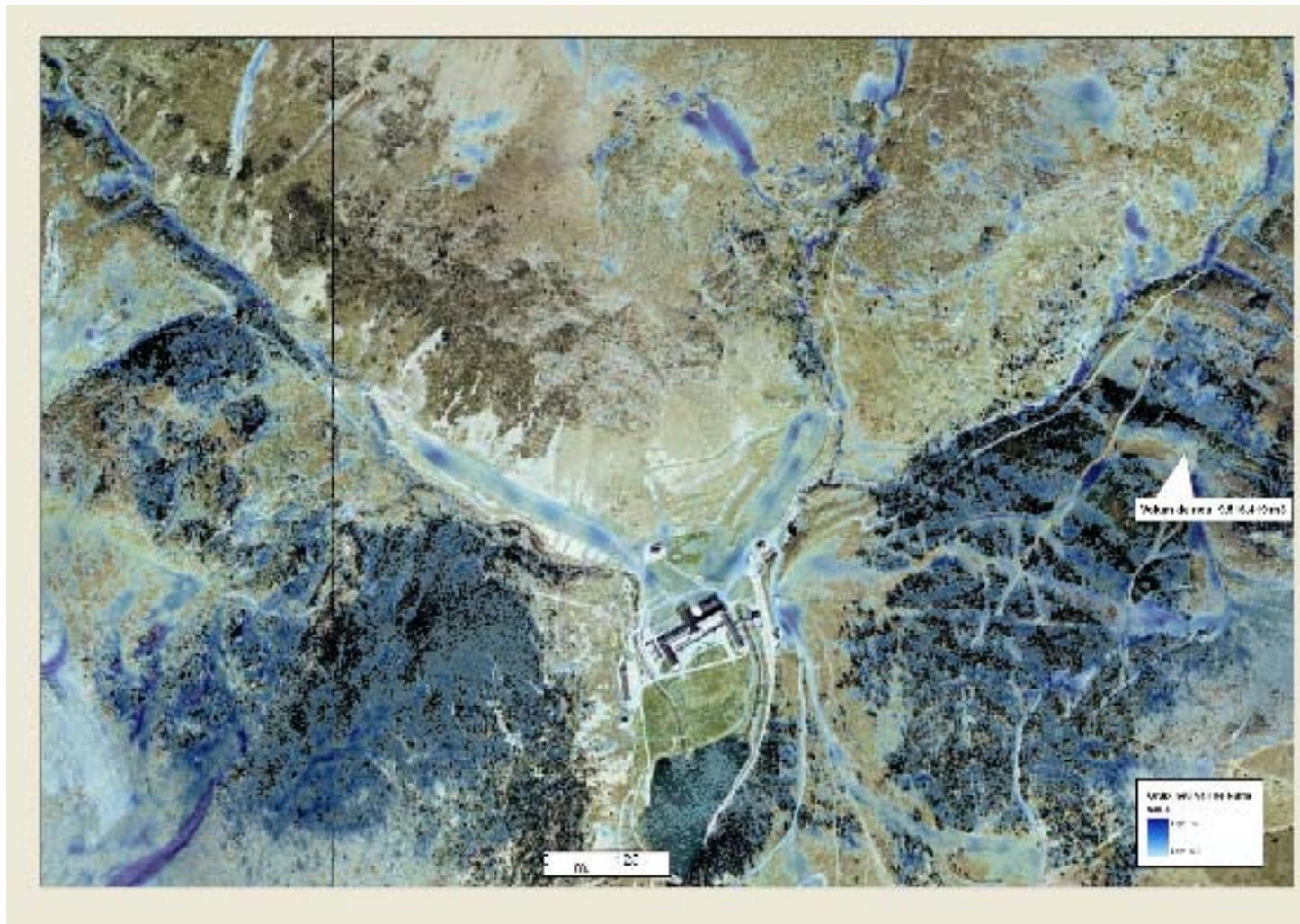
Malgrat això es pot dir que:

Metodologia i Resultats

1. Hi ha correlació entre els gruixos mesurats sobre el terreny i els gruixos mesurats amb el LiDAR (Coeficient de correlació de **0.71**). Aquesta correlació fa que globalment el resultat sigui esperançador. Atenent a la mitjana, el gruix és sobreestimat de l'ordre d'un 20 %.

punts_CODI	MEAN_DTM (m)	GRUIX_CAMP (cm)	MEAN_GRUIX (m)	MEAN_SLP (°)	MEAN_ORI (°)	ERROR	
						ABSOLUT (cm)	RELATIU (%)
101	2015.77	0.00	0.06	3.28	168.41	6.31	6313729.87
102	2214.11	32.50	0.96	21.70	101.93	63.90	196.61
103	2286.73	178.00	1.37	28.42	168.21	-41.41	-23.26
104	2332.46	62.50	0.61	10.02	139.36	-1.63	-2.60
105	2394.20	182.00	2.57	20.99	187.95	75.05	41.24
106	2492.89	66.00	0.82	11.94	67.07	16.43	24.90
107	2675.59	60.50	0.41	10.76	177.94	-19.99	-33.04
108	2702.44	54.50	1.80	27.88	219.82	125.27	229.86
201	2015.80	0.00	0.00	2.97	162.11	-0.24	-2410600.08
202	2307.60	107.00	1.47	14.55	296.41	40.35	37.71
203	2242.23	84.00	0.46	33.90	318.30	-38.12	-45.38
204	2175.63	93.00	0.54	19.76	270.86	-39.44	-42.41
205	2152.86	126.00	0.67	10.20	276.85	-58.95	-46.78
206	2091.53	16.00	0.16	24.13	282.81	-0.46	-2.88
207	2234.06	28.00	0.88	20.51	292.86	59.59	212.82
208	2184.95	46.00	0.51	6.40	214.87	4.84	10.51
209	2133.13	11.00	-0.02	20.30	284.28	-12.62	-114.69
210	2207.22	14.50	0.59	20.64	306.69	44.79	308.92
211	2023.25	8.00	0.50	9.15	208.73	42.46	530.77

Neu artificial: canons de neu



2. Pel que fa a l'error existent, no s'ha trobat una relació clara entre aquest i les variables del terreny que en poden ser les causants:.

Coeficient de correlació entre la cota i l'error absolut

0.33

Coeficient de correlació entre el gruix real i l'error absolut

-0.18

Coeficient de correlació entre el pendent i l'error absolut

0.14

Coeficient de correlació entre l'orientació i l'error absolut

-0.13

Respecte a la obtenció de dades

A grans trets, el model dona un bon resultat a nivell de distribució, però un error substancial a nivell de gruix. Cal acotar aquest error.

La campanya de camp realitzada no ha proveït de dades suficients per validar correctament els resultats preliminars. Caldrà, per tant, realitzar una nova campanya amb un plantejament més eficient a nivell d'obtenció de dades.

Consideracions de cara a les properes campanyes:

Treballar a menys resolució espacial ($> 1\text{m}$)

Treball de camp amb precisions mètriques (no submètriques)

determinació trajectòria de vol òptima

Respecte al model de distribució

Actualment s'està treballant en una classificació supervisada per extrapolar les dades obtingudes a partir del vol LiDAR, a altres zones no cartografiades. Amb això s'obtindrà un model de distribució que ha de permetre establir la superfície innivada i la seva potència als Pirineus, volant tan sols una zona representativa.

Moltes Gràcies