

RECERCA DE NOVES APLICACIONS DE DADES SATEL·LITALS.
ANÀLISIS I PROJECCIÓ DE DADES EN UNA PLATAFORMA FÍSICA DE
GESTIÓ DE RISCS (HAToM®). EN L'ÀMBIT DE LA VALL DE RUDA.

TREBALL FINAL DE MÀSTER



Autor: Arnau Ferràndiz Ensesa

Tutor: Jordi Corbera Simón

Juliol de 2019

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

RESUM

Aquest treball acadèmic de final de màster descriu els processos i resultats, dins del camp de la teledetecció i prevenció de riscos, desenvolupats en el projecte HAToM, durant l'estada de pràctiques a l'empresa Tinkerers Lab S.L.

El projecte se centra en la recerca i anàlisi de dades geoespaciales per a la seva projecció en un model topogràfic 3D físic. L'estudi es realitza en l'àmbit de la Vall de Ruda, a la Vall d'Aran, i es focalitza en el seguiment i la visualització de les cobertes nevades i dels episodis d'allaus. D'aquesta manera es pretén incorporar nova informació a la plataforma HAToM per tal de millorar els seus serveis en matèria de divulgació, prevenció de riscos i gestió del territori en zones alpines i subalpines. Per elaborar aquesta informació, per una banda, es fan servir imatges satèl·lit de Landsat (USA) i de Sentinel (EU) i per l'altra banda informació d'allaus de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Paraules clau: Teledetecció, Neu, Allaus, Sentinel, Landsat, Pirineu, SIG, ICGC.

RESUMEN

Este trabajo académico de final de máster describe los procesos y resultados, dentro del campo de la teledetección y prevención de riesgos, desarrollados en el proyecto HAToM, durante la estada de prácticas en la empresa Tinkerers Lab S.L.

El proyecto se centra en la investigación y análisis de datos geoespaciales para su proyección en un modelo topográfico 3D físico. El estudio se realiza en el ámbito del valle de Ruda en la Vall d'Aran, y se focaliza en el seguimiento y visualización de las cubiertas nevadas i de los episodios de aludes. De esta forma se pretende incorporar nueva información a la plataforma HAToM para mejorar sus servicios en materia de divulgación, prevención de riesgos y gestión del territorio en zonas alpinas y subalpinas. Para elaborar esta información, por un lado, se usan imágenes satélite de Landsat (USA) y Sentinel (EU) y por el otro lado información de aludes del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

Palabras Clave: Teledetección, Nieve, Aludes, Sentinel, Landsat, Pirineo, SIG, ICGC.

ABSTRACT

This academic Master's thesis describes the processes and results within the field of remote sensing and risk prevention, and was developed in the HAToM project during the course of an internship at Tinkerers Lab S.L.

The project focuses on research and analysis of geospatial data for its projection onto a 3D topographic model. The study case is carried out in Ruda's valley, in Vall d'Aran, and is focused on following and viewing snowy covers and avalanches. In this sense, the focus of this project is to include new information on the HAToM platform in order to improve their services in terms of disclosure, risk prevention and territory management in alpine and subalpine zones. To elaborate this information, Landsat (USA) and Sentinel (EU) satellite images are used, as well as avalanche information obtained from the Cartographic and Geologic Institute of Catalonia.

Keywords: Remote Sensing, Snow, Avalanche, Sentinel, Landsat, Pyrenees, GIS, ICGC.

AGRAÏMENTS

Vull agrair a en Jordi Corbera seu guiatge, a la Glòria Martí la seva disposició i a la Milena Orlandini per facilitar-me i fer-me tan còmoda l'estada de pràctiques. Moltes gràcies.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	5
2. PLATAFORMA HAToM	6
2.1 Objectius	7
2.2 Funcionalitats	7
2.3 Estat actual	8
3. DADES SATEL·LITALS	8
3.1 Conceptes bàsics de la teledetecció	8
3.2 Programa Copernicus	10
3.3 Programa Landsat	13
4. RECERCA D'APLICACIONS	14
4.1 Objectius	14
4.2 Drivers	14
4.3 Definició de l'objecte d'estudi	15
4.4 Definició de àmbit d'estudi	15
5. NEU I OBSERVACIÓ DE LA TERRA	17
5.1 Estat de l'art	17
5.2 La neu i la teledetecció en òptic	17
5.3 La neu i la teledetecció en radar i microones	18
5.4 Estructura del mantell nival i metamorfisme de la neu	19
5.5 Utilitat i aplicacions, de la visió 2D al 3D	20
6. METODOLOGIA	21
6.1 Flux de treball	21
6.2 Obtenció de dades	22
6.3 Preparació de dades	24
6.4 Generació de productes	27
6.5 Automatització de processos	28
6.6 Característiques de les dades d'allaus	29
7. PROCESSOS I RESULTATS	31
7.1 Coberta nival	32
7.2 Allaus al Pirineu	37
7.3 Projeccions 3D	42
7.4 Discussió dels resultats	44
8. CONCLUSIONS GENERALS	47
9. BIBLIOGRAFIA	48

1. INTRODUCCIÓ

Aquesta memòria s'emmarca dins del projecte final de la branca de Gestió del Màster de Geoinformació de la UAB i l'ICGC. En les següents pàgines s'explicarà el projecte HAToM® que s'està desenvolupant a l'empresa Tinkerers Lab, de quina manera es nodreix de dades geoespacionals i quin ha sigut el seu procés de selecció i preparació. També es farà una explicació general de les dades satel·litals i de quines són les principals fonts.

El projecte HAToM® és una plataforma física que agrupa eines de projecció, sensors de gestos, sistemes de realitat augmentada i un model topogràfic per tal d'oferir un servei de divulgació, gestió del territori, gestió d'emergències i d'altres. El paper de les dades geoespacionals en aquest projecte és fonamental, per una banda s'utilitzen dades d'elevacions i batimetria per crear els models topogràfics físics i per l'altra banda totes les dades projectades necessiten estar georeferenciades. El valor afegit d'aquest producte es rau en facilitar la comprensió i interpretació de les dades geoespacionals a través de la projecció i combinació de dades sobre el model topogràfic de la zona d'estudi. Les seves dimensions permeten que diverses persones puguin treballar, discutir i prendre decisions, sobretot quan es disposa de dades en temps real en situacions d'emergència.

Després de fer un primer anàlisi de amb quina tipologia de dades es podria treure un bon rendiment a la plataforma, es va decidir optar per l'estudi de la neu i la gestió de riscos d'allaus, tenint com a clients potencials els gestors dels parcs naturals o ajuntaments d'alta muntanya, pistes d'esquí, bombers, guàrdia civil de muntanya, equips de gestió de riscos de la generalitat, etc. D'aquest primer anàlisi es deriva el processament de, principalment, dues tipologies de dades: per una banda la monitorització de la superfície nival a través d'imatges satel·litals i l'anàlisi i representació les dades d'allaus a Catalunya (des de 1970 a 2015) cedides per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

En aquest treball es farà menció als diferents enfoccs que hi ha en el camp de la teledetecció per tal de monitoritzar la neu, de quins són els principals reptes a superar i de com s'ha aplicat aquest coneixement per desenvolupar una metodologia que s'adeqüi a les necessitats del projecte.

Referent al tractament de les dades, per obtenir l'aproximació de la superfície nevada s'han utilitzat dades de Sentinel-2, Landsat-7 i Landsat-8 i s'han elaborat i automatitzat processos GIS, basats en l'Índex de Neu de Diferència Normalitzada (NDSI) i pel que fa a les allaus, s'han realitzat estudis de freqüència, localització, orientació i geomorfologia. El tractament d'aquestes dades, la seva combinació i visualització aporta una visió més completa de l'estat de la neu en el nostre territori que ens permet prendre millors decisions.

2. PLATAFORMA HAToM

HAToM (High Accuracy TOPographic Model) és un projecte que neix l'any 2015 a l'empresa Tinkerers Lab (provinent de la incubadora de l'Agència Espacial Europea) i consisteix en una plataforma immersiva i interactiva que permet traduir entorns 3D complexes i dades geoespaciales en un llenguatge més compensat i universal: el visual. Comprendre la informació d'una forma més ràpida i eficaç podem prendre decisions i planificar d'una forma més eficient.

La plataforma està composta de hardware, software i un model topogràfic 3D (de poliuretà d'alta densitat) sobre el qual es projecta, en alta resolució, diferents tipologies de dades. Aquestes dades (capes) projectades poden ser de tipus ràster o vectorial: imatges satèl·lit, rutes, punts d'interès, divisions administratives, etc. En definitiva qualsevol informació georeferenciable, ja siguin dades emmagatzemades o en temps real. La projecció de les capes es dinàmica permetent constantment combinar diferents tipus d'informació, fins i tot amb les de temps real, per tal d'adequar-se a les necessitats del moment.

HAToM és un producte-servei fet a mida per a cada client, tots els seus elements són personalitzables: les dimensions, l'escala, les funcionalitats o la instal·lació.



Procés d'elaboració del model topogràfic utilitzant una fresadora automatitzada



Prototip del HAToM de Cap de Creus. Mostra l'altimetria i batimetria de la zona.



Prototip del HAToM de Cap de Creus. Mostra l'altimetria i dades de vent en temps real.

2.1 Objectius

Tinkerers Lab ha analitzat les problemàtiques existents en matèria d'interpretació de dades per a la presa de decisions:

- Interpretar una gran quantitat de dades en situacions crítiques es pot traduir en pèrdues tant de vides humanes com de recursos naturals o infraestructures.
- Gran inversió de temps en la interpretació d'informació complexa que, sobretot quan es tracta d'equips multidisciplinars treballant en situacions de riscos.
- No tothom té la capacitat d'interpretar complexos entorns digitals 3D.
- Els llenguatges especialitzats poden resultar en problemes de comprensió i comunicació en equips multidisciplinars.

A partir d'aquestes problemàtiques es marquen uns objectius per poder solucionar-les:

- Simplificar dades i gràfics complexes.
- Facilitar el treball en equips multidisciplinars.
- Reduir el temps de processament de dades.

2.2 Funcionalitats

A banda del mòdul principal de processament 3D de dades i projecció, la plataforma ofereix altres mòduls de funcionalitats que es poden afegir depenent de les necessitats de cada client:

- Posicionament en temps real. Projecció en temps real de la posició de vehicles, persones, animals, etc.
- Interactivitat. Sensors de gestos que permeten treballar amb "mans lliures" a la plataforma i n'augmenta l'accessibilitat.
- Dades meteorològiques en temps real.
- Realitat augmentada. Permet augmentar el nombre de capes a combinar i fer "zoom" en el territori.
- Realitat virtual. Permet explorar zones de manera immersiva per reconèixer el territori.
- Simulacions de vídeo. Processament de dades històriques per elaborar animacions.

- Connectivitat. Solucions de connectivitat per a instal·lacions aïllades.
- Autonomia energètica. Font d'energia alternativa.

2.3 Estat actual

Actualment el projecte es troba en la fase final del seu desenvolupament, la major part de les seves funcionalitats ja es poden implementar i s'està acabant el mòdul de realitat augmentada. A l'actualitat l'empresa té dos prototips funcionals, un del Cap de Creus i un altre de Castelldefels i el Garraf. Es preveu que abans de finals d'any ja s'hauran construït dos productes finals, un d'una zona urbana i l'altre d'una zona del Pirineu.

3. DADES SATEL·LITALS

Com ja s'ha dit anteriorment, gran part del treball es basa en la utilització de dades satel·litals, concretament imatges dels satèl·lits d'observació de la Terra de la missió europea Copernicus i de la missió estatunidenca Landsat. En aquest apartat es farà una breu explicació de conceptes bàsics del camp de la teledetecció, es descriuran els satèl·lits utilitzats i les seves característiques principals i s'explicarà el procés de decisió de la selecció de plataformes satel·litals d'observació de la Terra.

3.1 Conceptes bàsics de la teledetecció

El camp de la teledetecció, enfocat a l'observació de la Terra, es basa en dades de sensors que proveeixen informació, que un cop corregida i processada ens permet descriure, analitzar i interpretar el nostre entorn d'estudi.

Hi ha molta diversitat de sensors i plataformes (allà on s'acoblen els sensors), aquesta diversitat ens permet estudiar fenòmens i territoris diferents (o el mateixos des de diferents angles). Per una banda tenim sensors actius i sensors passius: els sensors actius són aquells que emeten algun tipus d'ona i en recullen el rebot sobre les entitats observables, alguns exemples són els sensors de tipus radar que emeten ones de radio, de tipus sonar que emeten ones de so o de tipus lidar que emeten llum, tots aquests sensors extreuen informació de la intensitat i recorregut del rebot, entre d'altres.

Els sensors passius no emeten, només recullen el rebot de, per exemple, la radiació solar en la superfície de la Terra. Un exemple molt proper és el nostre sistema visual, els ulls capten la informació de la llum rebotada en els objectes i el nostre cervell la processa per visualitzar el nostre entorn físic. Un exemple més enfocat a la teledetecció són els sensors multispectrals (com el CASI, MSI, OLI, etc.) que ens permeten crear ortofotomapes i obtenir dades en l'espectre no visible de la llum, més endavant hi entrarem en més detall.

Per l'altra banda, tenim les plataformes, són el suport dels sensors, poden ser de moltes tipologies, per exemple: estàtiques a la superfície terrestre (ex. estacions meteorològiques), plataformes aèries (com drons o avions), plataformes espacials (com els satèl·lits o les estacions espacials), etc.

Generalment el disseny de sensors i plataformes sempre es fa tenint en compte ambdues parts, i la combinació de tipus de sensors i tipus de plataformes aporta riquesa a l'hora d'obtenir informació.

En el cas dels sensors multiespectrals muntats en satèl·lits, que són els més utilitzats en aquest treball, la obtenció de la informació es basa en l'anàlisi de les diferents bandes de l'espectre electromagnètic (Figura 3.1) de la llum rebotada. Els sensors "escombren" el territori generant imatges i assignen un valor, a cada píxel de la imatge, en funció de la intensitat del rebot en una amplada d'ona determinada. La combinació dels rebots per a cada amplada d'ona ens permet detectar agrupacions de píxels amb característiques similars i gràcies al posterior treball de camp podem catalogar aquestes agrupacions de píxels.

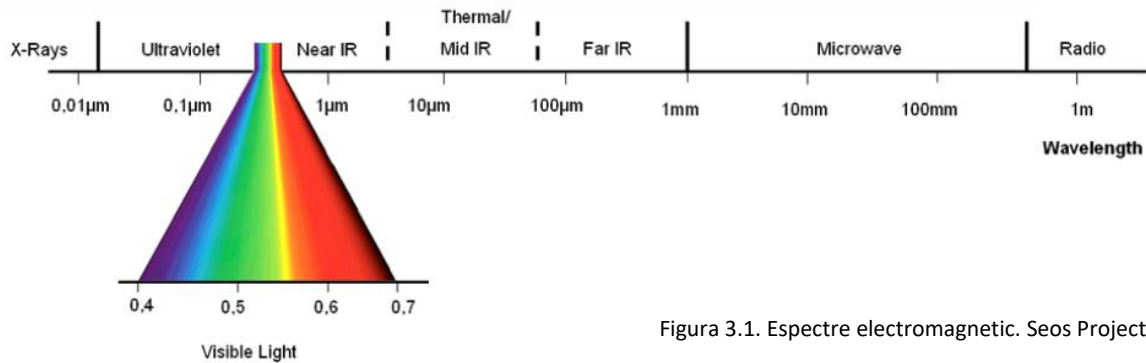
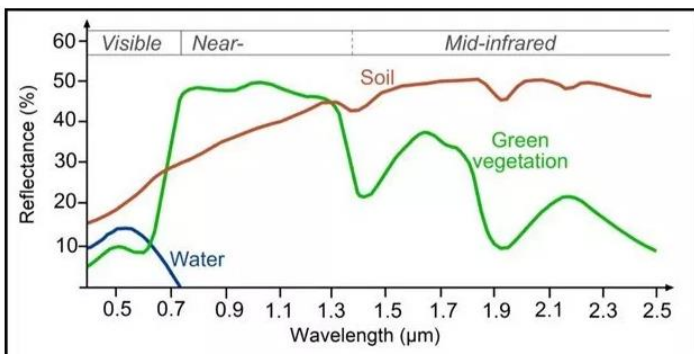


Figura 3.1. Espectre electromagnètic. Seos Project

Els objectes (edificis, conreus, vegetació forestal, masses d'aigua, etc.) reflecteixen de forma diferent a la llum, gràcies a això nosaltres visualment podem distingir la gespa de l'asfalt, o l'aigua de la sorra. De la mateixa manera amb la teledetecció podem distingir objectes però tenint en compte radiació més enllà de l'espectre visible i, d'aquesta manera, podem detectar per exemple l'estat de salut de la vegetació. Com hem dit, cada objecte reflecteix la llum d'una manera determinada i singular, aquest fenomen s'anomena signatura espectral i és el que ens permet diferenciar-los.

Per exemplificar-ho, a continuació podem veure la signatura espectral de l'aigua, la signatura espectral de la vegetació activa i la del sòl nu (Figura 3.2). Observem que les corbes són completament diferents, en el cas de l'aigua reflecteix principalment en les amplades de banda més curtes, en el visible, sobretot en el verd i absorbeix la major part de la radiació infraroja. En canvi la vegetació, té poca reflectància en el visible (la majoria d'aquesta en el verd) i la reflectància es dispara en l'infraroig proper (NIR). Per últim, el sòl nu mostra unes reflectàncies majors a mesura que augmenta l'amplada de l'ona.



La diferència d'aquestes corbes ens permet diferenciar la vegetació de les masses d'aigua i del sòl nu.

Figura 3.2. Exemple de diverses signatures espectrals. Seos Project

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

En resum, un cop obtenim informació de cada banda espectral en cada píxel, podem diferenciar-los els uns dels altres i generar, per exemple, un mapa de cobertes del sòl en el qual s'agrupen els píxels segons la tipologia de la superfície, distingint per exemple zones urbanes denses de zones d'eixample o polígons industrials; distingint boscos de coníferes d'alzinars; zones de conreus actius d'inactius; etc.

En aquest treball s'utilitzen dades dels sensors multiespectrals dels satèl·lits Sentinel-2, Landsat-7 i Landsat-8. Les seves característiques i singularitats s'expliquen en els següents dos apartats.

3.2 Programa Copernicus

Copernicus és el programa d'Observació i Monitorització de la Terra de la Unió Europea, coordinat i gestionat per la Comissió Europea i implementat per l'Agència Espacial Europea (ESA), l'Organització Europea per a l'Explotació de satèl·lits Meteorològics (EUMETSAT), governs europeus i empreses privades (com Airbus). El seu objectiu principal és proveir d'informació geoespacial processada a governs, ciutadans i empreses. El programa Copernicus disposa de constel·lació de satèl·lits pròpia, anomenada Sentinel, com a principal font de dades.



El programa es subdivideix en sis grans àmbits temàtics: Atmosfera, Marí, Sòl, Canvi Climàtic, Seguretat i Emergències. Aquests sub-programes es dediquen al seguiment, anàlisi i monitorització del seu àmbit temàtic i generen una gran quantitat de productes i serveis a partir de la combinació de dades Sentinel amb altres fonts, com satèl·lits de posicionament (GNSS, GPS, etc.), sensors de terra, imatges aèries, dades històriques i moltes més. La majoria d'aquests productes processats es poden obtenir en els portals web i APIs de cada àmbit temàtic però tenen diferents nivells d'accessibilitat. Les imatges sense processar de la constel·lació Sentinel són accessibles a través del portal Open Data Hub de Copernicus.

La constel·lació Sentinel actualment disposa de 7 satèl·lits en 4 missions, en la següent taula podem observar-ne les característiques generals:

Missió	Nº Satèl·lits	Tipus d'òrbita i ràdi	Ràdi de l'òrbita*	Resolució temporal	Tipus de sensors	Tamany de píxel**	Nº de bandes	Rang d'amplituds
Sentinel 1	2	Polar	693 km	6 dies	SAR (Radar)	20 m		
Sentinel 2	2	Heliosincrona	786 km	5 dies	MSI (Multiespectral)	10 - 60 m	13	0,443 - 2,19 µm
Sentinel 3	2	Heliosincrona	814,5 km	13 dies	OLCI (Multiespectral)	300 m	21	0,4 - 1,02 µm
					SLSTR (Tèrmic)	500 - 1.000 m	9	0,55 - 12 µm
					SRAL (Radar)	300 m		
Sentinel 5P	1	Heliosincrona	824 km	16 dies	MWR (Radiometre Microones)			
					TROPOMI (Espectrometre)	7.500 m	8	0,27 - 2,385 µm

Dades extretes de l'Agència Espacial Europea * Distància a la superfície terrestre ** Tamany de píxel en el nadir

- Missió Sentinel 1: Composta per dos satèl·lits, Sentinel 1A (2014) i Sentinel 1B (2016), equipats amb sensors Radar d'Obertura Sintètica (SAR) que els hi permet obtenir informació

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

tant de dia com de nit i encara que hi hagin núvols. Cada satèl·lit passa per la mateixa zona de la superfície de la Terra cada 12 dies i com que comparteixen el mateix pla orbital però amb una diferència de fase de 180° podem tenir la cobertura d'una mateixa zona cada 6 dies.

Les principals aplicacions són les àrees de monitorització de cobertes forestals, masses d'aigua, sòls i agricultura. També té funcions importants en matèria marítima com la detecció i seguiment d'icebergs, vaixells, vessaments de cru, etc.



Model 3D dels satèl·lits Sentinel 1. ESA

- Missió Sentinel 2: Composta per dos satèl·lits, Sentinel 2A (2015) i Sentinel 2B (2017), equipats amb un sensor multiespectral MSI de 13 bandes que els hi permet recollir informació de l'espectre electromagnètic de la llum rebotada en la superfície de la Terra. De la mateixa manera que en la missió Sentinel 1, cada un dels satèl·lits té un període orbital de 10 dies però degut al decalatge entre satèl·lits podem obtenir imatges cada 5 dies. La seva resolució de 10, 20 i 60 metres de costat de píxel els fa idonis per treballar a nivell regional o nacional però treballar a escala continental o planetària suposa gestionar una enorme quantitat de dades. Està enfocat a la monitorització de la superfície emergida de la terra sense cap temàtica específica.



Model 3D dels satèl·lits Sentinel 2. ESA

- Missió Sentinel 3 i Sentinel 5: Aquestes dues missions es caracteritzen per estar enfocades a una escala continental i/o planetària. Les seves respectives resolucions permeten obtenir

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

í treballar amb informació de gran extensions fàcilment. Els sensors del Sentinel 3 estan dissenyats principalment per estudiar les dinàmiques marines i els del Sentinel 5 per estudiar les dinàmiques atmosfèriques.



Model 3D dels satèl·lits Sentinel 3. ESA



Model 3D del satèl·lit Sentinel 5P. ESA



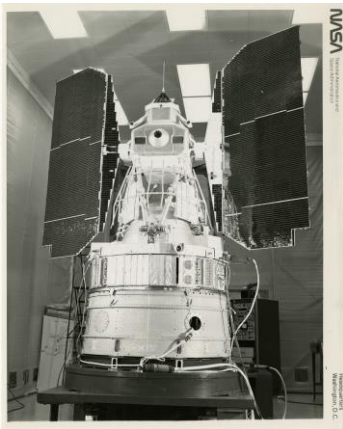
Cronograma de les missions espacials de Copernicus. ESA

3.3 Programa Landsat

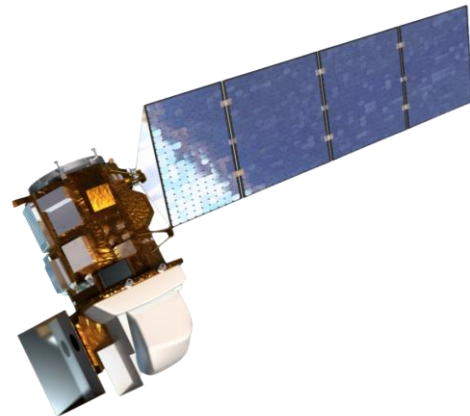
El programa Landsat, nascut als anys 70, actualment està gestionat i implementat per la NASA i l'USGS, té com a objectiu d'obtenir imatges de la Terra. L'any 1972 va llançar el seu primer satèl·lit (Landsat 1) equipat amb un sensor multispectral de 4 bandes, 80 metres de costat de píxel i una resolució temporal de 18 dies (NASA), les mateixes característiques que els seus predecessors el Landsat 2 (1975) i Landsat 3 (1978). Va ser amb els llançaments del Landsat 4 (1982) i Landsat 5 (1984) quan hi va haver un canvi substancial en la informació recollida, amb un sensor multispectral de 7 bandes que inclouen des del visibles fins als infraroigs d'ona curta, amb una resolució espacial de 30 metres i una resolució temporal de 16 dies.



Els últims models, el Landsat 7 (1999) i el Landsat 8 (2013) incorporen un sensor tèrmic que ens permet estudiar el territori des d'una nova perspectiva. Tots els satèl·lits Landsat tenen es focalitzen en una escala i tipus d'informació similar (podríem dir que les mateixes que Sentinel 2). El govern dels Estats Units té altres constel·lacions de satèl·lits d'observació de la Terra, generalment gestionades per la NASA i la NOAA, focalitzades a l'estudi marítim i de l'atmosfera (similar als Sentinel 3 i 5P).



Fotografia del Landsat 1. NASA



Model 3D del Landsat 8. NASA



Cronograma de les missions Landsat. USGS

4. RECERCA D'APLICACIONS

En aquest apartat s'explicarà quins ha sigut els procés seguit per definir les dades a treballar i projectar en la plataforma HAToM. S'ha realitzat un treball d'assessorament i recerca ja que els impulsors del projecte no tenien definit l'àmbit ni les característiques del nou prototip a desenvolupar.

4.1 Objectius

Per definir les dades a treballar es van establir uns objectius generals:

- Augmentar la tipologia de clients.
- Utilitzar dades satel·litals.
- Utilitzar una escala més gran o igual a 1:10.000
- Augmentar l'interès en la plataforma.
- Treure el màxim rendiment de les característiques de la plataforma HAToM.
- Crear vincles o sinèrgies amb empreses i/o institucions.

4.2 Drivers

Per tal de complir els objectius, s'ha dut a terme un anàlisi dels *drivers*, o fortaleses, dels elements principals que intervenen en la recerca, és a dir les fonts de dades i la plataforma de projecció.

Per una banda tenim una plataforma la qual se'n pot treure un màxim rendiment i utilitat en zones amb una orografia complexa, com que la plataforma topogràfica es fressa a partir del model d'elevacions les zones planes com els deltes o grans zones de conreus destaquen poc i el fet de tenir un model 3D no aporta tant valor. En canvi en les zones orogràficament més complexes la recreació 3D aporta un valor afegit a l'hora de representar-hi dades al damunt.

Per tant el primer *driver* que s'estableix és que l'objecte d'estudi ha de tenir una relació important, o singular, amb zones orogràficament complexes.

Com que es disposa de dades d'elevacions amb una mida de píxel de 2 x 2 metres es vol poder mostrar aquest detall en la plataforma i s'estableix una escala mínima de 1:10.000 i unes dimensions de la plataforma de 1 x 1,5 metres. Per tant estem parlant d'una àrea de com a molt 10 x 15 quilometres.

El segon *driver* és que les dinàmiques de l'objecte d'estudi siguin perceptibles a l'escala establerta.

Per l'altra banda tenim les característiques de les fonts de dades, en aquest pas ens hem centrat en dades de Sentinel 2. La missió Sentinel 2 aporta imatges multiespectrals cada 5 dies i amb una mida de píxel de 10, 20 i 60 metres de costat.

D'aquestes característiques extraïem els dos últims *drivers*:

Les dinàmiques de l'objecte d'estudi han de ser perceptibles amb una resolució de 10 – 20 metres.

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

La resolució temporal (5 dies) ha de ser significativa en l'objecte d'estudi, que sigui d'interès monitoritzar les seves dinàmiques cada 5 dies i que existeixi una relació amb la temporalitat. És a dir que l'objecte d'estudi ni requereixi una monitorització horària o diària (com per exemple els transports, nivells de contaminació, etc.), ni el contrari que no requereixi de monitorització constant (com per exemple les cobertes del sòl).

Amb tots aquest *drivers* es va configurar el següent repte: "Què és millor veure en 3D, amb una dinàmica temporal mitja-alta (5 dies) i una escala local (1:10.000 i 10-20 metres de píxel)."

4.3 Definició de l'objecte d'estudi

Cada un dels requeriments esmentats anteriorment ha servit per concretar cada cop més la zona i l'objecte d'estudi.

L'alt Pirineu català potser no és la zona orogràficament més complexa de Catalunya però cobreix sobradament les necessitats de la zona pel què fa a relleu. Un cop establert l'àmbit general s'ha elaborat un llistat de dinàmiques pròpies d'aquell territori i s'han sotmès a avaluació segons els requeriments, tal com mostra la següent taula (figura 4.1):

	DRIVERS			
	Visió 3D	Escala Local	Temporalitat	Resolució
Dinàmiques forestals	Verd	Verd	Verd	Verd
Dinàmiques edafològiques	Verd	Verd	Verd	Verd
Dinàmiques hidrològiques	Verd	Verd	Verd	Verd
Dinàmiques nivals	Verd	Verd	Verd	Verd
Dinàmiques agroramaderes	Verd	Verd	Verd	Verd

Figura 4.1: Taula d'avaluació de requeriments

L'elecció de les propostes d'objectes d'estudi s'ha realitzat tenint en compte el territori i també els objectius de l'empresa per tal d'incrementar l'interès de la plataforma i la diversitat de possibles clients. En aquesta taula (figura 4.1) s'observa que les dinàmiques nivals són les que més s'adeqüen a les necessitats del projecte i per tant esdevenen d'objecte d'estudi.

Les dinàmiques de la neu són variades i generalment complexes, degut a aquest fet s'ha optat per enfocar l'estudi en la monitorització de la superfície nevada, en el proper apartat es parlarà amb més profunditat de les dinàmiques de la neu i el motiu de l'elecció del tipus d'estudi.

Per augmentar les funcionalitat de gestió del territori i gestió de riscos s'ha cregut necessari treballar també una dinàmica de la neu tan singular com les allaus. Gràcies a un acord amb l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya hem pogut incorporar informació històrica (del 1970 al 2015) de les allaus produïdes a Catalunya i de les zones susceptibles d'allaus.

4.4 Definició de àmbit d'estudi

L'àmbit concret a representar s'ha definit seguit principalment els objectius d'augmentar la tipologia de clients, de treure el màxim rendiment a la plataforma i a la vegada tenir una zona singular en matèria d'allaus. És per aquests motius que s'ha escollit l'àmbit de la Vall de Ruda i el seu entorn més pròxim, és un entorn amb zones vulnerables i amb interessos públics i privats. Hi trobem zones

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

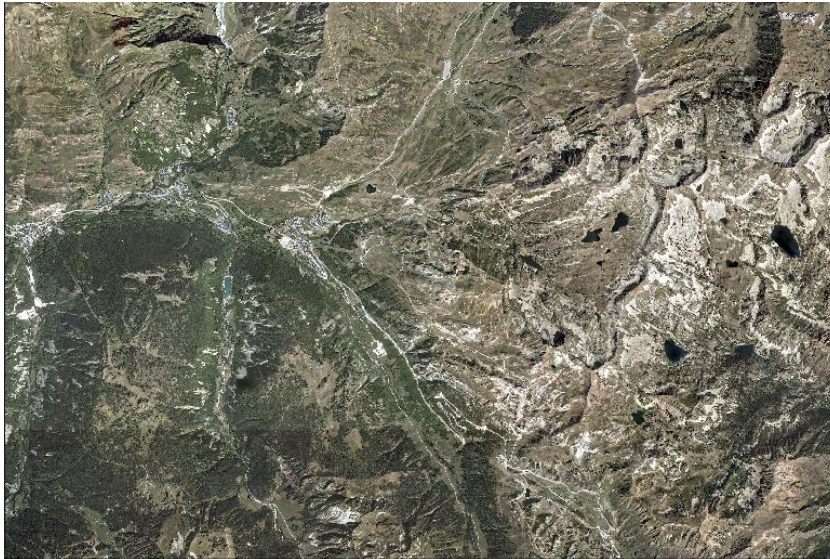
d'interès com el port de la Bonaigua, zones d'alta muntanya (pic de Marimanya, 2680 metres) del Parc Natural de l'Alt Pirineu, la presa d'Aiguamòg que proveeix a la central hidroelèctrica d'Arties, la pròpia població d'Arties, Salardú i Baqueira i finalment les pistes d'esquí de Baqueira-Beret.

Finalment s'ha optat per representar la informació a una escala de 1:8.000 en una plataforma de 1 x 1,5 metres, fent que l'àmbit d'estudi tingui una superfície de 96 km² (8 x 12 quilometres).

Coordenades ETRS89 UTM 31N:

Xmax: 4.732.835,1669 m Ymax: 338.797,4973 m

Xmin: 4.724.835,1669 m Ymin: 326.797,4973 m



Miniatúra de l'ortofotografia de l'àmbit d'estudi. Nord a dalt. Font: ICGC

Dir que, per descomptat aquest prototip de plataforma de la zona de la Vall de Ruda no estarà limitada exclusivament a aquestes dades. El potencial rau en poder combinar aquesta informació elaborada amb altres dades com per exemple climàtiques, usos del sòl, dades en temps real, etc.

5. NEU I OBSERVACIÓ DE LA TERRA

5.1 Estat de l'art

La monitorització de la neu i el gel és una temàtica d'interès creixent per a la teledetecció, sobretot en investigacions sobre canvi climàtic i sobre gestió del territori. L'estudi de la neu i la criosfera des de la teledetecció se centra principalment en l'estudi de la seva superfície i la seva evolució, d'aquesta manera podem obtenir dades de, per exemple, la regressió del gel àrtic o la posició d'icebergs. De tota manera, hi ha molts altres tipus d'investigacions relacionades amb la neu i les seves característiques, estudis a partir de dades satel·litals, sensors de terra i treball de camp se centren en monitoritzar la quantitat de neu (el volum i densitat) que hi ha en una determinada zona a partir de l'índex SWE (Snow Water Equivalent).

Generalment "l'estudi de la neu es realitza sobre grans masses de neu, a escala global, continental o nacional" (D. Andreas, 2012), degut a les característiques del satèl·lits usats i a l'objecte d'estudi. És per aquest motiu que els resultats sovint s'expressen amb dades aproximades, sobretot pel què fa als estudis de SWE. Quan es vol fer un estudi d'una zona amb més detall la riquesa de les dades satèl·lit disminueix dràsticament degut a la limitació imposada per la resolució espacial.

A continuació explicarem, amb més detall, quines han sigut algunes de les aproximacions de la teledetecció a l'estudi de la neu, diferenciant per una banda les que se centren en l'ús de sensors multispectrals i per altra banda les que usen sensors radar o de microones.

5.2 La neu i la teledetecció en òptic

La detecció de masses de gel i neu amb sistemes de sensors passius òptics se centra en la utilització de les bandes del visible i de l'infraroig per generar productes a partir de l'NDSI (combinació del verd i del SWIR) o a partir de la combinació de bandes d'infraroigs especialitzades en la neu. Aquesta última es genera a partir de dades de radiòmetres espectrals com el del sensor AVHRR de la NOAA dissenyat per recollir informació de certes amplituds d'ona estretament relacionades amb la signatura espectral de la neu, a part de bandes amb altres propòsits. La precisió dels productes de cobertes de neu amb aquest sensor és d'entre el 87 al 50% (A. Dietz et al, 2012).

Per generar els productes NDSI (Normalized Difference Snow Index) s'utilitzen sensors meteorològics com el MODIS del satèl·lit TERRA, amb un costat de píxel de 250, 500 i 1000 metres, per cobrir gran àrees de la Terra o sensors com l'MSI, ETM o OLI de Sentinel-2, Landsat-7 i Landsat-8 respectivament, per obtenir informació de més detall. Tant els satèl·lits Sentinel com els últims

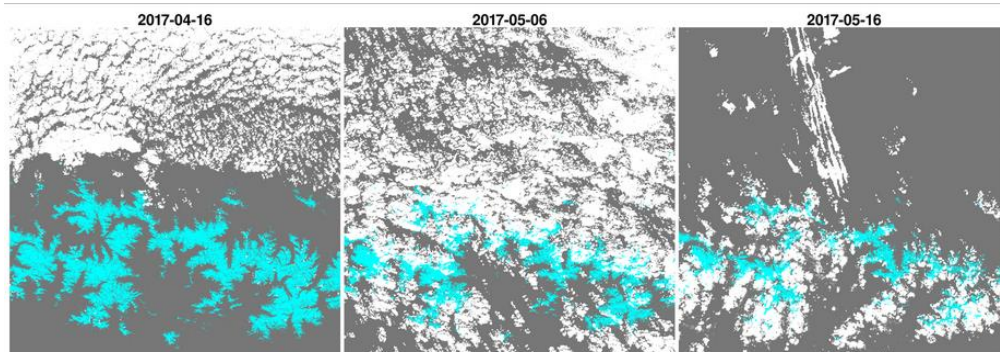


Figura 5.1: Tres mapes del Pirineu correlatius que mostren el percentatge de superfície coberta per la neu (cyan) i de núvols (blanc). CNES. S. Gascoïn et al 2019.

Landsat generen productes de la superfície de la neu de forma genèrica, en els quals podem accedir quan ens descarreguem les dades de nivell 2, són productes que es processen seguint un model estàndard i que generalment requereixen correccions per part de l'usuari per adequar-ho al seu cas d'estudi (ESA). El Centre Nacional d'Estudis Espacials (CNES) francès, a partir de dades de Sentinel-2 i Landsat-8, utilitza l'NDSI per generar mapes de cobertura de neu (Figura 5.1) més especialitzat i precisos dels Alps i els Pirineus, fins i tot eliminant certes zones de núvols, en format ràster i vectorial.

5.3 La neu i la teledetecció en radar i microones.

Amb els sistemes de sensors actius d'inferometria radar o de microones generalment s'estudia l'extensió però també la composició de les masses de neu o gel i es poden generar productes com el SWE. Amb el radar s'obté i es distingeix informació a partir de l'anàlisi de la retrodispersió (*backscattering*) i de la polarització de les ones de radio emeses en diferents freqüències. Generalment el *backscattering* de les diferents freqüències ens permet diferenciar les superfícies de gel o neu de la resta i amb la polarimetria podem diferenciar diferents composicions de la massa (N. Longépé, 2010), per exemple neu seca, neu humida, permafrost, etc.

Com diuen Andreas Dietz et al. (2012) el càlcul de la profunditat i característiques de la capa de gel, tant amb radar com amb microones, es realitza a partir de combinacions de dades de diferents freqüències i s'hi aplica un coeficient, de tota manera la seva fiabilitat és relativa ja que el coeficient a aplicar varia segons el gruix dels grans de neu, per tant la definició del gruix i la seva distribució són factors difícils de recollir, de forma completa, en les formules. Un altre problema és la inconsistència de la detecció de neu en superfícies arbustives i/o forestals per part del radar (J. Koskinen et al. 1999)

Amb aquestes tècniques d'inferometria radar, als anys 90 el govern finlandès va desenvolupar un programa de monitorització de les cobertes nevades del seu territori (Figura 5.2) utilitzant els satèl·lits SAR de la ESA, ERS-1 i ERS-2 (ja inoperatius), d'aquesta manera, entre moltes altres informacions, podien saber el volum susceptible de fondre's (neu humida) i la que s'ha fos (comparant els dies) i així gestionar millor el territori.

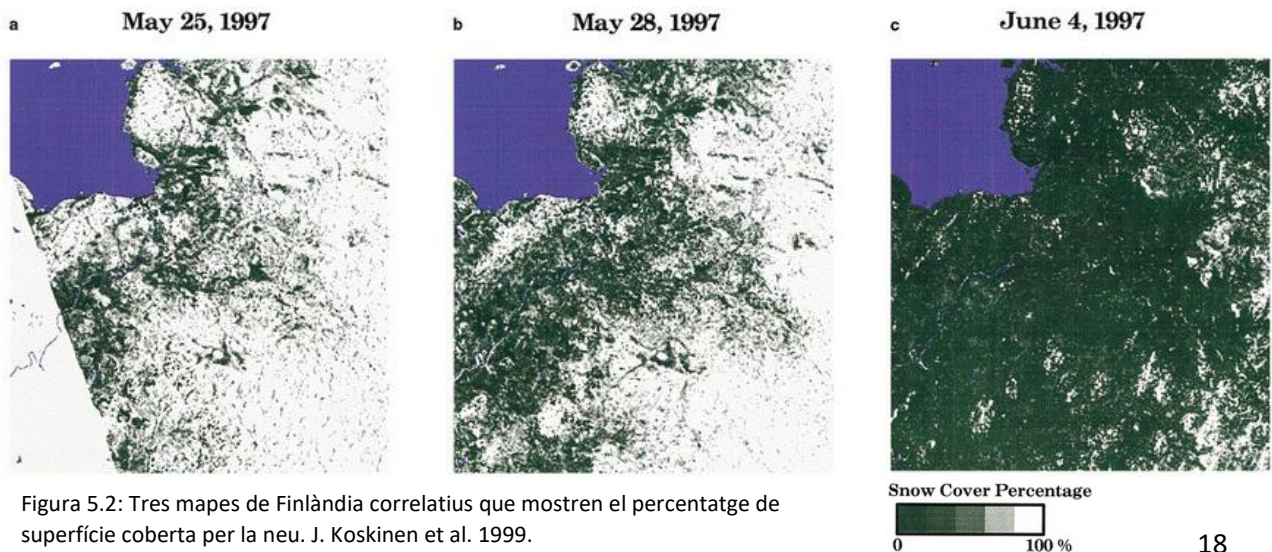


Figura 5.2: Tres mapes de Finlàndia correlatius que mostren el percentatge de superfície coberta per la neu. J. Koskinen et al. 1999.

5.4 Estructura del mantell nival i metamorfisme de la neu

En teledetecció és fonamental entendre l'objecte d'estudi per així poder reconèixer els factors determinants que mostren una relació amb la reflexió de la llum i d'aquesta manera generar coneixement que servirà per dur a terme l'estudi, o per descartar-lo.

La neu acumulada s'estructura en estrats donant forma al mantell nival, els diferents estrats són producte dels episodis de nevades i cada un d'ells presenta unes característiques morfològiques, termodinàmiques i mecàniques concretes. La diferent composició i gruix dels estrats determinen el grau d'estabilitat de la zona nevada i tenen una relació directa amb la possibilitat de que es puguin produir allaus. Les condicions meteorològiques modifiquen el mantell nival i la seva estabilitat.

Per determinar la composició i l'estructura del mantell nival s'utilitzen complementàriament dues tècniques: el sondeig per colpeix i el perfil estratigràfic. Aquestes tècniques ens permeten obtenir informació de la resistència, la tipologia dels grans i la temperatura de cada capa amb les quals s'elabora l'anàlisi d'estabilitat del mantell.

Primerament, es penetra la capa de neu amb una sonda cilíndrica (sonda Haefeli) i se'n calcula la resistència. Posteriorment, es realitza un tall vertical revelant els diferents estrats per tal de poder analitzar el tipus i diàmetre dels grans, la humitat, duresa i densitat. Finalment, es mesura la temperatura cada 10 centímetres, començant des de la superfície del mantell fins a la base, generant un perfil de temperatura. Totes aquestes dades es recullen en una fitxa (figura 5.3) i es representen ordenadament en funció de la profunditat. El perfil de resistència ens permet detectar i localitzar (en profunditat) zones amb poca cohesió i patrons d'inestabilitat, que quan es creuen amb el perfil de temperatura ens permet definir les zones més inestables. Un perfil de temperatura que està estretament lligat amb el metamorfisme de la neu, és a dir la forma i la composició dels grans de neu i com varia.

En el mantell nival podem diferenciar, a grans trets, entre dues tipologies de neu, la seca i la humida. La neu seca es troba a temperatures inferiors als 0 °C, en canvi la neu humida està a 0°C i a causa de les condicions exteriors o de la incidència dels raigs de sol es forma una pel·lícula d'aigua líquida al voltant dels grans. L'aigua fon els grans més petits i les parts convexes del grans de més mida i per un procés de cohesió capil·lar s'adhereix al grans i s'acaba congelant donant com a resultat grans rodons de gel.

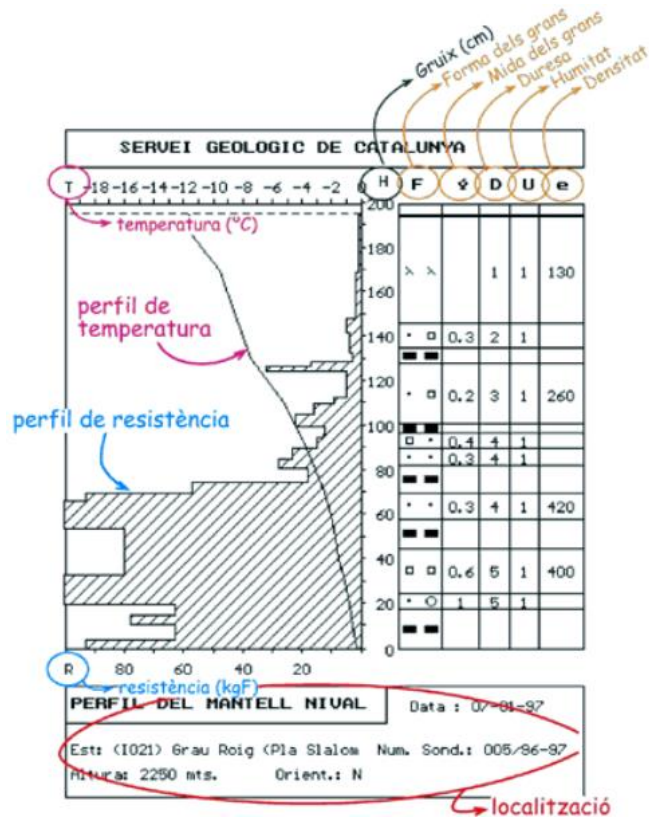


Figura 5.3: Fitxa del mantell nival. ICGC.

Per altra banda, el metamorfisme de la neu seca resulta en diferents tipologies de grans en funció del gradient tèrmic, la variació tèrmica per centímetre dins del mantell nival, es pot entendre com el pendent del perfil de temperatura, es pot distingir entre un gradient feble ($0 - 0.05 \text{ }^\circ\text{C/cm}$), mitjà ($0.05 - 0.2 \text{ }^\circ\text{C/cm}$) o fort ($>0.2 \text{ }^\circ\text{C/cm}$). En el metamorfisme de gradient feble la diferència de temperatura entre les capes del mantell és molt petita, es produeix un procés anomenat efecte de curvatura, en el qual les tensions superficials del vapor d'aigua causen la sublimació de les puntes dels grans que seguidament es condensen en les parts còncaues del mateix (Figura 5.4). Aquest fenomen acaba generant "ponts de gel" entre les parts còncaues dels diferents grans fent augmentar la cohesió de l'estrat.

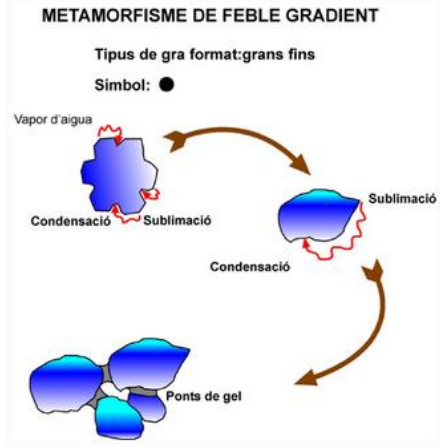


Figura 5.4: Esquema del metamorfisme de gradient feble. Institut d'Estudis Andorrans

En el metamorfisme de gradient mitjà (Figura 5.5) tenim una diferència de temperatura suficientment gran entre els grans superiors i inferiors perquè es produeixi una sublimació en els inferiors. El vapor d'aigua alliberat condensa en el grans superiors formant el que s'anomenen facetes i comporta una pèrdua de cohesió.

Per últim, el metamorfisme de gradient fort (Figura 5.5) és un procés similar a l'anterior però de més intensitat i velocitat. El resultat són estructures de gel buides per dins anomenats gobelets, aquest tipus de neu té una cohesió nul·la i pot esdevenir un pla de lliscament.

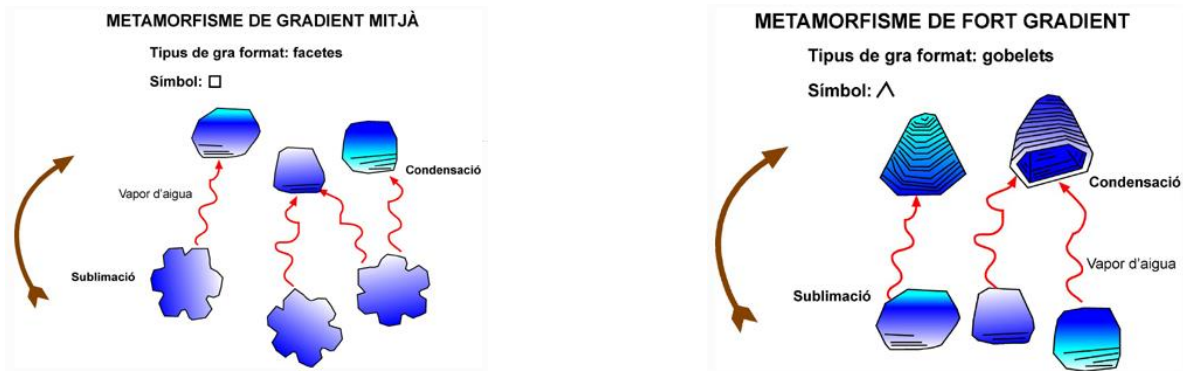


Figura 5.5: A l'esquerra, esquema del metamorfisme de gradient mitjà. A la dreta, esquema del metamorfisme de gradient fort. Institut d'Estudis Andorrans.

5.5 Utilitat i aplicacions, de la visió 2D al 3D

Les possibilitats de visualització i informació sobre l'estat de la neu augmenten en gran mesura quan passem del 2D al 3D, sobretot degut a la quantitat d'informació complementària que necessitem per comprendre les característiques de la coberta nevada. En 2D per entendre i contextualitzar la superfície de neu necessitem informació com el mapa de pendents, de cobertes, orientacions, etc., sense aquests inputs es fa difícil prendre decisions ja que és molt diferent el comportament d'una coberta orientada a sud o a nord, en zones planes o de molt pendent, envoltada d'arbres o de sòl nu, etc. Quan passem al 3D i amb la referència de, per exemple, un mapa topogràfic o una

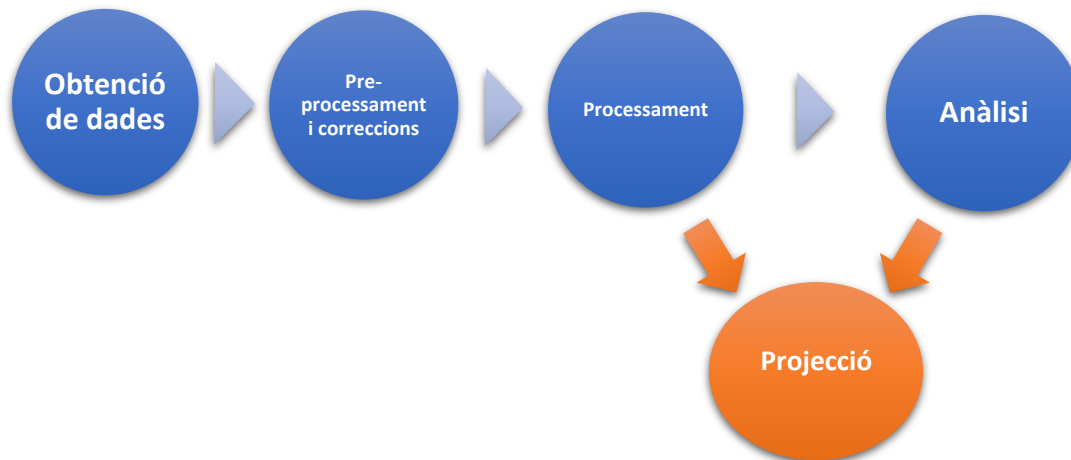
ortofotografia podem entendre de forma molt més ràpida, senzilla i accessible les característiques de la seva coberta i del seu entorn, poder comprendre la morfologia del vessant (si té forma d'embut, piramidal o és pla) o la diferència d'altitud entre les zones inferiors i superiors són elements claus en, per exemple, la gestió d'allaus.

6. METODOLOGIA

En aquest aparta explicarem quins han sigut els processos seguits per aconseguir un mapa de la cobertura de neu del Pirineu a partir d'imatges de Sentinel 2 i Landsat 7-8, quin ha sigut el flux de treball i quins han sigut els principals obstacles a superar. Per dur a terme aquests processos s'ha treballat exclusivament amb eines GIS i s'ha utilitzat l'NDSI com a element principal per a la detecció de superfícies nevades.

Finalment explicarem la tipologia de les dades d'allaus cedides per l'ICGC i com s'han tractat.

6.1 Flux de treball



El flux de treball general seguit és el bàsic que s'usa en teledetecció, primerament obtenim unes dades, en aquest cas en les descarreguem dels portals web dels respectius satèl·lits, seguidament haurem d'efectuar una sèrie de processos per tal d'aconseguir unes dades en estat òptim per a poder començar a realitzar els processos principals. Finalment realitzarem anàlisi de la cobertura de neu creuant-la amb les dades d'allaus cedides per l'ICGC. Tal com es veu en el gràfic, el flux de treball s'amplia a la projecció però en aquest treball no es desenvoluparan els processos tècnics de transformació de dades per a la seva projecció 3D sobre la plataforma HAToM, s'ha afegit en aquest esquema per donar-li més completió. En els propers tres apartats podrem veure com es materialitza aquest flux.

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

6.2 Obtenció de dades

En aquest treball s'ha accedit principalment a dues fonts de dades satèl·lit, les de Sentinel-2 per a imatges del 30 de novembre del 2015 en endavant i Landsat-7 per a les imatges d'aquesta data fins a gener del 2000.

Per accedir a imatges de Sentinel-2 primerament ens hem de registrar al portal web de Copernicus Open Access Hub (Figura 6.1). Un cop registrats podem definir (dibuixant un polígon) la zona de la qual volem imatges i aplicar els filtres de cerca: Rang de dates, missió, tipus de satèl·lit, nivell de tractament del producte, percentatge de núvols màxim i número d'òrbita (cap d'aquests camps és obligatori, però com més filtres més fàcil ens serà trobar la informació adequada). Quan iniciem la cerca ens apareix un llistat amb les imatges que compleixen tots els paràmetres establerts en els filtres, podem veure'n una miniatura, el tipus de sensor, la plataforma, la data, etc. Podem accedir a més informació clicant a la previsualització d'una imatge en concret, allà podem veure quin és el percentatge de núvols, de "NoData", altres dades associades a la qualitat de la imatge, al sensor i a la plataforma.

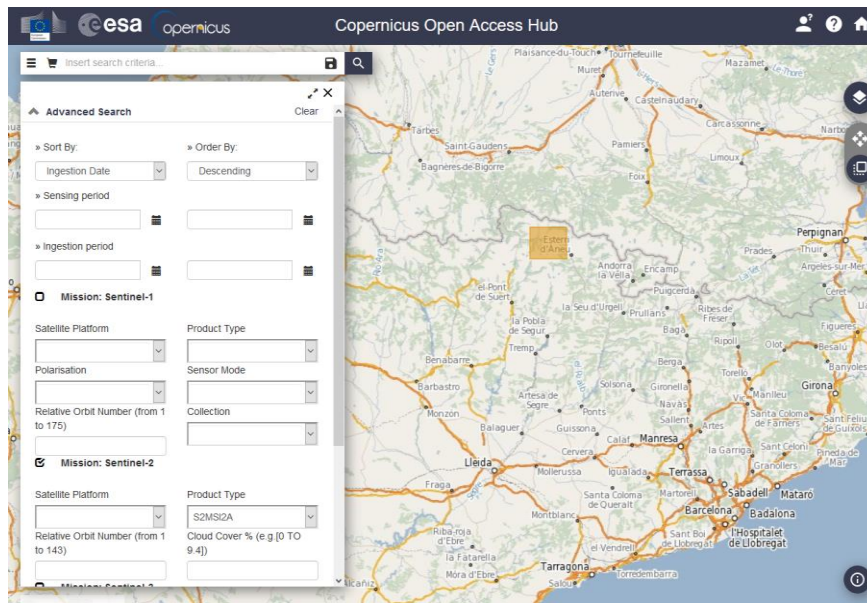


Figura 6.1: Vista del portal Copernicus Open Data Hub, zonificació i filtratges.

S'han utilitzat imatges de nivell 2 de correcció (en el següent apartat s'explicarà què significa) que contenen les 12 bandes del Sentinel-2 més una sèrie de productes ja elaborats, acostumen a tenir un pes del voltant de 1 GB en format jpeg2000, depenent de la quantitat d'imatges i dates que es requereixin pot suposar un problema de temps i recursos. Per aquest motiu, si prèviament ja sabem exactament quines bandes necessitem podem utilitzar la utilitat "Inspector" (Figura 6.2) de la mateixa web per descarregar-nos només les bandes que necessitem i les seves metadades. En el nostre cas, gràcies als estudis previs sabem que per obtenir la superfície de neu necessitem la banda 3 (verd; 0.560 μm), la banda 4 (vermell; 0.665 μm) i la banda 11 (infraroig d'ona curta SWIR; 1.610 μm).

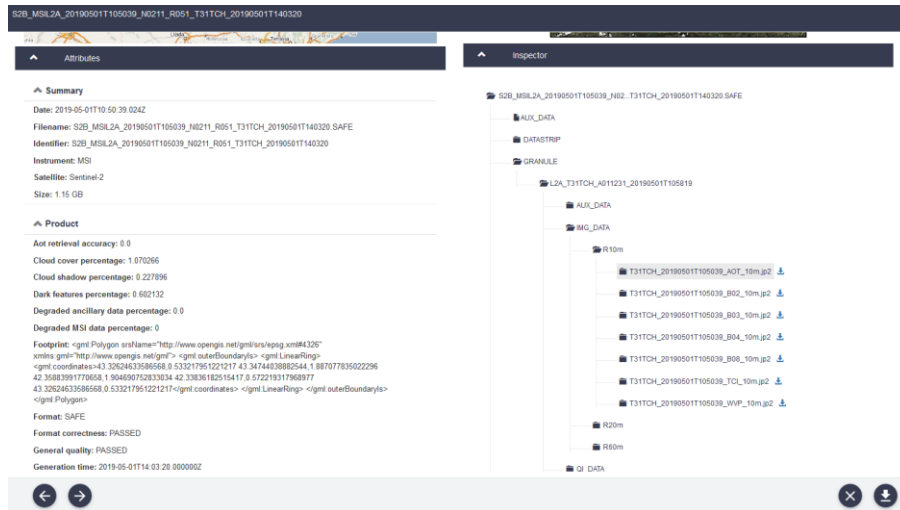


Figura 6.2: Vista de la informació de la imatge, desgloçament dels arxius que la componen i que es poden descarregar un per un o en bloc.

Per obtenir dades de Landsat-7 hem d'accedir al portal web de Earth Explorer, que funciona de forma molt similar al Copernicus Open Data Hub. Ens registrem i un cop fet aquest pas procedim a seleccionar un àmbit, ja sigui situant un punt sobre el mapa o dibuixant-hi un polígon, finalment establim un rang de dates de cerca i uns mesos (Figura 6.3). Seguidament, seleccionem quin tipus de plataforma volem i quin nivell de correcció, les imatges de nivell 1 es poden descarregar en el moment però les de nivell 2 requereixen la validació per part del sistema de gestió de la plataforma i pot tardar varies hores a arribar. Finalment, igual que en el portal de Sentinel, ens apareix un llistat amb la miniatura i informació de les imatges, seleccionem la que volem i la descarreguem, aquest portal no permet descarregar bandes per separat però aquest fet no resulta un problema ja que les imatges de Landsat-7 ocupen menys de la meitat que les de Sentinel-2.

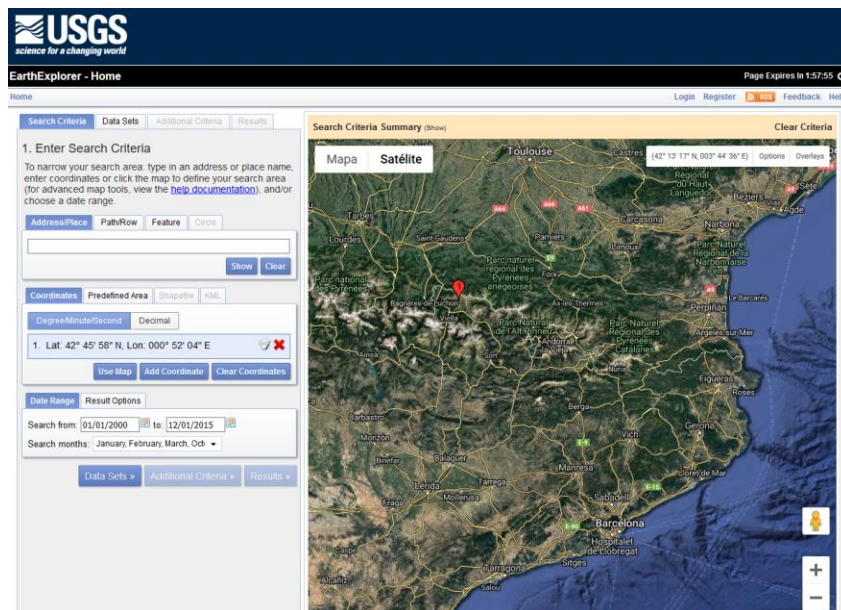


Figura 6.3: Vista del portal USGS Earth Explorer, zonificació i filtratges.

El Landsat-7 disposa d'imatges tèrmiques de 60m de píxel que ens poden servir en el nostre treball, aquestes imatges tèrmiques venen donades sense cap correcció (independentment del nivell que seleccionem), aquest motiu i el fet de no haver d'esperar la validació són els factors que ens han fet escollir les imatges de nivell 1 de correcció enlloc de les de nivell 2. Les imatges de Landsat venen donades en format TIFF.

6.3 Preparació de dades

Un cop tenim les dades hem de dur a terme una sèrie de processos per tal del poder treballar amb elles, és el què s'anomena pre-processament. Alguns d'aquests processos s'han d'aplicar a ambdues fonts de dades i d'altres són particulars:

- **Remostreig (Resample):** Les diferents bandes de cada imatge, degut a la naturalesa del sensor, tenen mida de píxel diferents. Per poder treballar amb elles s'ha de modificar aquesta mida de píxel per tal de que totes tinguin la mateixa. Per no perdre informació sempre "partirem" els píxels de la imatge amb menys resolució espacial (més mida de píxel). En el cas de les imatges provinents de Sentinel-2, les bandes 3 i 4 tenen una resolució espacial de 10m mentre que la de la banda 11 és de 20m, per tant procedim a fer el remostreig de la banda 11 partint cada píxel en quatre parts igual de 10m de costat, la informació en cada un d'aquests píxels continua essent la mateixa (Figura 6.4). Si s'hagués remostrejat els píxels de les imatges amb més resolució haguéssim tingut píxels de 20m amb el valor mitjà dels quatre píxels de 10m que componien aquell espai. Amb les imatges de Landsat-7 també s'ha realitzat un resample, les bandes tèrmiques tenen una resolució de 60m mentre que les bandes del verd i el vermell són de 30m. Igual que en les imatges Sentinel, els píxels de les bandes tèrmiques s'han remostrejat en 4 de 30m.

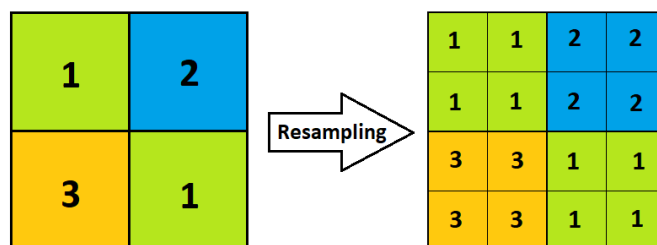


Figura 6.4: Esquema del remostreig. Elaboració pròpia.

- **Omplir buits:** El maig del 2003 el sistema SLC (scan line corrector) del sensor ETM+ del satèl·lit Landsat-7 va patir un problema i totes les imatges d'ençà en endavant tenen zones sense dades. Aquestes zones es distribueixen en franges que neixen prop del nadir i es van eixamplant a mesura que se'n allunyen (Figura 6.5). Aquest problema suposa perdre aproximadament un 22% de la informació (segons l'USGS), aquesta informació perduda no es pot recuperar però es pot aproximar. Per omplir els buits s'ha elaborat una toolbox d'Arcmap (Figura 6.6) que integra tots els processos necessaris i que es pot aplicar de forma automàtica a totes les bandes que es requereixi.

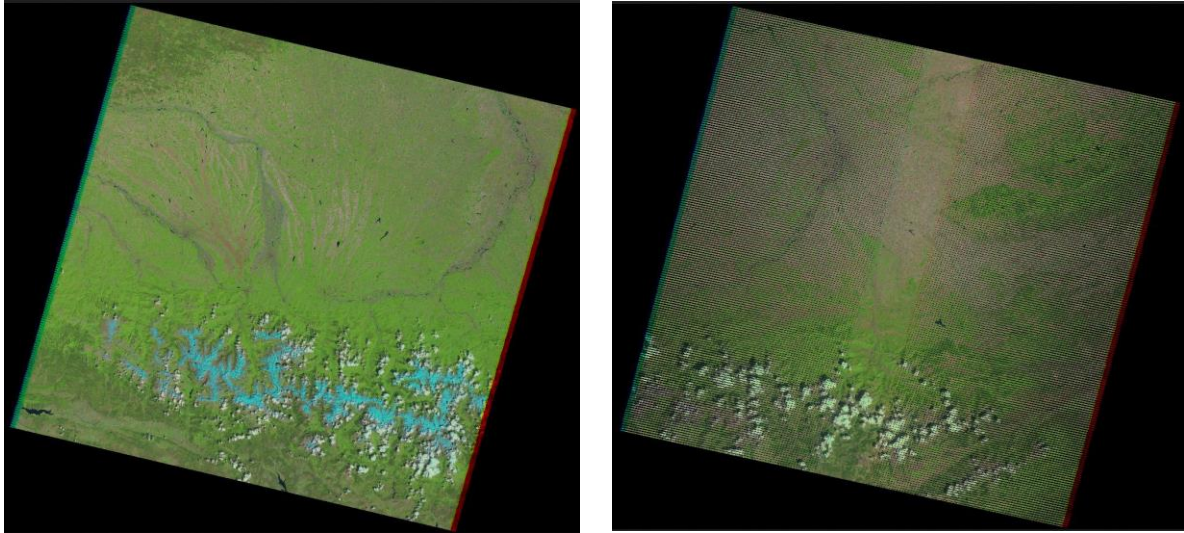


Figura 6.5: A la dreta imatge sense buits del 29 de maig del 2003. A l'esquerra imatge amb l'error de l'SLC del 10 d'agost del 2003. USGS

El procés és relativament senzill, primer indiquem quina banda volem corregir (Input Band) i establim una constant que serà 0 (Màscara 0), seguidament seleccionem tots els píxels sense valor i els hi assignem valor 0 (Set Null), després realitzem una interpolació per veïns propers a tots els píxels amb valor 0 (Nibble) d'aquesta forma aproximem el valor que haurien de tenir els píxels buits en funció dels píxels pròxims amb valors correctes. Finalment, com que el fons de la imatge també s'ha interpolat (de forma "falsa") retallem la zona que ens interessa (Extract by Mask), com que en aquest treball la zona sempre ha sigut la mateixa (l'Alt Pirineu) hem establert el polígon amb el que es fa l'extracció dins de tot el procés sense per estalviar el fet d'escollir-lo com a input cada vegada que executem l'eina. Com a resultat (Banda Corregida) tenim una imatge completa però amb el 22% dels valors aproximats.

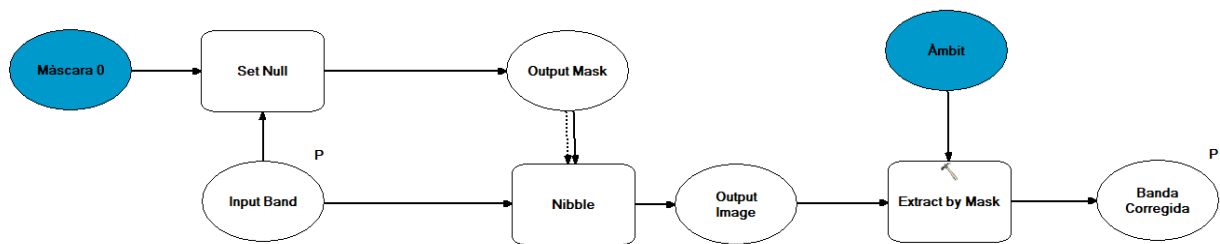


Figura 6.6: Esquema de procés elaborat. En blau els elements constants, els òvals són Inputs o Outputs (la P fa referència a Paràmetre que establim nosaltres, els rectangles representen eines del programa arcmap.

- **Correcció radiomètrica:** Les imatges captades pels sensors estan alterades per l'atmosfera, depenent de la densitat i composició de les seves capes en el moment en el que es pren la imatge. Quan parlem de nivell 1 o 2 de correcció ens referim a aquest fet, és a dir, si adquirim les imatges corregides radiomètrica i atmosfèricament (nivell 2) o no (nivell 1). Les imatges de nivell 1 donen la informació amb el que es coneix com a *digital number* (DN) amb una profunditat de 8 bits (0-255) per tal de reduir el pes de l'arxiu i facilitar el traspàs d'informació. Aquests DNs simplifiquen la informació i li assignen una valor de 0 a 255, amb la correcció radiomètrica podem obtenir els valors de radiància reals. De tota manera, degut a la falta de temps i recursos informàtics, no farem cap correcció atmosfèrica, això vol dir que els valors obtinguts seran del que s'anomena Top Of Atmosphere (TOA), és a dir que després del procés de correcció radiomètrica obtindrem els valors de "dalt" de l'atmosfera, s'assumeix aquest error d'exactitud.

Per calcular els valors de radiància de cada banda multispectral (no tèrmica) utilitzem la següent funció:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

On:

L_{λ} = Radiància TOA (W/(m² · srad · μm)).

M_L = Factor multiplicatiu de reescalatge de la banda.

A_L = Factor additiu de reescalatge de la banda.

Q_{cal} = Digital Number (DN)

Quan apliquem aquesta fórmula a cada banda de Landsat 7 obtenim els valors de radiància en la part superior de l'atmosfera amb una profunditat de píxel de 16 bits (0 - 65535).

Pel que fa a les bandes tèrmiques, un cop calculada la radiància podem saber la temperatura TOA, la fórmula emprada dona com a resultat graus Kelvin, per obtenir Celsius simplement hem de restar-li 273,15.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

On:

T = Temperatura TOA (°K).

L_{λ} = Radiància TOA (W/(m² · srad · μm)).

K_2 = Constant de conversió tèrmica 1 de la banda.

K_1 = Constant de conversió tèrmica 2 de la banda.

Tan els factors de reescalatge com les constants de conversió tèrmica ho podem trobar en les metadades de la imatge (Figura 6.7), allà veiem com cada banda té els seus factors i constants.

```
GROUP = THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 666.09
K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 1282.71
K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 666.09
K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 1282.71
```

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

```
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.1807E+00
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2098E+00
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 9.4252E-01
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.6929E-01
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 1.9122E-01
RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_1 = 6.7087E-02
RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_2 = 3.7205E-02
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 6.6496E-02
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 9.7559E-01
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -7.38071
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -7.60984
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -5.94252
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -6.06929
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -1.19122
RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_1 = -0.06709
RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_2 = 3.16280
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -0.41650
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -5.67559
```

Figura 6.7: A dalt, constants de conversió tèrmica. A baix els factors de reescalatge. Les Bandes 6_vcid_ 1 i 2 són les tèrmiques. Exemple de Metadades de Landsat 7. USGS

6.4 Generació de productes

Per determinar la superfície nevada del Pirineu hem utilitzat principalment l'índex NDSI (Normalized Difference Snow Index) i s'ha complementat amb certs llindars de les radiàncies de la banda del vermell.

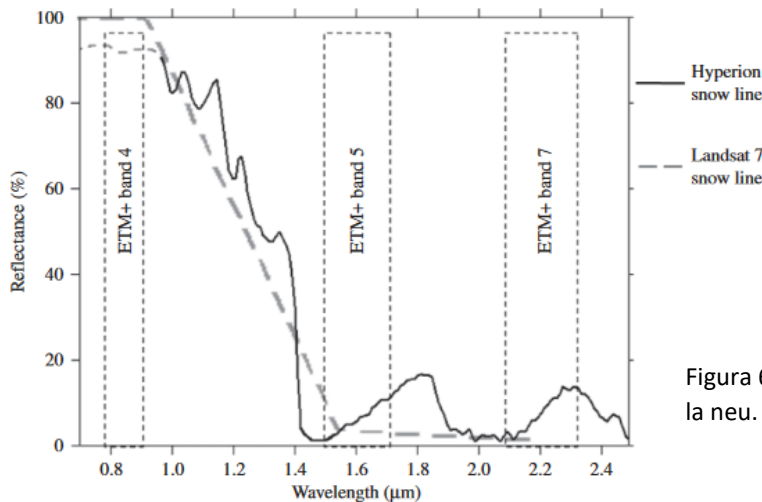


Figura 6.8: Signatura espectral de la neu. A. Dietz et al. 2012.

El fet de veure la neu de color blanc significa que reflexa totes les amplituds de l'espectre visible ($\approx 0.4 - 0.7 \mu\text{m}$) que representen les bandes del blau, verd i vermell, però tal i com podem observar en la seva signatura espectral (Figura 6.8) la seva reflectància cau en picat en els infraroigs d'ona curta ($\approx 1.5 - 1.7 \mu\text{m}$). És per aquest motiu que s'han utilitzat les bandes del verd, el vermell i el SWIR (short wave infrared) per classificar-la.

L'NDSI se centra en la banda del verd i del SWIR i dóna valors en funció de la relació de la radiància entre un i l'altre, els valors es comprenen entre 1 i -1: 1 significa que no es reflecteix SWIR i -1 que no es reflecteix el verd; el 0 vol dir que hi ha la mateixa reflexió en ambdues amplituds. Si observem la següent fórmula podem veure que quan el SWIR és 0 el resultat és 1 i quan el Verd és 0 el resultat és -1.

$$\text{NDSI} = \frac{\text{Verd} - \text{SWIR}}{\text{Verd} + \text{SWIR}}$$

Els valors superiors a 0.6 volen dir que la superfície està nevada (S. Gascoin, 2019), tot i que sovint certes masses d'aigua (com pantans, llacs, etc.) també donen "positiu". Aquest fet és degut a que l'aigua té

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

encara menys radiància en el SWIR que la neu i a vegades aquest valor és tan proper a 0 que, encara que els valors en el verd també siguin baixos, el resultat és superior a 0.5.

Per poder eliminar aquestes masses d'aigua utilitzem l'NDWI (Normalized Difference Water Index), que, igual que l'NDSI, ens permet identificar les masses d'aigua. La fórmula és la mateixa que l'anterior però enlloc d'utilitzar el SWIR s'utilitza el NIR (Near Infrared), els valors superiors a 0.6 representen masses d'aigua (N. Jovanovic, 2014), extraïem aquests valors per generar una màscara i seguidament fem una combinació espacial amb la màscara obtinguda de la selecció de valors de l'NDSI per tal d'eliminar les zones d'aigua i quedar-nos només amb la superfície nevada.

S'ha ponderat la utilització de les bandes tèrmiques del Landsat però finalment s'ha descartat degut a la falta de valor que aportaven un cop realitzats els processos descrits anteriorment. La seva resolució espacial (60 metres) acabava fent perdre exactitud als límits de la superfície nevada.

6.5 Automatització de processos

Per facilitar la tasca de processament i reduir el temps entre que s'obtenen les dades (cada 5 dies) i es projecten a la plataforma HAToM, s'ha elaborat un Model Builder amb Arcmap (Figura 6.9) i Qgis per tal de crear una eina (toolbox) que només inserint-li les bandes requerides executi el procés automàticament.

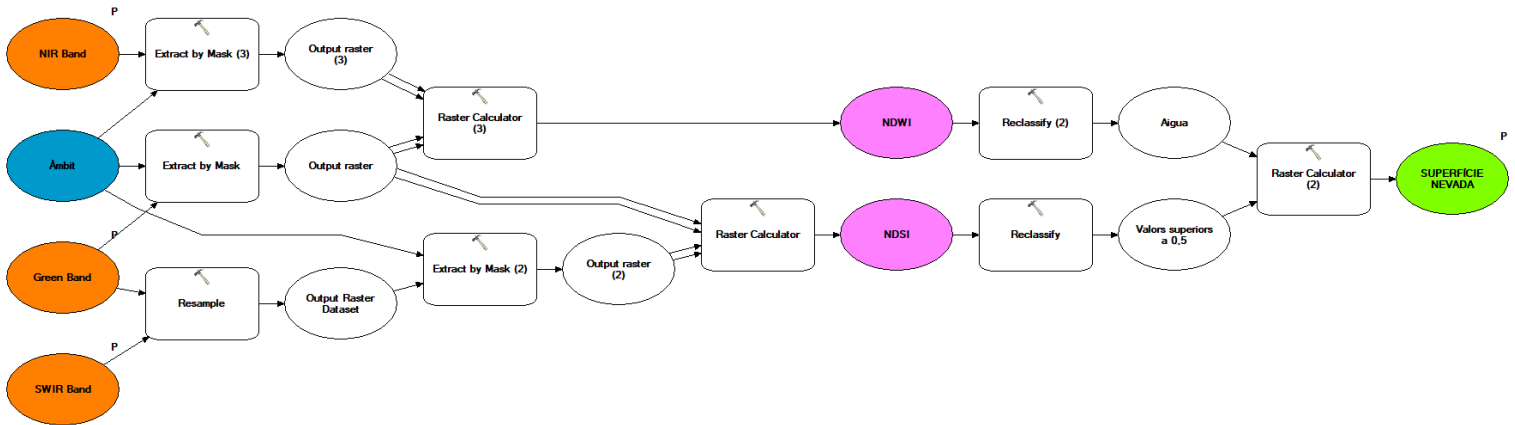


Figura 6.9: Esquema del procés. El-lipsis taronjes: Inputs que; El-lipsi verda: Output; El-lipsi blava: Àmbit de retall (sempre és el mateix); El-lipsis blanques/liles: resultats intermedis que no es guarden; Rectangles: Processos. Elaboració pròpia

En l'esquema del Model Builder observem com: primerament retallem les bandes del verd i del SWIR, amb un polígon (sempre el mateix) que agafa la zona del Pirineu, ja que l'àmbit de la imatge satel·lital agafa tot el gruix dels Pirineus però també la plana francesa fins a Toulouse. Un cop feta l'extracció, calculem l'NDSI i el reclassifiquem en $NDSI \geq 0.5 \rightarrow 1$; Else $\rightarrow 0$, també realitzem una reclassificació a l'NDWI ($NDWI \geq 0.6 \rightarrow 1$; Else $\rightarrow 0$) per, finalment, fer la combinació d'ambdues capes i obtenir la superfície nevada.

Per utilitzar aquesta eina només cal indicar-li a on estan guardades les bandes corresponents i a on es vol guardar el resultat, establir aquests inputs i outputs es pot automatitzar mitjançant un script

Recerca de noves dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

de python. La mateixa interfície de l'eina (Figura 6.10) proporciona ajuda a l'hora d'establir els inputs de cada banda.

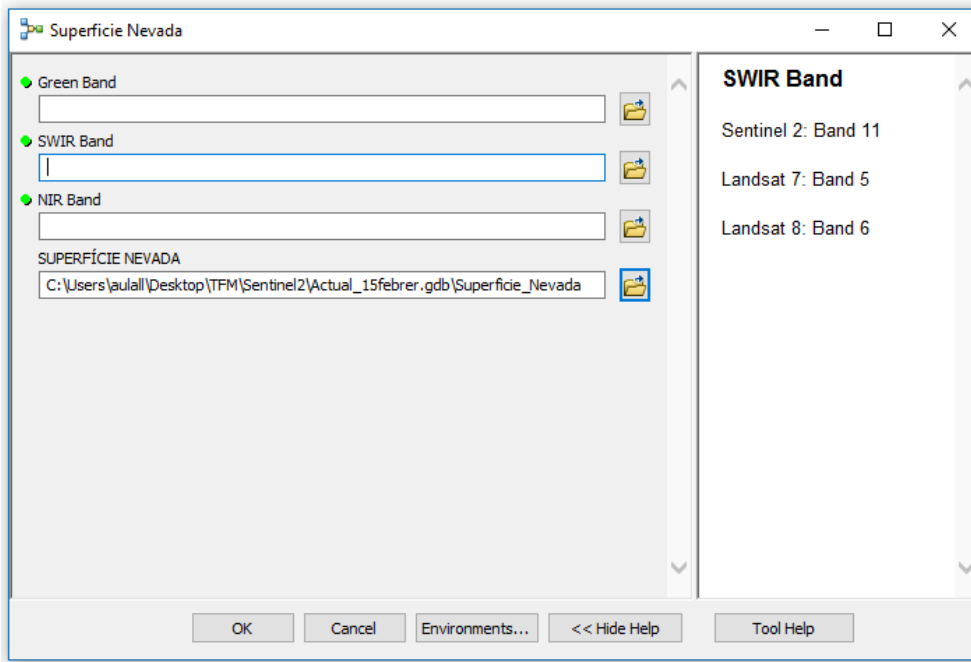


Figura 6.10: Interfície de l'eina creada per extreure la cobertura de neu.

6.6 Característiques de les dades d'allaus

Les dades d'allaus cedides per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya es componen de 4 fitxers en format geopackage: Les allaus directes, que són les que se saben que s'han produït i s'han pogut cartografiar gràcies a la feina dels tècnics del parc i forestals; Les allaus enquestades, que són les que s'han cartografiat a partir d'enquestes a la població local i de la recerca de documents; Les zones d'allaus, que és la catalogació de les zones potencials de patir una allau; finalment, el fitxer amb les regions nivoclimàtiques, que són les divisions que utilitza l'ICGC per diferenciar el Pirineu amb set àmbits.

A continuació entrarem més en detall en el fitxer d'allaus directes i de zones d'allaus i explicarem quins processos previs a l'anàlisi s'han realitzat.

La zones de possibles allaus es decideixen principalment a partir de l'orografia i del tipus de cobertes del sòl, a través de la fotointerpretació i de l'anàlisi SIG. Primerament es defineixen els àmbits del territori que compleixen les característiques climàtiques perquè en algun moment de l'any s'hi acumulin gruixos suficients generar allaus, l'ICGC defineix set regions: Aran – Franja Nord de la Pallaresa, Ribagorçana – Vall Fosca, Pallaresa, Perafita – Puigpedrós, Vesant Nord del Cadí – Moixeró, Ter – Fresser i per últim, Prepirineu. És dins d'aquestes regions on s'estudia el terreny per tal de definir les zones. Les zones amb pendents elevats (més del 30%) i amb poca o nul·la vegetació forestal són les més susceptibles a patir una allau, aquesta zonificació no és una ciència exacte i requereix de molta feina de fotointerpretació i de treball amb els tècnics de la zona. Per exemple, una zona amb pendent i un bosc molt frondós pot patir una allau si en les cotes superiors tenim prats o un petit circ.

Recerca de noves dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

Aquestes zones es cataloguen amb un codi de sis caràcters, els tres primers fan referència a la conca del riu on se situa i els tres últims és una seqüència sorgida de l'ordre en el qual es cataloguen, per exemple: GAR088, GAR089, etc. Les dades cedides contenen la geometria d'aquestes zones, les seves coordenades i el codi de zona. En total hi ha catalogades 17.811 zones potencials d'allaus.

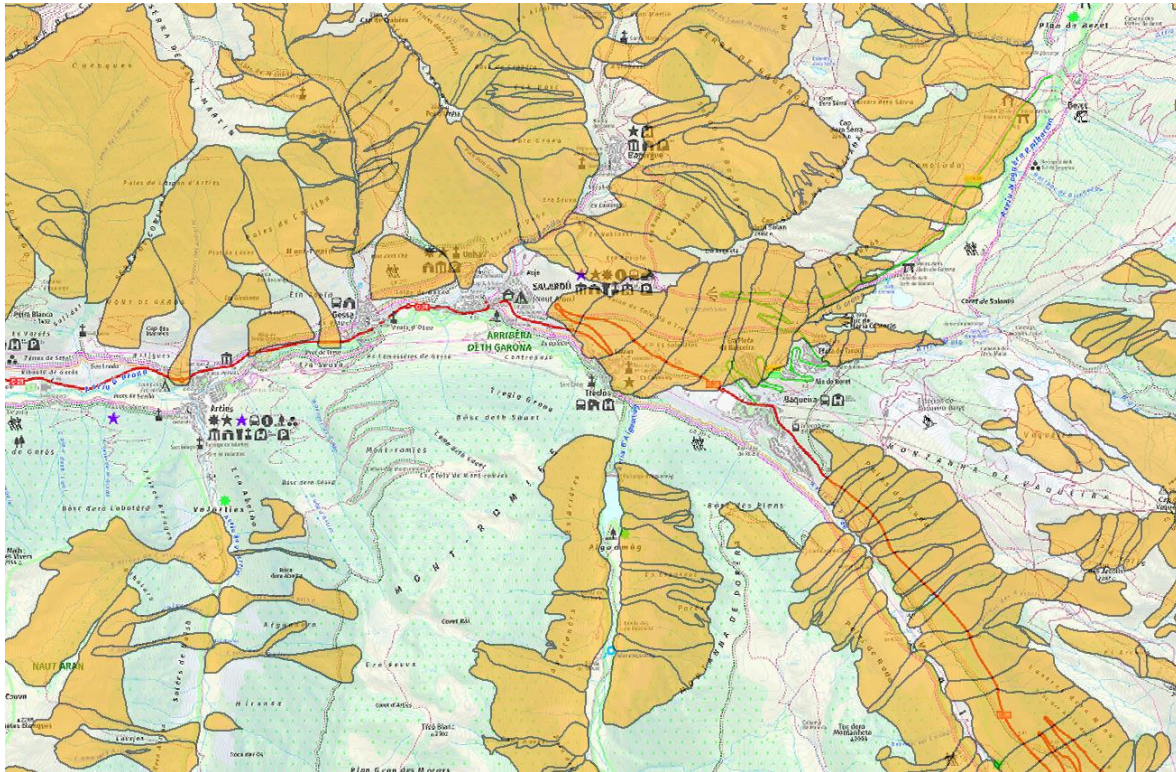


Figura 6.11: Zones d'allaus de la part superior de la conca del riu Garona. Base: mapa topogràfic 1 :25.000 ICGC

Com ja hem dit, el fitxer d'allaus directes conté la cartografia de les allaus que s'han pogut detectar mitjançant la feina del tècnics o per fotointerpretació, entre el 1970 i el 2015. A cada allau se li assigna un codi de 12 caràcters, els sis primers fan referència a la zona d'allaus, els quatre següents són la temporada en la que es produeixen i els dos últims són l'ordre de catalogació, per exemple: **NER170199601**, **NER115201101**, etc. És important especificar que l'any de temporada (ressaltat en negreta) no fa referència a anys naturals sinó que, es podria dir, que va de juliol a juliol, les allaus produïdes a la segona meitat del 2013 i a la primera meitat del 2014 es codifiquen totes com a 2013. Igual que amb les zones d'allaus, en el fitxer d'allaus directes disposem de la cartografia, les coordenades i el codi. Entre 1970 i 2015 s'han catalogat 4566 allaus al Pirineu català.

Finalment els fitxers d'allaus enquestades i de regions nivoclimàtiques no s'han utilitzat en els anàlisis.

Recerca de noves dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

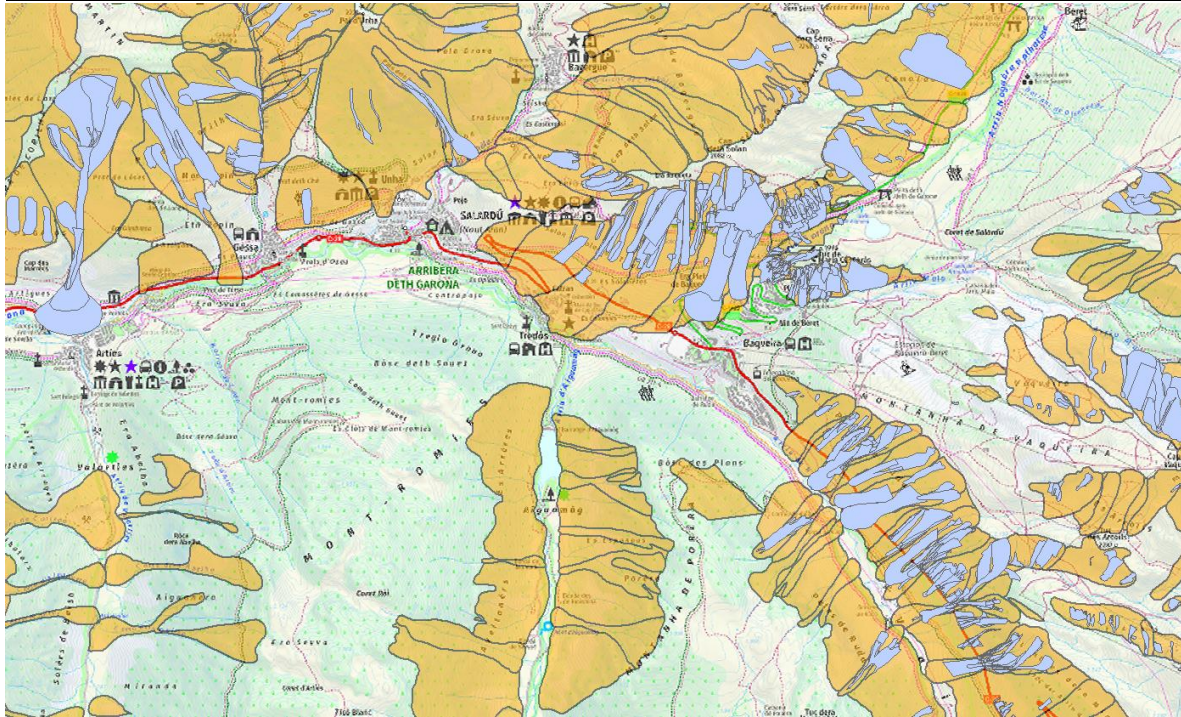


Figura 6.12: Allaus directes en la zona de la part superior de la conca del Garona. En blau les allaus d'entre 1970 i 2015; en taronja les zones d'allaus. Base: mapa topogràfic 1 :25.000 ICGC

Amb els fitxers de zones d'allaus i d'allaus directes s'han realitzat una sèrie de processos de SIG i anàlisis estadístics per tal d'augmentar la informació inicial i poder dotar de més riquesa les projeccions. En el següent capítol desenvoluparem aquests processos que consisteixen principalment, per una banda el creuament de les allaus directes amb mapes d'orientacions i de pendents i els seus respectius anàlisis estadístics de freqüències. Per altra banda, també s'han creuat les allaus directes i les zones d'allaus per d'establir la recurrència de les zones.

7. PROCESSOS I RESULTATS

L'objectiu d'aquest treball no és dur a terme un exhaustiu anàlisi del territori, l'objectiu és generar un seguit d'informació sobre la superfície nevada i les allaus per tal de projectar-la i que pugui servir com a eina per generar anàlisis i prendre decisions. Com que aquesta informació conforma una funcionalitat afegida més a la plataforma HAToM és important que els processos i productes puguin ser extrapolables a altres àmbits similars, és per aquest motiu que els productes finals són tants com necessitats o requeriments tingui el client i per tant en aquest apartat ens centrarem en l'explicació en detall dels processos bàsics, descrits en el capítol 6, que entenem que són la base indispensable per a l'elaboració de més productes de la mateixa temàtica.

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

Els processos i petits anàlisis descrits a continuació s'han elaborat utilitzant el programari Arcmap i Arcsene d'ESRI.

7.1 Coberta nival

Com ja hem dit anteriorment, per obtenir la coberta de neu ens hem centrat en l'ús de l'NDSI, calculat a partir de les bandes del Verd i del SWIR, amb dades de Landsat 7-8 o Sentinel 2 depenent de la data que requerida. El producte de coberta nival es calcula per a tot el Pirineu i després es retalla l'àmbit desitjat, en aquest cas la zona de la Vall de Ruda descrita en el capítol 4.

A continuació explicarem els processos seguits utilitzant l'exemple de les imatges de Sentinel 2 del dia 15 de febrer del 2019.

Una vegada obtingudes les dades, de nivell 2, del dia en qüestió i elaborats els pre-processos indicats anteriorment, procedim a obrir les bandes del verd (Figura 7.1) i del SWIR (Figura 7.2).



Figura 7.1: Banda del Verd ($0.56\mu\text{m}$) corregida radiomètricament. 10 metres de píxel.



Figura 7.2: Banda de l'Infraroig d'ona curta ($1.61\mu\text{m}$) corregida radiomètricament. 10 metres de píxel (remostrejat).

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

Combinant aquestes capes amb la fórmula de l'NDSI obtenim la següent imatge (Figura 7.3), aquí es mostra la relació entre la radiància del Verd i del SWIR, les zones amb molta més radiància del Verd que del SWIR, aquelles amb una valor de 0,5 o superior són les que identifiquen com a neu en el primer tall (Figura 7.4).



Figura 7.3: Normalized Difference Snow Index. Les zones més clares representen els valors propers a 1 i les zones més fosques al -1.

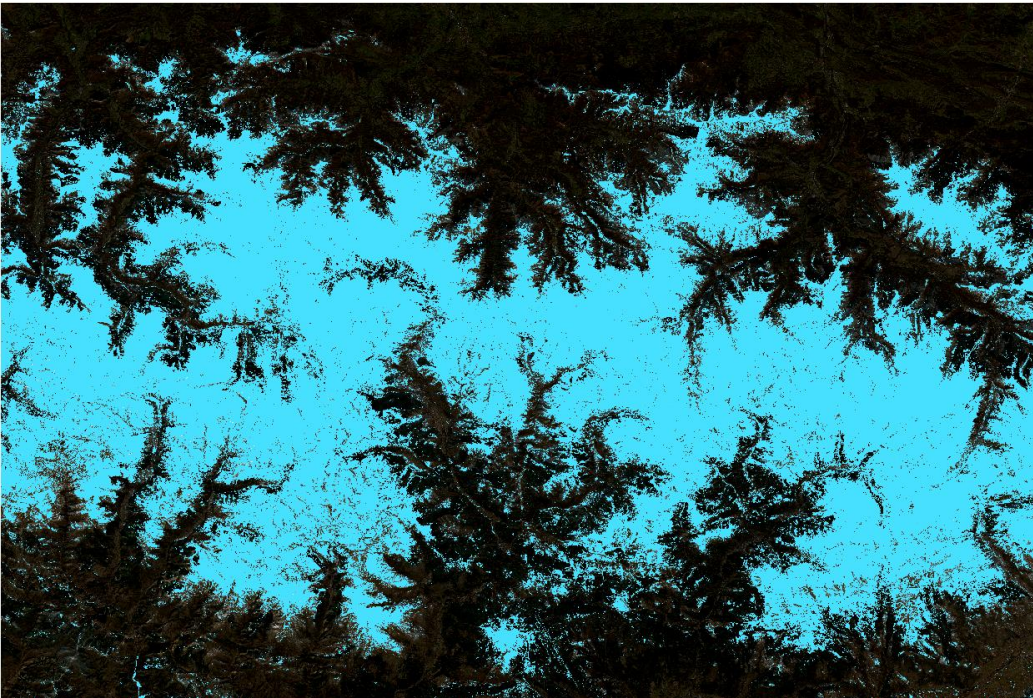


Figura 7.4: En blau, màscara amb els valors de l'NDSI ≥ 0.5 . Combinació RGB de fons.

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

A partir de la inspecció visual podem observar que les zones de neu es diferencien positivament de les altres (Figura 7.5) però hi ha errors de comissió en les zones d'aigua com llacs i pantans que no estan congelats (Figura 7.6). També es detecten certs errors d'omissió fruit de l'ombra de les pròpies muntanyes, però són poc significatius. És per aquest motiu que, després de la revisió dels primers resultats, es decideix validar el procés inicial i afegir-li una màscara per extreure les zones d'aigua.

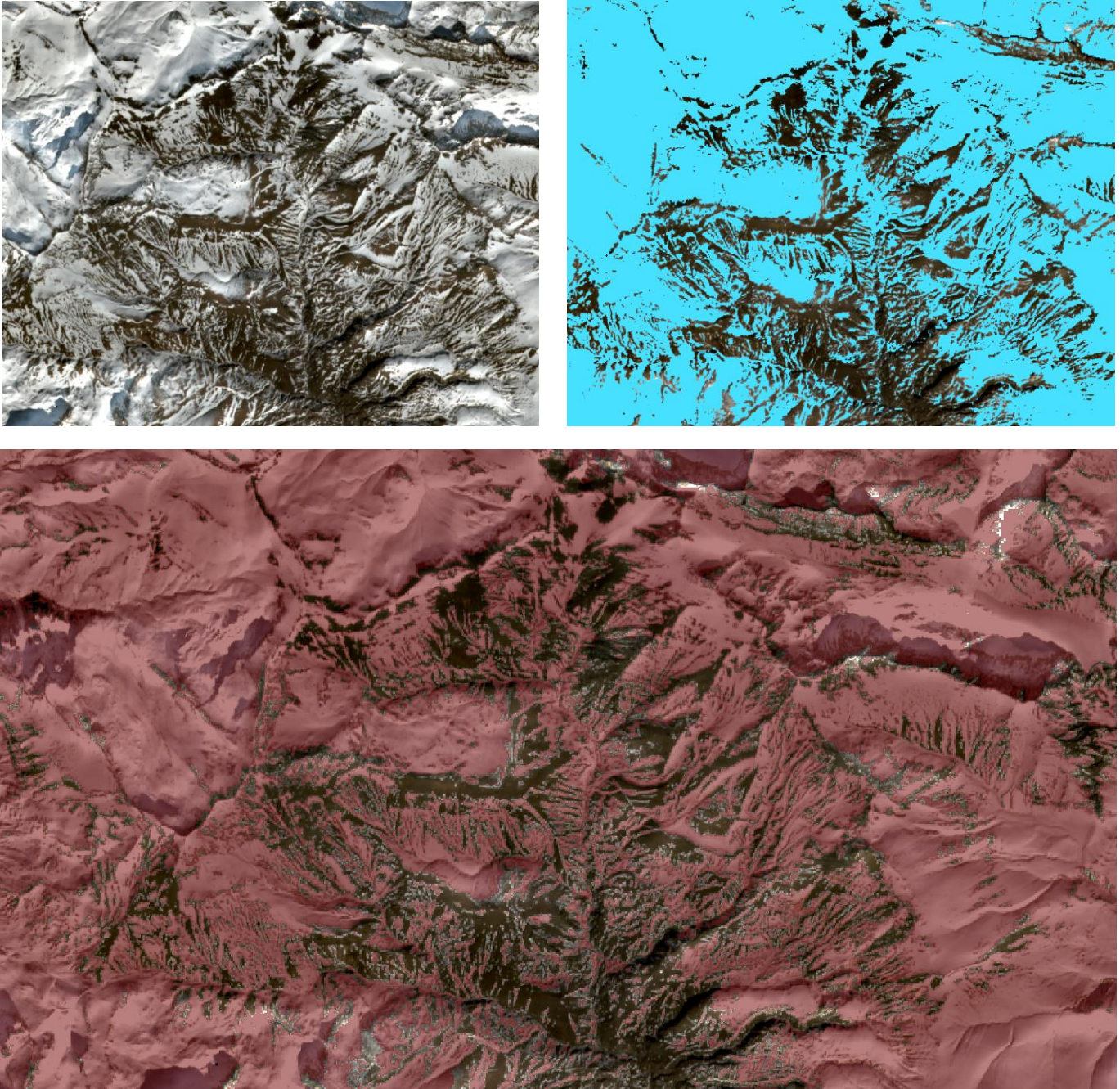


Figura 7.5: A l'esquerra: Combinació RGB com a referència. A la dreta: Màscara a partir de l'NDSI. A sota: Superposició de l'RGB amb la màscara amb transparència.

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

En les imatges anteriors (Figura 7.5) s'observa la zona del Parc Natural de Posets-Maladeta i com la màscara de neu delimita amb força detall les zones de neu.

A continuació podem veure un exemple dels errors comesos amb les masses d'aigua, quan la massa d'aigua està congelada, però, no la considerem error ja que la superfície és de gel i neu. En les imatges següents (Figura 7.6) s'observa com en el Pantà de la Torrassa (Guineueta d'Àneu) tenim positius (degut a la congelació) però també falsos positius.

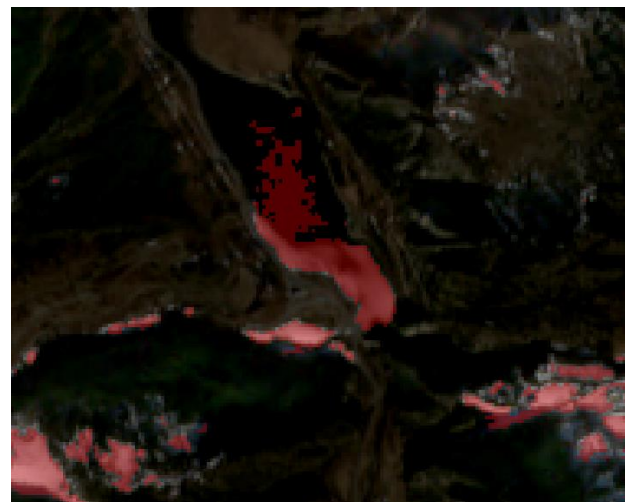
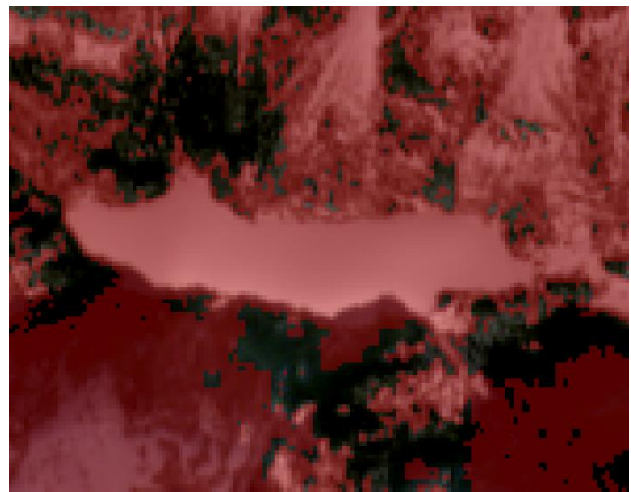
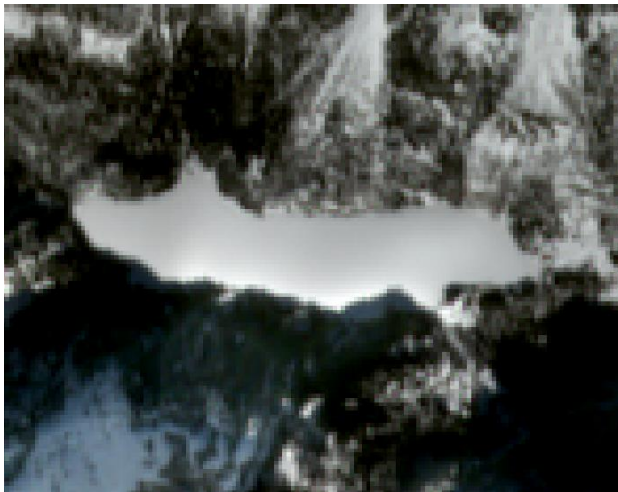


Figura 7.6: A dalt: Estany de Sant Maurici congelat amb i sense la màscara NDSI ≥ 0.5 . A sota: Pantà de la Torrassa amb i sense la màscara NDSI ≥ 0.5 .

Com ja hem dit anteriorment, utilitzem l'NDWI per generar una altra màscara i així eliminar les zones d'aigua. Per fer-ho combinem les bandes del Verd i del NIR i duem a terme el mateix procés que per generar la primera màscara, utilitzant com a llindar el 0.6 en amunt. A continuació (Figura 7.7), podem observar altra vegada la zona del pantà de la Torrassa amb la màscara d'aigua (en blau) i la superposició d'ambdues màscares, els píxels de la màscara de neu que es superposen amb la d'aigua seran els eliminats, obtenint finalment una màscara final (Figura 7.8) de les superfícies nevades sense les masses d'aigua que constitueix el producte final.

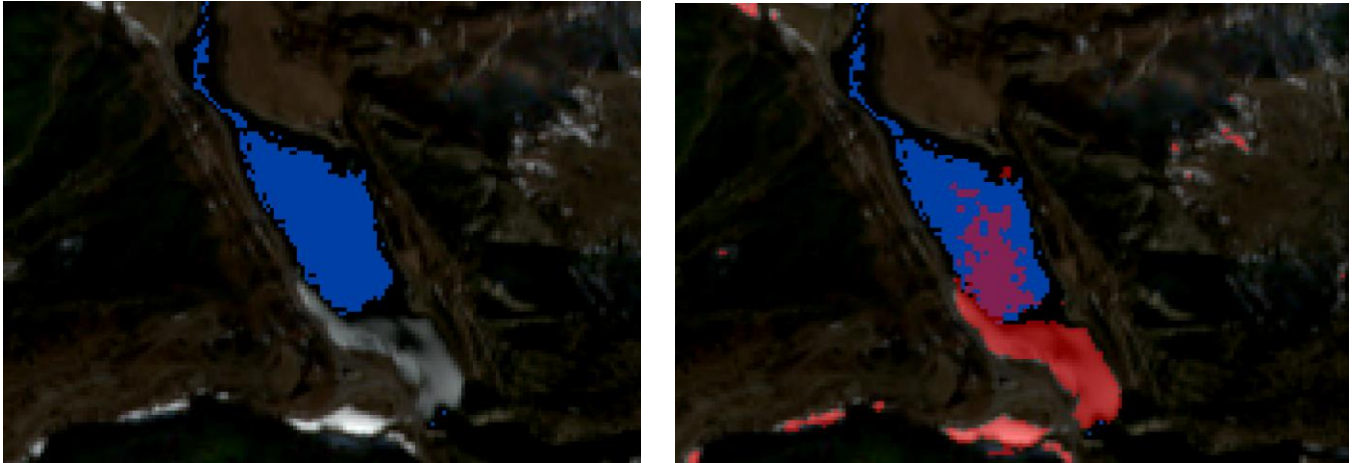


Figura 7.7: Zona del Pantà de la Torrassa. A l'esquerra, màscara d'aigua (blau). A la dreta, superposició de les màscares d'aigua i neu (vermell).

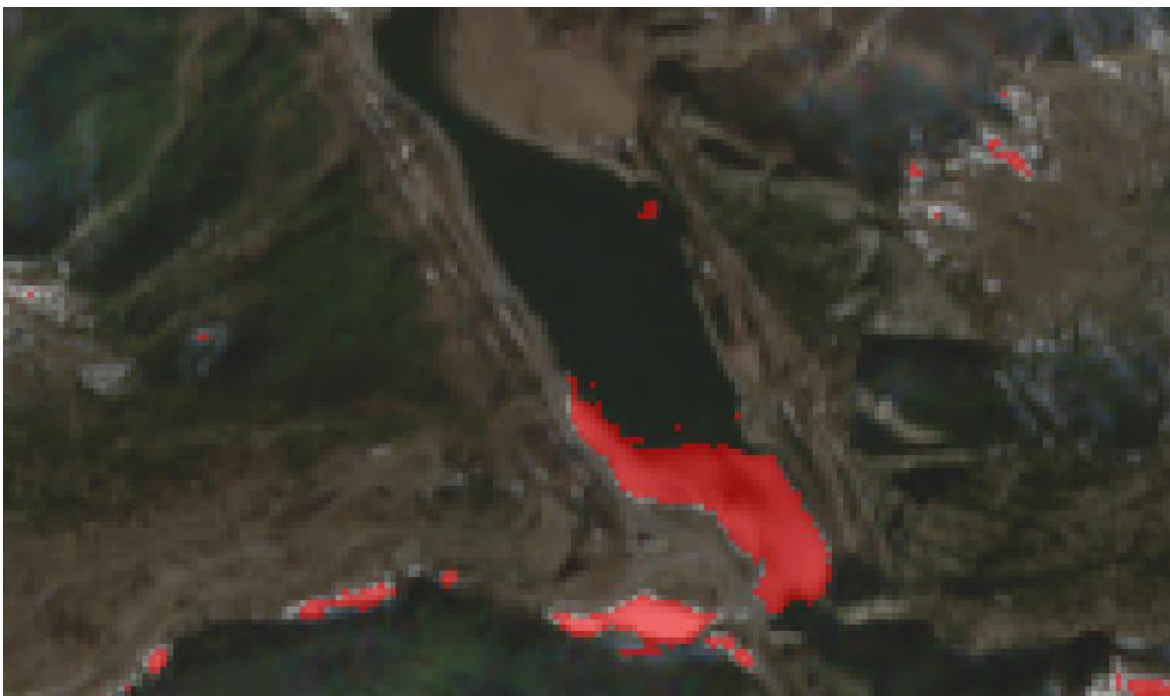


Figura 7.8: Zona del Pantà de la Torrassa. Mostra de la màscara de neu final.

Finalment, retallem la màscara per la zona del Pirineu que ens interessa, en aquest cas la Vall de Ruda:

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

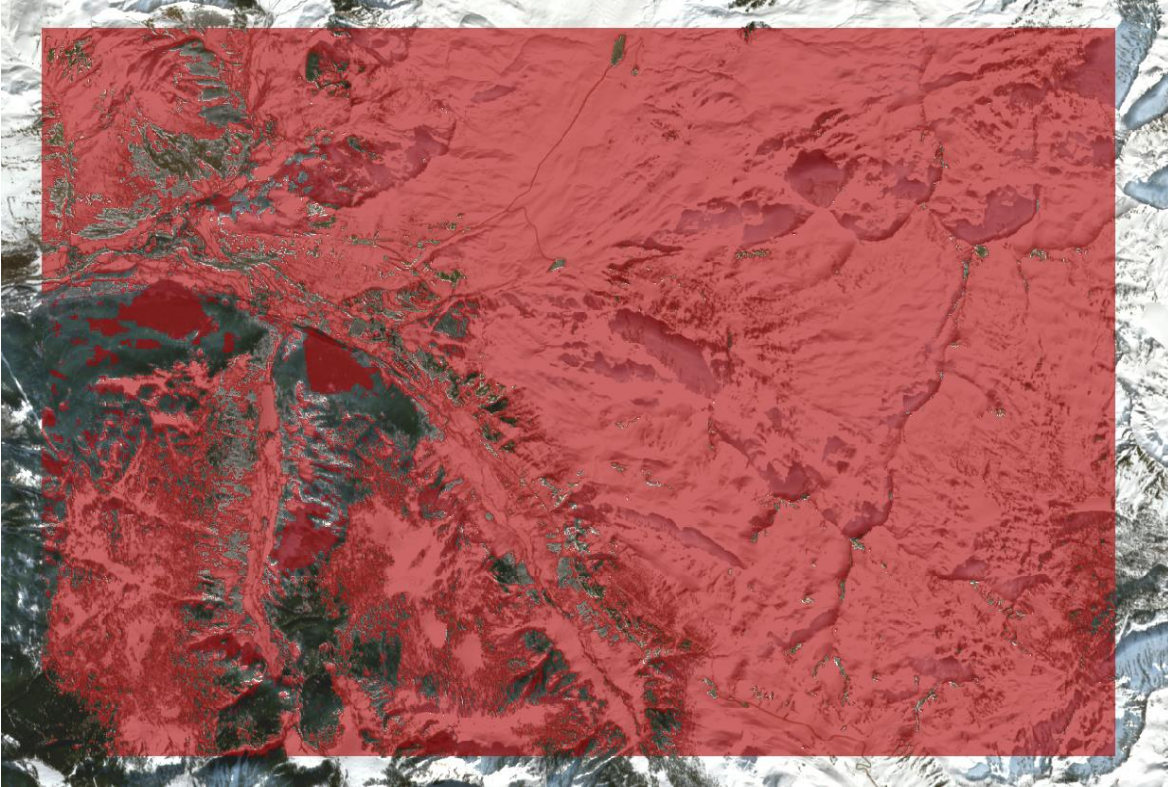


Figura 7.9: Superfície de neu el 15 de febrer del 2019 a l'àmbit de la Vall de Ruda definit en l'apartat 4.4. Composició RGB de fons.

Aquestes dades ja es poden exportar al programari especialitzat per generar les projeccions 3D de la Plataforma HAToM, de tota manera, en l'apartat 7.3 podem veure algunes representacions 3D d'aquestes dades, juntament amb les d'allaus, per tal de fer-nos una idea del producte a projectar.

7.2 Allaus al Pirineu

Com ja hem dit anteriorment, de les dades cedides per l'ICGC hem utilitzat el fitxer de zones d'allaus i el d'allaus directes. Per tal de complementar la informació cartogràfica hem dut a terme una sèrie de processos GIS augmentant la diversitat i quantitat d'informació a projectar. Finalment s'han elaborat uns anàlisis estadístics bàsics per poder comprendre millor la tipologia de les allaus en el nostre territori.

S'ha generat una taula afegint-hi informació de l'any, orientació, pendent mitjà i superfície real (no abatuda) de les allaus directes i una altra taula de les zones d'allaus on es recull la quantitat d'allaus que s'hi han produït durant el període de 1970 a 2015.

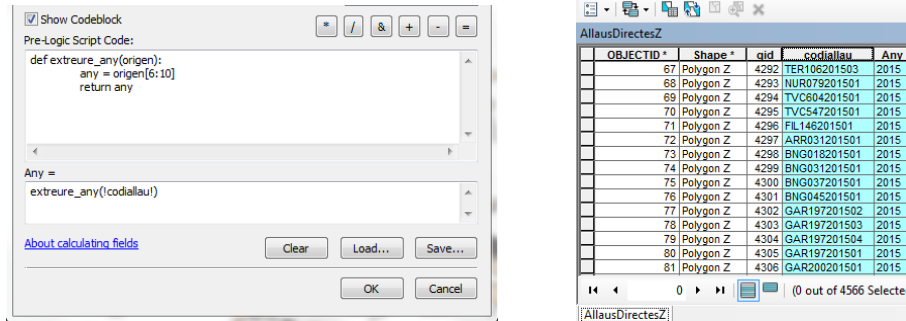
Recerca de noves dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

Primerament, volem generar un camp en la taula que contingui la informació de l'any en el que s'ha produït cada allau, d'aquesta manera després podrem agrupar allaus segons els períodes desitjats per elaborar els estudis que pertorquin. Per obtenir aquesta informació partim del camp de codi d'allau i, com que sabem que la informació referent a l'any es troba en els caràcters del 7 al 10 (NER115201101), elaborem un script de python (Figura 7.10) per seleccionar aquests caràcters i copiar-los al camp "any".



The image shows two windows from ArcMap. The left window is the 'Field Calculator' dialog, with the 'Show Codeblock' checkbox checked. It contains a Python script:

```
def extreure_any(origen):  
    any = origen[6:10]  
    return any
```

 Below the script, the 'Any =' field is populated with the expression `extreure_any(!codiallau!)`. The right window is a data table titled 'AllausDirectesZ'. It has columns for 'OBJECTID*', 'Shape*', 'qid', 'codiallau', and 'Any'. The table contains 15 rows of data, with the 'Any' column showing years from 2015 to 2014.

OBJECTID*	Shape*	qid	codiallau	Any
67	Polygon Z	4292	TER106201503	2015
68	Polygon Z	4293	NUR079201501	2015
69	Polygon Z	4294	TVC604201501	2015
70	Polygon Z	4295	TVC547201501	2015
71	Polygon Z	4296	FIL146201501	2015
72	Polygon Z	4297	ARR031201501	2015
73	Polygon Z	4298	BNG018201501	2015
74	Polygon Z	4299	BNG031201501	2015
75	Polygon Z	4300	BNG037201501	2015
76	Polygon Z	4301	BNG045201501	2015
77	Polygon Z	4302	GAR197201502	2015
78	Polygon Z	4303	GAR197201503	2015
79	Polygon Z	4304	GAR197201504	2015
80	Polygon Z	4305	GAR197201501	2015
81	Polygon Z	4306	GAR200201501	2015

Figura 7.10: A l'esquerra, l'script de Python a la calculadora de camps de l'Arcmap. A la dreta, el resultat final a la taula.

Per augmentar la informació "geogràfica" del fitxer d'allaus generem, a partir de l'MDE 5x5m de l'ICGC, un mapa de pendents en graus (Figura 7.11) i un d'orientacions (Figura 7.12). Amb aquesta informació podem realitzar una superposició amb les allaus directes i obtenir la mitjana dels valors per cada allau.

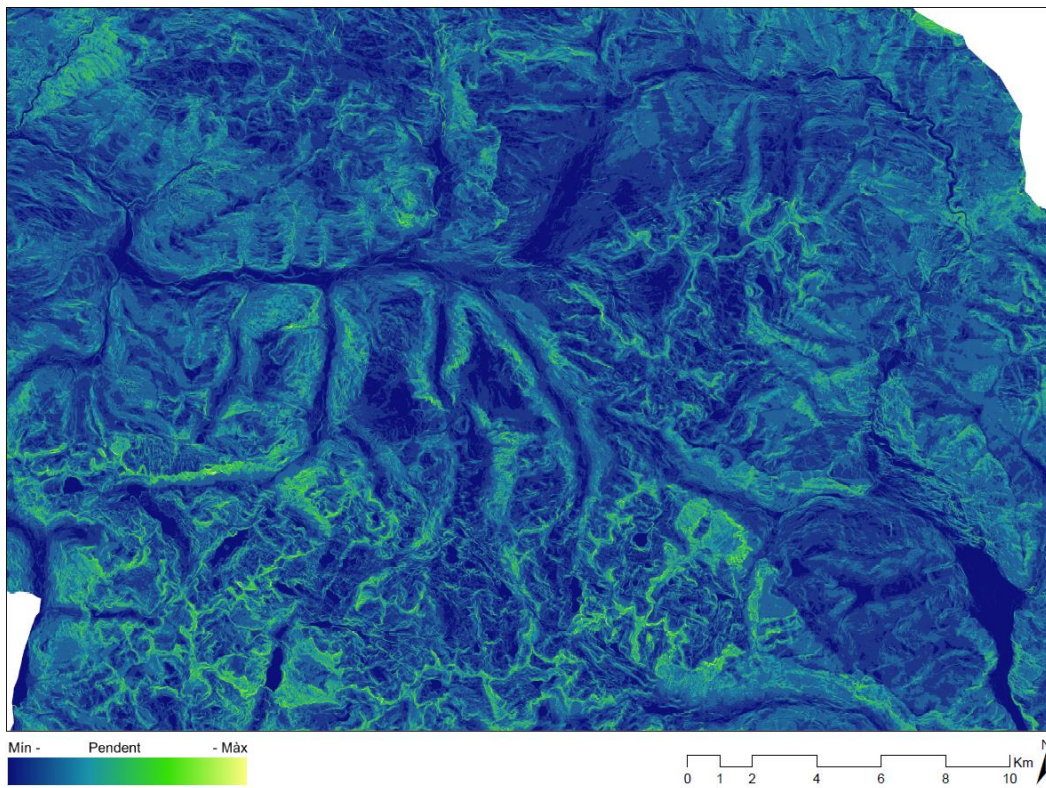


Figura 7.11: Exemple del mapa de pendents del Pirineu. Elaboració pròpia.

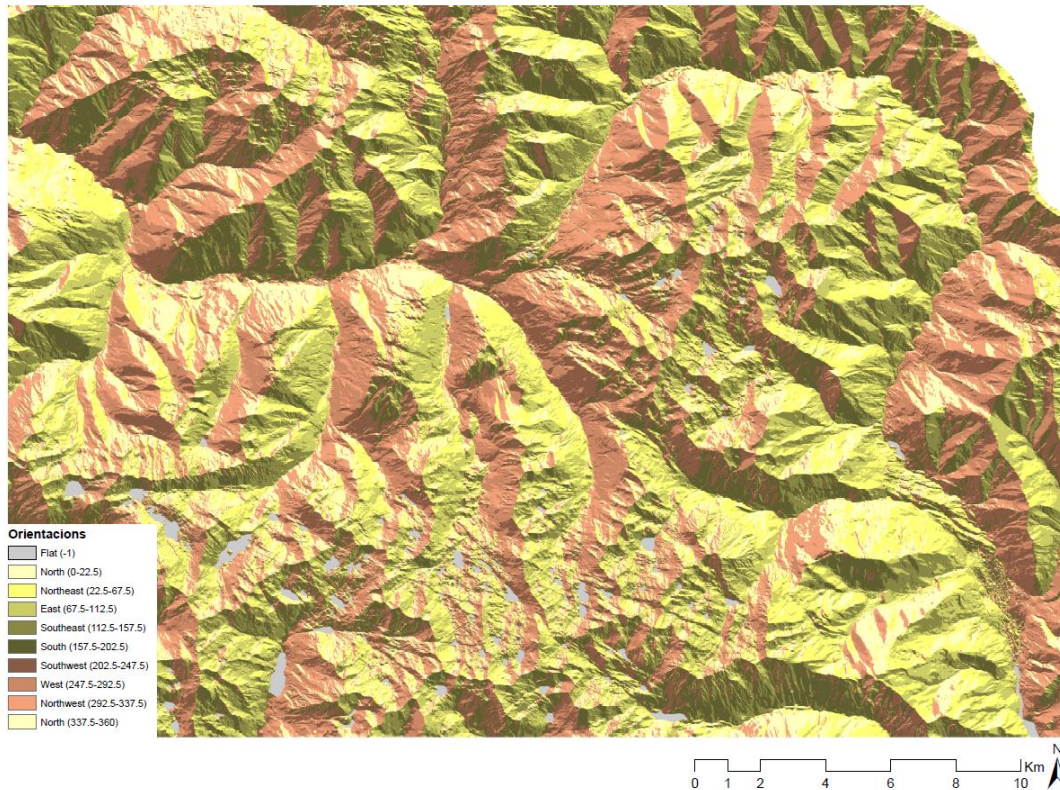


Figura 7.12: Exemple del mapa d'orientacions classificat del Pirineu. Elaboració pròpia.

El mapa d'orientacions, que s'elabora a partir del mapa d'elevacions, és un ràster continu que dona un valor a cada píxel en funció de la seva orientació. Els valors van de 0 a 360 graus (Figura 7.13) essent el Nord 0 i 360, l'est 90, el sud 180 i l'oest 270 graus, per exemple, un píxel amb valor 163 vol dir que "mira" al sud-sud-est. El nord, com que és l'inici i el fi de la circumferència, és representat pels valors mínims i màxims.

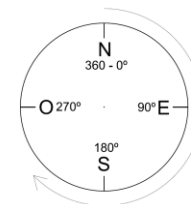


Figura 7.13: Esquema de la relació entre els valors i les orientacions. Elaboració pròpia

A l'hora de fer la superposició entre els polígons d'allaus i els mapes generats utilitzem l'eina de l'arcmapping anomenada Zonal Statistics Table, aquesta eina computa la intersecció entre la geometria dels polígons i els píxels dels ràsters per tal de poder calcular certes estadístiques dels píxels que es troben en l'interior de la intersecció. En aquest cas calculem la mitjana de tots els valors de cada mapa que intersequen amb les allaus.

En el cas del pendent el valor obtingut no es modifica, ja que així es poden fer les agrupacions que es requereixin per a cada estudi. Pel contrari, es considera que els valors de les orientacions són difícils d'interpretar per si sols i es reclassifiquen en vuit categories: Nord, Nord-est, Est, Sud-est, Sud, Sud-oest, Oest i Nord-Oest, tal i com mostra la llegenda del mapa d'orientacions (Figura 7.12).

Quan projectem informació cartogràfica en 2D les formes no estan en abatiment, és a dir que no es considera la influència de l'altura en les longituds ni àrees, quan volem mesurar longituds no obtenim la real sinó la projectada (Figura 7.14). Per tal de saber la superfície real de cada allau hem de dur a terme un procés d'interpolació amb el model digital d'elevacions i d'aquesta manera dotar

Recerca de noves dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

als vèrtexs del conjunt vectorial la coordenada Z d'altura. Ara que ja sabem les 3 coordenades (x, y, z) de cada vèrtex podem calcular l'àrea real de l'allau.

A continuació podem observar la taula final obtinguda, la que es mostren cada un dels registres d'allaus, amb el seu codi i la informació afegida:

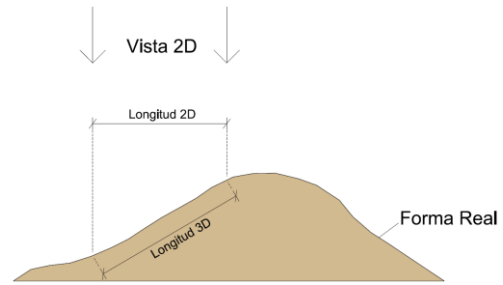


Figura 7.14: Esquema de l'abatiment de longituds. Elaboració pròpia.

OBJECTID	Shape *	gid	codiallau	Any	Orientacio	PendentM	Area 3D	Area 2D	Perimetre 3D	Perimetre 2D
1	Polygon Z	4373	RUD049201408	2014	O	32,256676	300,449486	229,693531	82,095701	66,494456
2	Polygon Z	4269	SMR170201503	2015	O	30,732155	3080,856995	2639,520912	367,670653	318,276986
3	Polygon Z	4288	TER088201501	2015	SE	28,976727	2424,741235	2099,318738	457,948916	388,733755
4	Polygon Z	3520	NTR251199501	1995	O	34,389004	7474,455759	5788,042986	792,293558	654,195422
5	Polygon Z	3521	PEG002199501	1995	E	21,368444	57706,447004	53384,111494	2112,161359	1975,638224
6	Polygon Z	4351	VFR215201401	2014	NE	30,020137	44069,969252	37133,230006	1556,273896	1341,324582
7	Polygon Z	4352	VFR221201401	2014	E	23,326146	12415,773241	10893,173948	958,79463	832,205464
8	Polygon Z	4353	VFR223201401	2014	NE	28,116403	59771,101295	51404,636199	1941,97446	1707,61745
9	Polygon Z	4354	VFR225201401	2014	E	27,309908	66626,843225	58109,70206	2077,072048	1884,428081
10	Polygon Z	4267	SMR170201501	2015	O	26,820648	1603,692128	1419,61886	288,442781	259,162908
11	Polygon Z	3833	PAR033199601	1996	NE	29,418499	48008,586906	40633,47238	1100,678768	960,066836
12	Polygon Z	4366	PAL360201401	2014	SO	34,127403	3939,972404	3256,976833	277,794836	241,499651
13	Polygon Z	4419	BNG044201403	2014	S	35,628236	3506,266397	2742,615211	305,050269	252,885537
14	Polygon Z	4420	RUD048201402	2014	O	31,190357	300,748116	240,236735	65,509115	58,037386
15	Polygon Z	4425	BNG045201404	2014	SO	10,35133	15036,759313	14716,513457	503,775115	493,377821
16	Polygon Z	4437	GAR205201404	2014	S	32,336483	493,614532	373,694545	91,541161	84,209862
17	Polygon Z	4499	RUD016201404	2014	O	38,745565	997,404984	759,923586	196,772329	160,351395
18	Polygon Z	4515	RUD053201413	2014	O	37,41479	391,96889	310,491436	125,119362	102,269636
19	Polygon Z	4516	GAR192201401	2014	O	34,704177	1406,175245	1129,23923	143,795261	131,661371
20	Polygon Z	4268	SMR170201502	2015	NO	30,156465	4920,368249	4240,631068	406,133017	358,929218
21	Polygon Z	198	BNG034201301	2013	S	21,391167	154,972168	139,717798	58,960135	54,980314

Figura 7.15: Mostra de la taula final d'allaus directes.

Per acabar, s'ha calculat quantes allaus hi ha hagut a cada zona d'allau, com ja hem dit aquestes zones delimiten els llocs potencials a on es poden produir allaus. Aquest fet no vol dir que n'hi hagin hagut, de les 17.811 zones de tot el Pirineu en trobem 16.289 en les quals no s'hi ha produït una allau en els últims 40 anys, per altra banda trobem zones amb més d'un centenar d'allaus en el mateix període.

Com que les allaus directes tenen el codi de zona inclòs dins el seu codi podem extreure els 6 primers caràcters (**NER115201101**), utilitzant un script similar a l'utilitzat anteriorment però enloc de [6:10], [0:6]. Un cop tenim un camp amb el codi de zona de cada allau podem realitzar una agregació pel codi de zona per saber quantes allaus hi ha hagut a cada una de les zones. En aquesta agregació totes les zones que hi apareixen han tingut com a mínim una allau, a l'hora de fer un join d'aquesta taula amb la original de zones d'allaus obtenim una sèrie de registres buits que són les zones amb zero allaus.

A continuació podem veure algunes mostres de la representació de la informació afegida a les allaus directes i a les zones d'allaus:

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa



Figura 7.16: Exemple de la visualització de l'orientació de les allaus. Base: mapa topogràfic 1:50.000 ICGC

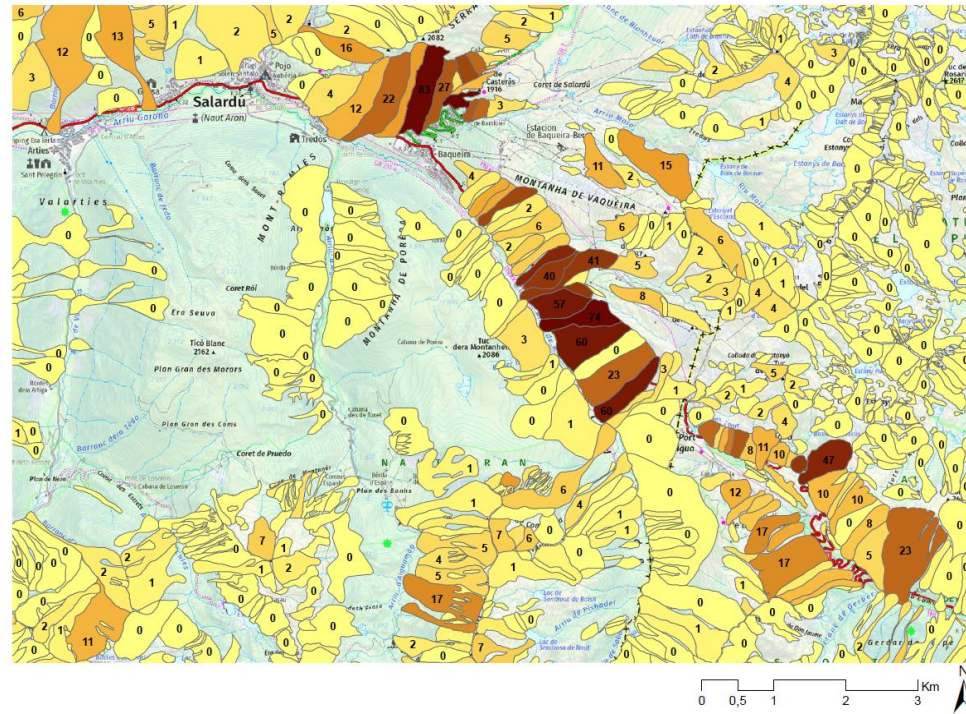


Figura 7.17: Mostra de la freqüència d'allaus per zona. Base: mapa topogràfic 1:50.000 ICGC

Recerca de noves de dades satel·litals.

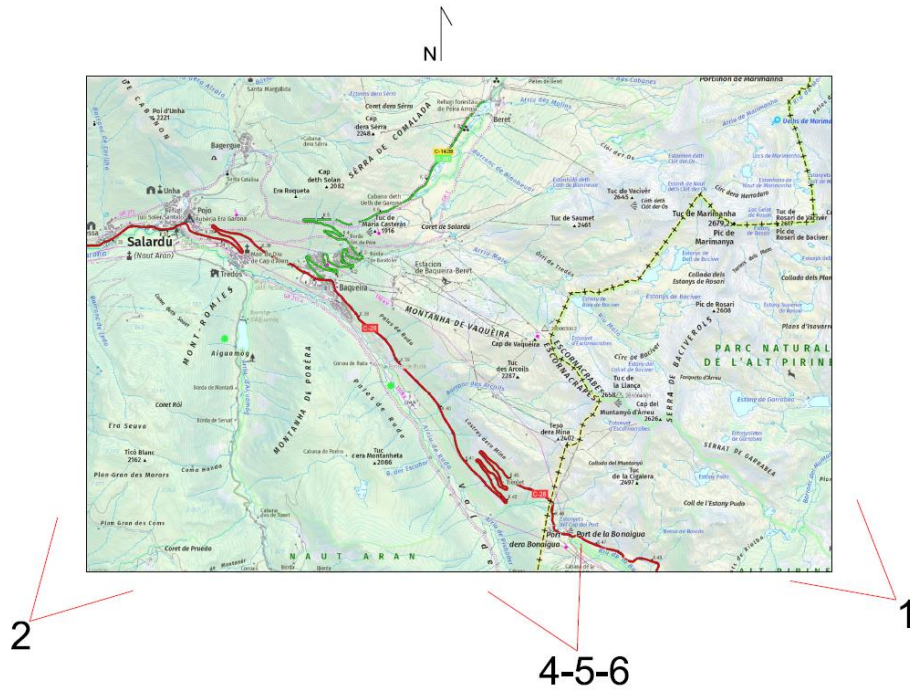
Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

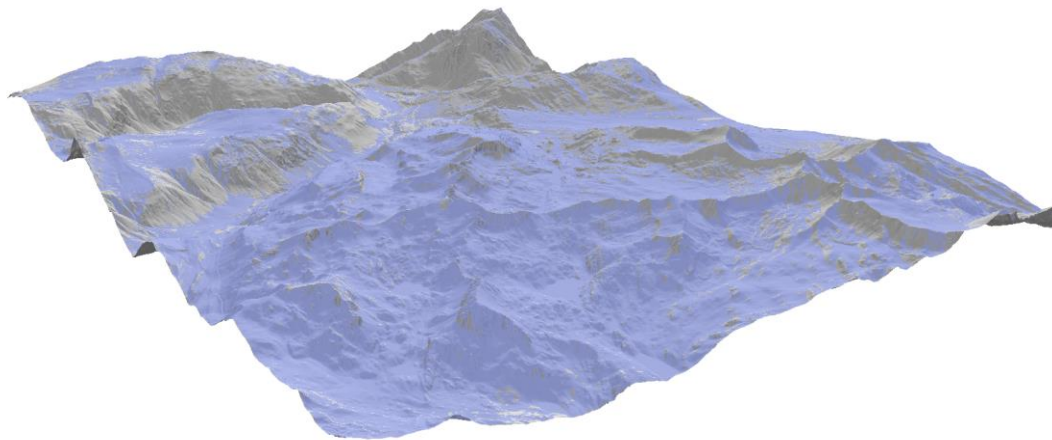
Arnau Ferràndiz Ensesa

7.3 Projeccions 3D

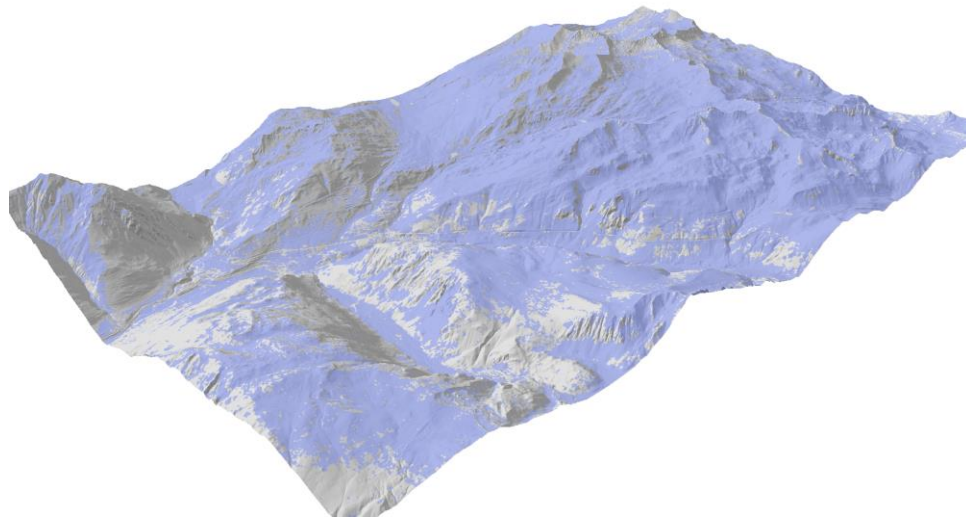
L'objecte d'aquest treball és arribar a generar unes dades per després projectar-les a la plataforma HAToM, com que malauradament el prototip de la Vall de Ruda encara no s'ha fressat no puc mostrar imatges reals de la projecció de les dades sobre la plataforma. És per aquest motiu que en aquest apartat mostrarem una simulació digital (feta amb Arcscene) d'aquesta projecció, utilitzant com a base l'MDE 2x2m de l'ICGC pintat de color blanc i amb il·luminació, emulant el poliuretà de la plataforma. La següent imatge ens indica el punt de vista des d'on s'han pres les captures:



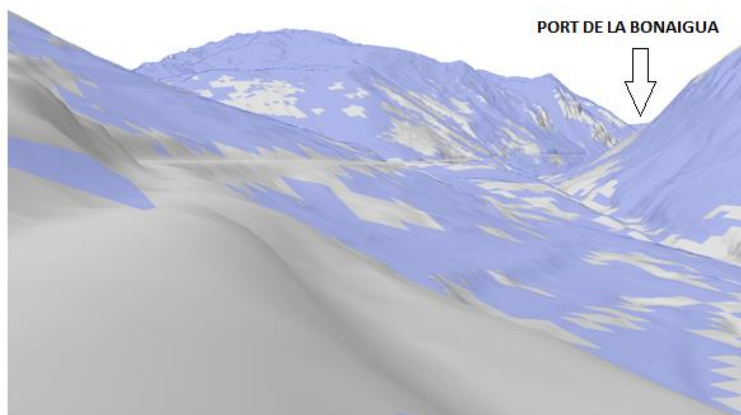
Imatge 1: Cobertura de neu del 15 de febrer del 2019.



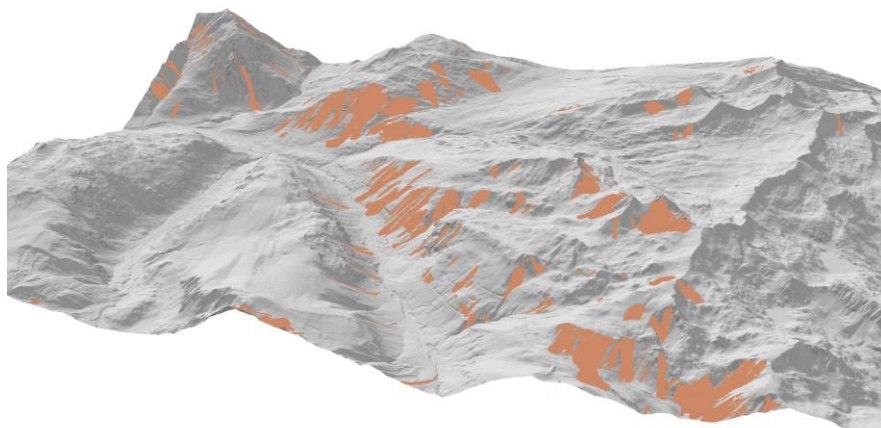
Imatge 2: Cobertura de neu del 15 de febrer del 2019



Imatge 3: Vista des de Vaquèria mirant cap a la carretera del Port de la Bonaigua. Cobertura de neu del 15 de febrer del 2019



Imatge 4: Allaus directes entre 1970 i 2015 a la Vall de Ruda i entorn.



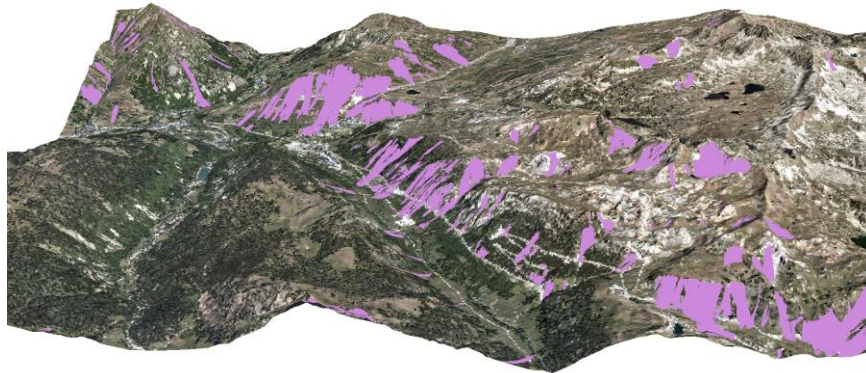
Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

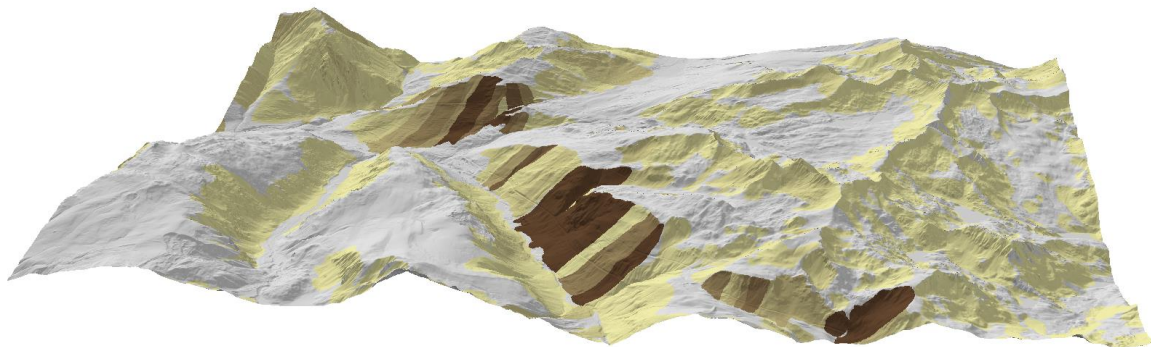
En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

Imatge 5: Projecció de les allaus directes amb l'ortofotografia de l'ICGC de 2,5x2,5 m com a base.



Imatge 6: Zones d'allaus segons quantitat d'allaus que s'hi han produït.



7.4 Discussió dels resultats

Una de les premisses amb les que es partia des de l'empresa era poder desenvolupar nous productes sense augmentar la infraestructura tecnològica de hardware i software i poder aconseguir aquests productes dins del període de pràctiques realitzat. És per aquest motiu que les úniques validacions que s'han dut a terme dels resultats han sigut visuals, de fotointerpretació, no s'ha realitzat treball de camp ni estudis estadístics de matrius de confusió. Dit això, els resultats obtinguts han mostrat una bona exactitud, dins dels marges de la limitació de treballar amb dades de 10 i 20 metres de costat de píxel. Com s'ha vist en els exemples de resultats de la cobertura de neu (Figures 7.5 a 7.8), trobem certs errors fruit de la saturació de certs píxels i també possibles errors d'omissió i/o comissió en el límit de la superfície nival.

Definir el límit de la neu, quina superfície està coberta de neu i quan deixa d'estar-ho, té un cert caràcter subjectiu o arbitrari: Quan podem dir que una superfície ja no la considerem com a nevada? Quan hi ha menys d'un 50% de neu, un 40%, un 10%? Segurament podem trobar arguments a favor

de diversos límits. Es va decidir obviar aquest aspecte i assegurar-nos visualment que els límits obtinguts eren consistents i coherents.

Si bé, es va considerar que la saturació d'alguns píxels i la definició del límit no ens impedié generat una imatge correcta i representativa de la superfície nevada els núvols sí que són un impediment important. La dependència d'un cel clar és fonamental en aquests procés, no és com generar un mapa de cobertes del sòl (amb una dinàmica molt més lenta) que podem agafar retalls d'imatges de diferents dies per generar un complet. En el nostre cas, es vol donar informació de la superfície en d'un dia concret, tot i que certs núvols de poca densitat es poden arribar a "eliminar" per tal d'obtenir dades de la superfície no hi ha res a fer amb les grans extensions de cúmuls densos des de l'aproximació dels sensors òptics. En casos d'episodis de nuvolositat densa i persistent seria aconsellable optar per sensors d'inferometria radar.

Pel que fa a les allaus, un cop afegida la informació addicional, s'han elaborat estadístiques per tal de complementar la informació cartografiada. En els següents gràfics i taules (Figures 7.18 i 7.19) podem observar les dades agrupades segons la seva orientació, d'aquesta manera podem comprendre millor les allaus que es produeixen en el nostre territori, dir que aquesta informació engloba tots els anys (1970-2015) però també es pot donar-li un tractament anual.

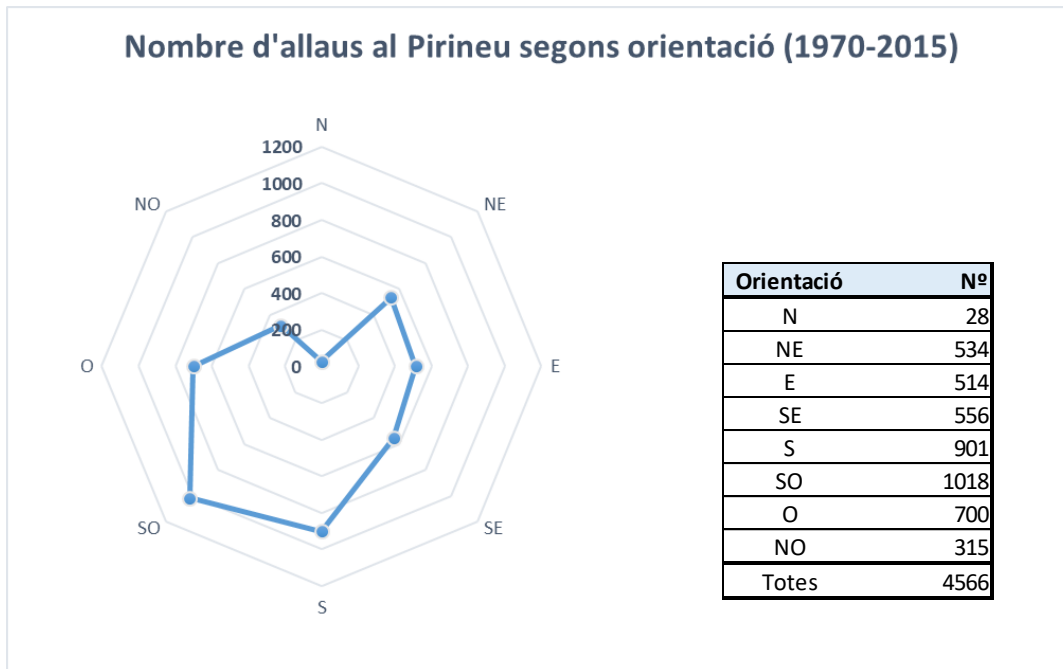


Figura 7.18: Gràfic radial de la quantitat d'allaus segons orientació, a la dreta taula resum. Elaboració pròpia.

Com podem observar en la figura superior, la gran majoria d'allaus (2.619) al Pirineu en els últims 45 anys s'han produït en vessants orientats entre Sud i Oest i pel contrari en vessants nord només se n'han produït 28. Possiblement aquest fet tingui molt a veure amb la geomorfologia dels Pirineus fruit de l'orogènesi alpina i amb l'aprofitament dels vessants de solana per a conreus i pastures (desforestats), tenint en compte també els afectes atmosfèrics detonants. Per altra banda en la

Recerca de noves de dades satel·litals.

Anàlisi i projecció de dades en una plataforma física de gestió de riscos (HAToM®).

En l'àmbit de la Vall de Ruda

Arnau Ferràndiz Ensesa

figura 7.19 observem que la superfície mitjana de les allaus és major en els vessants enfocats a Est i a Oest, possiblement per efectes climàtics.

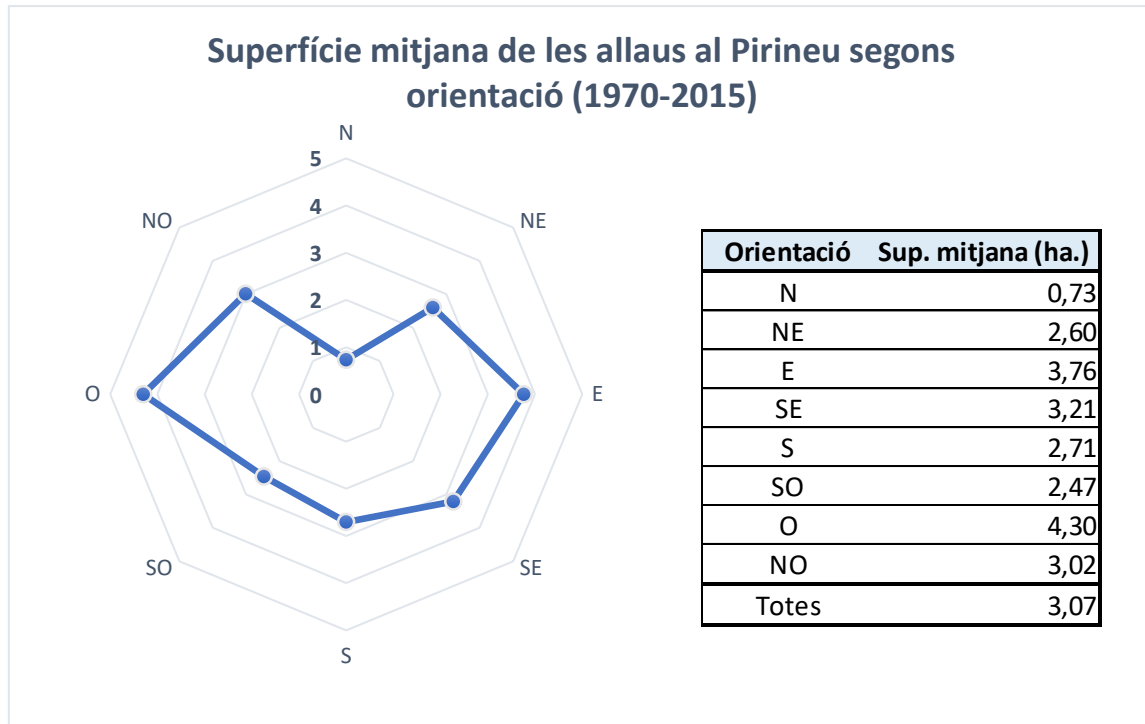
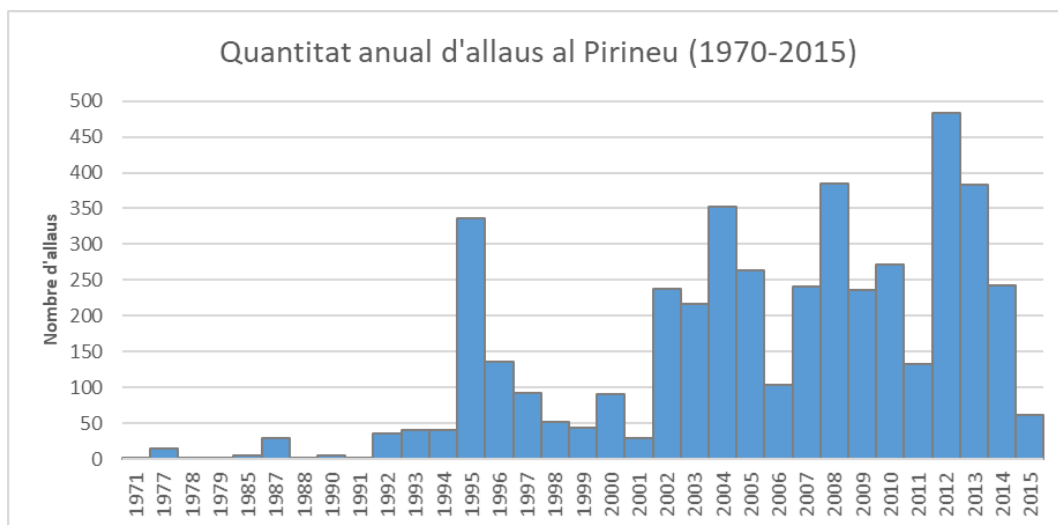


Figura 7.19: Gràfic radial de la superfície mitjana de les allaus segons orientació, a la dreta taula resum. Elaboració pròpia.

Com a última mostra de dades generades, la figura 7.20 mostra el nombre d'allaus que s'han recollit cada any al Pirineu Català.



8. CONCLUSIONS GENERALS

Per concloure aquest treball, per una banda vull remarcar la importància i la necessitat de tenir informació constant i actualitzada del territori per tal de poder-lo gestionar eficaçment i estar preparats per prendre decisions, aquest fet només requereix voluntat política i d'inversió, ja hi ha la tecnologia, els professionals i la infraestructura per fer-ho realitat.

Durant els anys hem vist com amb el canvi climàtic s'ha instaurat un *New Normal*, on cada vegada els desastres naturals són més freqüents i potents, les decisions i inversions en el territori només poden anar en un sentit si el volem mantenir. La millor gestió del territori és aquella multidisciplinària, amb una visió holística, que entengui el territori com un tot i no com paquets temàtics. Això requereix treballar amb equips de professionals en la qual la comunicació i comprensió són crucials i per tant tothom ha de parlar el mateix "idioma". Les noves tecnologies disruptives visuals de realitat augmentada, virtual, projeccions 3D, etc. ens permeten una interpretació del territori complementària a les convencionals que es pot traduir en millors i/o més ràpides decisions.

Cada vegada estem més exposats a informació (verdadera o falsa), molta d'aquesta és informació geoespacial i si no tenim la capacitat d'interpretar-la completament pot ser que una determinada simbologia o projecció ens condicioni i ens indueixi un seguit de idees. Davant d'aquesta amenaça és necessari fer un esforç per trobar formes de comunicació i transmissió de dades geoespacionals que en facilitin la interpretació.

Els satèl·lits d'observació de la Terra i de posicionament tenen encara molt potencial per mostrar, la Unió Europea gasta milions d'euros en finançar programes d'innovació per tal de que la inversió que es va per llançar i mantenir els satèl·lits tingui un impacte real en l'activitat econòmica i en les institucions. De tota manera els satèl·lits no són omnipresents ni omnipotents tenen les seves limitacions de resolució temporal, espacial i radiomètrica, estan dissenyats pensant en unes funcions generals no per satisfer les necessitats i requeriments de cada petita regió, potser a la llarga amb el desenvolupament de micro-satèl·lits sí que es podrà ampliar i especialitzar molt el ventall, però això és fer volar coloms, si més no aconseguirem omplir més l'espai de ferralla.

Per aquests motius, que les estacions de terra, els tècnics i els gestors són el pilar a l'hora de generar informació especialitzada i precisa del territori. Si es vol aconseguir una millor monitorització del territori no fa falta augmentar la inversió en programes espacionals sinó en xarxes terrestres tant automàtiques com de persones.

Per l'altra banda, també vull mencionar que tot i la necessitat de recerca científica per desenvolupar bons productes geoespacionals a partir de dades de satèl·lits, la naturalesa d'aquestes imatges també permet una aproximació menys tècnica i més superficial però amb resultats ràpids i relativament fiables que moltes empreses i institucions no especialitzades poden aprofitar i d'aquesta manera augmentar el seu valor afegit i el dels programes d'observació de la Terra.

9. BIBLIOGRAFIA

- Dietz, A. J., Kuenzer, C., Gessner, U., & Dech, S. (2012). Remote sensing of snow - a review of available methods. *International Journal of Remote Sensing*, 33(13), 4094–4134.
- European Space Agency (ESA). (2013). *Sentinel-2 User Handbook, Issue 1 Revision 2*. (1).
- Fierz, C., Armstrong, R. L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., McClung, D. M., Sokratov, S. A. (2009). The international classification for seasonal snow on the ground. *International Hydrological Programme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*, 83(1), 90.
- Gascoin, S., Grizonnet, M., Bouchet, M., Salgues, G., & Hagolle, O. (2019). Theia Snow collection: High-resolution operational snow cover maps from Sentinel-2 and Landsat-8 data. *Earth System Science Data*, 11(2), 493–514.
- Jovanovic, N., Garcia, C. L., Bagan, R. D. H., Teich, I., & Rodriguez, C. M. G. (2014). Validation of remotely-sensed evapotranspiration and NDWI using ground measurements at Riverlands, South Africa. *Water SA*, 40(2)
- Koskinen, J., Metsämäki, S., Grandell, J., Jänne, S., Matikainen, L., & Hallikainen, M. (1999). Snow monitoring using radar and optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 69(1), 16–29.
- Longépé, N., Shimada, M., Allain, S., & Pottier, E. (2010). Extracting Cryospheric Information over Lowlands from L-Band Polarimetric SAR Data. In E. Chuvieco, J. Li, & X. Yang (Eds.), *Advances in Earth Observation of Global Change*, Capítol 7. (pp. 79–95).
- NASA. (2011). *Landsat 7 Handbook*. 186.
- Okorn, R., Brunnhofer, G., Platzer, T., Heilig, A., Schmid, L., Mitterer, C., ... Eisen, O. (2014). Upward-looking L-band FMCW radar for snow cover monitoring. *Cold Regions Science and Technology*, 103, 31–40.
- Singh, V., Singh, P., & Haritashya, U. (2011). *ENCYCLOPEDIA of SNOW , ICE AND GLACIERS Encyclopedia of Earth Sciences Series*.
- USGS. (2019). *LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK Version 4.0 April 2019*.
- Xu L. (2010). MODIS Snow Monitoring Over the Tibetan Plateau. In E. Chuvieco, J. Li, & X. Yang (Eds.), *Advances in Earth Observation of Global Change*, Capítol 9. (pp. 111–124).
- Zhao, H., Fernandes R. (2010). Variability of Northern Hemisphere Spring Snowmelt Dates Using the AVHRR Polar Pathfinder Snow Cover During 1982–2004. In E. Chuvieco, J. Li, & X. Yang (Eds.), *Advances in Earth Observation of Global Change*, Capítol 8. (pp. 97–110).

Webgrafia

- European Comission. *Copernicus, Europe's eyes on Earth*. <https://www.copernicus.eu/en>
[última visita 06/07/2019]
- European Space Agency (ESA). *Level-2A Algorithm Overview*.
<https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-2a/algorithm>
[última visita 06/07/2019]
- Institut Cartogràfic I Geològic de Catalunya (ICGC). *Estratigrafia I resistència del mantell nival*.
<https://www.icgc.cat/Administracio-i-empresa/Serveis/Allaus/Sobre-les-allaus/Estratigrafia-i-resistencia-del-mantell-nival>
[última visita 06/07/2019]
- Institut d'Estudis Andorrans (IEA). *Els tipus de cristalls de neu*. <https://www.iea.ad/pagines-tematiques-edna/la-neu/els-tipus-de-cristalls-de-neu>
[última visita 06/07/2019]
- Institut d'Estudis Andorrans (IEA). *El metamorfisme de la neu seca*. <https://www.iea.ad/pagines-tematiques-edna/la-neu/el-metamorfisme-de-la-neu-seca>
[última visita 06/07/2019]
- Institut d'Estudis Andorrans (IEA). *El metamorfisme de la neu humida*. <https://www.iea.ad/pagines-tematiques-edna/la-neu/el-metamorfisme-de-la-neu-humida>
[última visita 06/07/2019]
- NASA. *Landsat Science*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
[última visita 06/07/2019]
- SEOS Project. <https://www.seos-project.eu/>
[última visita 06/07/2019]