

---

This is the **published version** of the bachelor thesis:

Blasi Arana, Isabel Camila. Sistema Integrado de Geoinformación para procesos geomorfológicos de alta montaña en un escenario de calentamiento global. 2020. (1373 Màster Universitari en Geoinformació)

---

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/231403>

under the terms of the  license

# Sistema Integrado de Geoinformación para procesos geomorfológicos fríos de alta montaña en un escenario de calentamiento global

---

INVENTARIO DE LOS GLACIARES ROCOSOS Y LÓBULOS PROTALUD DEL PARQUE NACIONAL DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI (CATALUÑA)

Isabel Blasi Arana

MÁSTER EN GEOINFORMACIÓN | UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

máster en  
geoinformación  
aplicaciones y gestión

ICGC  
Institut  
Cartogràfic i Geològic  
de Catalunya

UAB Universitat Autònoma  
de Barcelona

# Índice

<b>Sistema Integrado de Geoinformación para procesos geomorfológicos de alta montaña en un escenario de calentamiento global .....</b>	<b>2</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>2</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>7</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>8</b>
<b>Contexto geográfico y geomorfológico.....</b>	<b>9</b>
<b>Parte I. Inventario de los glaciares rocosos del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici .....</b>	<b>11</b>
<b>1.Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>2.Metodología.....</b>	<b>11</b>
2.1 Diseño conceptual y lógico de la BD alfanumérica .....	12
2.2Carga de datos en la BD alfanumèrica .....	18
2.3 Diseño conceptual y lógico UML de la BD espacial (GDB) .....	20
2.4 Carga de datos en la BD espacial.....	21
2.5 Especificaciones técnicas.....	22
<b>Parte II. Análisis de datos.....</b>	<b>28</b>
<b>1.Introducción.....</b>	<b>28</b>
<b>2.Metodología y resultados.....</b>	<b>29</b>
2.1 Análisis de datos .....	29
2.2 Interferometría.....	32
2.3 Climatología .....	35
<b>Parte III. Geoservicios.....</b>	<b>41</b>
<b>1.Introducción.....</b>	<b>41</b>
<b>2.Metodología.....</b>	<b>41</b>
<b>3.Resultados .....</b>	<b>42</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>44</b>
<b>Referencias bibliográficas/ web .....</b>	<b>45</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>46</b>
<b>Listado de litologías .....</b>	<b>46</b>
<b>Tablas Access con información .....</b>	<b>47</b>
<b>Formularios.....</b>	<b>53</b>

# Sistema Integrado de Geoinformación para procesos geomorfológicos de alta montaña en un escenario de calentamiento global

*La emergencia climática está acelerando algunos procesos geomorfológicos en la alta montaña. El calentamiento global es un problema grave que también afecta al ambiente periglacial y disminuye las zonas con suelo helado permanente, el permafrost. Este estudio presenta un Sistema Integrado de Geoinformación con el objetivo de inventariar 27 glaciares rocosos y lóbulos protalud, potencialmente activos, en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Cataluña, 2020), ya que la dinámica de ambas formas es un buen geoindicador de las tendencias climáticas. Se creará una base de datos para mantener un registro de estas formas e ir actualizándose. El Sistema podrá incorporar, posteriormente, la información relativa a otras geoformas o procesos relacionados con la criosfera en los Pirineos. Otros temas estudiados son el comportamiento y las características de estas geoformas. Se analizará la orientación, actividad, altitud y temperatura en la cuál se encuentran utilizando el gradiente térmico altitudinal (0,65°C cada 100 m de incremento vertical) e imágenes complementarias de interferometría con el satélite SAR. Todos los análisis realizados en este estudio serán integrados y publicados en la plataforma ArcGIS online, para poder seguir trabajando sobre ellos.*

**Palabras clave:** Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, Pirineos, criosfera, permafrost, glaciares rocosos, lóbulos protalud, SIG.

## Abstract

*The climatic emergency is accelerating some high mountain geomorphological processes. Global warming is a serious problem that also affects the periglacial environment and reduces the surface with permanent frozen ground conditions, the permafrost. This study presents an Integrated Geoinformation System to inventory 27, potentially active, rock glaciers and protalus lobes in the Aigüestortes i Estany de Sant Maurici National Park (Catalonia, 2020), since their activity are a good geo-indicator of climate trends. A database will be created to keep a record of these forms and keep updating. The System may subsequently incorporate information related to other geoforms or processes related to the cryosphere in the Pyrenees. Other subjects studied are the behavior and characteristics of these geoforms. The aspect, activity, altitude, and temperature where they are distributed will be analyzed using the altitudinal thermal gradient (-0,65°C every 100 m of elevation increase) and complementary interferometry images with the SAR satellite. All the analyzes carried out in this study will be integrated and published on the ArcGIS online platform, in order to continue working on them.*

**Key words:** Aigüestortes i Estany de Sant Maurici National Park, Pyrenees, cryosphere, permafrost, rock, glacier, protalus lobe, GIS.

# Introducción

Determinadas geoformas actúan como testigos de la historia de la Tierra, ya que proporcionan evidencias de cómo han cambiado tanto el clima terrestre y el ambiente donde se localizan. En zonas de clima frío, como las cumbres pirenaicas, la presencia de ciertas geoformas de erosión y acumulación de origen glaciar y periglacial<sup>1</sup>, sugiere la existencia de condiciones climáticas sensiblemente más frías que las actuales. Éste es el caso de los glaciares rocosos<sup>2</sup> y lóbulos protalud<sup>3</sup>, formas características del ambiente periglacial, que son muy abundantes en los Pirineos (Fig.1).



Fig.1 Imagen 3D del GR Mines d'Andreu et Gerber-Vall de la Bonaigua. Fuente: Ventura (2020).

Si bien los primeros estudios sobre los GR se centraban en su distribución y significado paleoclimático, durante las últimas décadas la monitorización térmica y dinámica de su desplazamiento ha permitido usar estas geoformas como geoindicadores de las tendencias climáticas recientes.

Antes de proseguir con el proyecto que se presenta a continuación, se describirán brevemente las principales características de los GR y LP, para situar mejor al lector.

Según la IPA<sup>4</sup>, los GR son formaciones de derrubios generadas por su desplazamiento sobre un suelo helado (permafrost<sup>5</sup>), pasado o presente, impulsado por la gravedad, detectable en el paisaje con la siguiente morfología: lóbulo frontal y márgenes laterales bien individualizados, y opcionalmente, topografía en la superficie con sucesión de crestas y surcos. Estas morfologías representan uno de los rasgos más sobresalientes de las regiones alpinas con dinámica periglacial. Se encuentran repartidas por todos los ambientes de montaña del planeta, aunque presenten características diferentes. A nivel general, constituyen una masa de clastos angulosos, en forma de lengua lobada con un núcleo congelado en su interior que tienden a desplazarse ladera abajo por deformación plástica y por efecto de la gravedad. El hielo puede encontrarse de forma intersticial, cementando así los detritos, o bajo la forma de un núcleo de hielo de origen glaciar cubierto por fragmentos rocosos (Gómez Ortiz et al., 2014<sup>6</sup>).

Esta dualidad en la que se puede presentar el hielo en los glaciares rocosos (origen periglacial vs glaciar) fue durante décadas tema de debate científico en la comunidad criosférica por su problemática para clasificarlos como formas glaciares o periglaciares, aunque ya se ha llegado a un consenso. Los GR, aunque tengan un núcleo de hielo de origen glaciar no dejan de ser glaciares rocosos y, por lo tanto, corresponden a morfologías periglaciares características de un ambiente de permafrost.

<sup>1</sup> El término periglacial se refiere a procesos geomórficos creados por el congelamiento de agua en hielo y a las áreas en donde estos procesos operan.

<sup>2</sup> Glaciar Rocosos (=Rock Glacier, en su nombre inglés). A partir de este punto se utilizará la nomenclatura RG para referirse a ellos.

<sup>3</sup> Lóbulo Protalud (= Protalus Lobe, en su nombre inglés). A partir de este punto se utilizará la nomenclatura PL para referirse a ellos.

<sup>4</sup> IPA (International Permafrost Association), fundada en 1983, tiene como objetivos fomentar la difusión del conocimiento sobre el permafrost y promover la cooperación entre personas y organizaciones nacionales o internacionales dedicadas a la investigación científica y trabajos de ingeniería relacionados con el permafrost y el suelo estacionalmente congelado.

<sup>5</sup> El permafrost es la capa de suelo permanentemente congelado, pero no permanentemente cubierto de hielo o nieve, de las regiones muy frías o periglaciares, como la tundra.

<sup>6</sup> A. Gómez-Ortiz, M. Oliva, F. Salvador-Franch, M. Salvà-Catarineu, D. Palacios, J. J. de Sanjosé-Blasco, L. M. Tanarro-García, J. Galindo-Zaldívar, and C. Sanz de Galdeano, 2014. Degradation of buried ice and permafrost in the Veleta cirque (Sierra Nevada, Spain) from 2006 to 2013 as a response to recent climate trends

Los glaciares rocosos tienen su máxima expresión geomorfológica en climas fríos de tendencia continental y semiárida (Höllerman, 1983<sup>7</sup>). Generalmente se sitúan al pie de paredes escarpadas que a veces constituyen los bordes de los anfiteatros de circo o laderas abruptas de valles en artesa (Serrat, 1979<sup>8</sup>; Gutiérrez y Peña, 1981<sup>9</sup>). Los clastos procedentes de la acción de la gelifracción<sup>10</sup> sirven de fuente de alimentación para los GR. Morfológicamente se clasifican, según la propuesta reciente de la IPA de 2020<sup>11</sup>, en:

- **Glaciares rocosos en lengua**, si la longitud es mayor que la anchura.
- **Glaciares rocosos lobados**, cuando la anchura supera a la longitud.
- **Glaciares rocosos complejos**, constituidos por morfologías mixtas (con sectores en lengua y otros lobulados).

La anchura de los GR varía entre 100 y 500 m y su longitud puede superar un quilómetro. La potencia del depósito alcanza en ocasiones los 50 m. Al ser una forma activa, como consecuencia de su movimiento de avance presentan un frente escarpado cuya inclinación oscila entre 35° y 45° (Barsch, 1996<sup>12</sup>). Los márgenes laterales también son abruptos y en su interior presentan un relieve superficial de crestas y surcos arqueados como consecuencia de la deformación plástica que experimenta la masa de derrubios congelada en su desplazamiento, generalmente perpendiculares a la dirección del flujo (Giardino et al., 1987<sup>13</sup>). El volumen transportado por un GR supera normalmente 1.10 m<sup>3</sup> de los que el 40-50%, corresponden a clastos y el 50-60% a hielo intersticial y en pequeños fragmentos. Se ha estimado que el movimiento o flujo descendente de estos escombros de roca es de unos pocos centímetros y decímetros por año; en el caso de los Pirineos, los GR tienen desplazamientos superiores a 10 cm/año, como es el caso del de Besiberri (Chueca & Andrés, 2011<sup>14</sup>). Las investigaciones han demostrado que el movimiento es el resultado de la deformación plástica del hielo contenido dentro de los escombros en bloque del GR. Está controlado por la pendiente y el contenido en hielo, así como por la temperatura y el tamaño de los clastos en su interior. Este movimiento viene impulsado por el propio peso del GR y la presencia de agua líquida en su base. El avance de éstos es menor que el de los glaciares y mucho mayor que el de los depósitos que se movilizan por soliflucción<sup>15</sup> (Oliva et al., 2014)<sup>16</sup>.

Teniendo en cuenta su actividad se diferencian:

- **Activo**: GR que se mueve cuesta abajo en la mayor parte de su superficie. En la actualidad, se han localizado glaciares rocosos activos a 2.600-2.950 m en el Pirineo Central: por ejemplo, su desplazamiento en el Macizo de Posets (Aragón) es de 22 cm/año (Serrano et al., 2002<sup>17</sup>).

<sup>7</sup> Höllerman P. (1983). *Blocgletscher als Masoformen der Periglazialstufe*. Bonner Geogr. Abhandlungen S., 67-73).

<sup>8</sup> Serrat, D., 1979: *Rock glacier morainic deposits in the Eastern Pyrenees*. In: sCHLÜCHTER, C.H. ed.: *Moraines and varves. Origin, genesis, classification*. A.A. Balkema. Rotterdam. 93-100.

<sup>9</sup> Gutiérrez, M., Peña Monne, J.L., (1981). *Los glaciares rocosos y el modelado acompañante en el área de La Bonaigua (Pirineo de Lérida)*. Bol. Geol. Y Min., 92: 101-110.

<sup>10</sup> La gelifracción o gelivación es un proceso consistente en la fragmentación de las rocas debido a las tensiones producidas al congelarse agua contenida en sus grietas, fracturas y poros.

<sup>11</sup> IPA Action Group Rock Glacier inventories and kinematics, Towards standard guidelines for inventorying rock glaciers, 2020.

<sup>12</sup> Barsch, D. 1996. *Rockglaciers: indicators for the present and former geocology in high mountain environments*. Berlin: Springer.

<sup>13</sup> Giardino, J. R., and Vick, S. G., 1987. *Geologic engineering aspects of rock glaciers*. In Giardino, J. R., Shroder, J. F., Jr., and Vitek, J. D. (eds.), *Rock Glaciers*. London: Allen and Unwin, pp. 265-287

<sup>14</sup> Chueca Cía, J. y Julián Andrés, A., 2011. *Besiberri glacigenic rock glacier (central pyrenees, Spain): Mapping surface horizontal and vertical movement (1993-2003)*.

<sup>15</sup> La soliflucción es el proceso geomorfológico característico de zonas de clima periglacial, consistente en el desplazamiento masivo y lento por gravedad de formaciones arcillosas u otros tipos de suelo sobre el permafrost a causa de la plasticidad y fluidez adquirida por aquellos cuando absorben gran cantidad de agua.

<sup>16</sup> Marc Oliva, Antonio Gómez Ortiz, Ferran Salvador Franch and Montserrat Salvà Catarineu., (2014). *Present-Day Solifluction Processes in the Semi-arid Range of Sierra Nevada (Spain)*.

<sup>17</sup> Serrano, E., Agudo, C., González Trueba, J.J., (2002). *La deglaciación de la alta montaña del macizo del Posets (Pirineo aragonés)*. *Morfología, evolución y fases morfológicas glaciares*. Cuaternario & Geomorfología, 16: 111-126.

- Transicional:** GR con bajo movimiento solo detectable por medición y / o restringido a áreas de extensión no dominante. En antiguas clasificaciones eran denominados Intact/ Inactive GR. Según el contexto topográfico y/o climático, los glaciares rocosos transicionales pueden evolucionar hacia un relicto (degradado) o un estado activo. En los Pirineos, en alturas de 2.500 a 2.700 m es posible encontrar glaciares rocosos en este estado (Ventura, 2016<sup>18</sup>; Batalller, 2019<sup>19</sup>) como por ejemplo el de Contraix – Serradé en el Parc Nacional d'Aigüestortes y Estany de Sant Maurici (Fig.2). Otro ejemplo, que se utilizó como referencia para definir este tipo en la IPA es el GR de Sierra Nevada (GómezOrtiz et al., 2014<sup>20</sup>).
- Relicto:** GR sin movimiento detectable y sin evidencia morfológica de movimiento reciente y/o contenido de hielo. El núcleo interno congelado ya no existe y como resultado, pueden presentar rasgos de colapso por criokarst<sup>21</sup>. La mayoría de los glaciares rocosos en los Pirineos se incluyen en esta categoría (Serrano et al., 1999<sup>22</sup>).
- Indefinido:** datos inadecuados para discriminar entre las clases de actividad.



Fig. 2. Imagen del GR de Contraix -Serradé, indicado con un contorno rojo. Fuente: Josep Ventura 2016.

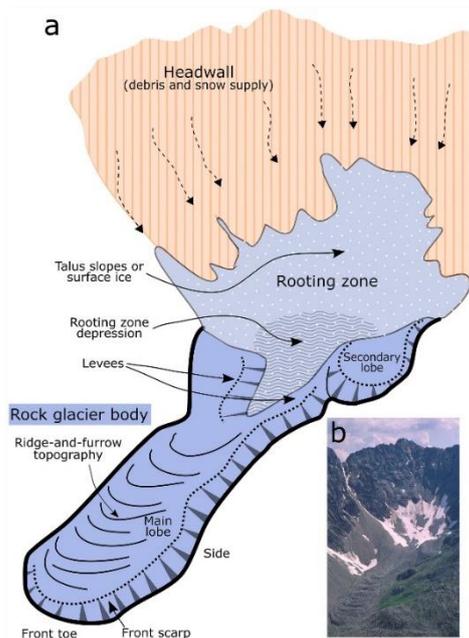


Fig.3. A) Esquema general de un GR indicando la nomenclatura y las características que suelen tener estas formas. B) Imagen del GR de Besiberri a partir del cual se ha realizado el esquema.

Los GR son depósitos periglaciares que se pueden detectar en el paisaje con la siguiente morfología: frente, márgenes laterales y, opcionalmente, en la superficie, crestas y el surco (Fig.3). Los criterios geomorfológicos son:

- Frente:** un talud pronunciado y discernible delimita la parte terminal del GR, cuando está poco erosionado dibuja una morfología convexa perpendicular a la dirección del flujo principal. Para un GR que se desarrolla en una pendiente pronunciada, el frente puede ser más difícil de reconocer.
- Márgenes laterales:** continuación lateral perceptible del frente. Sin embargo, éstos pueden estar ausentes particularmente en la parte superior del relieve.
- Crestas y surcos en superficie:** pronunciadas pendientes convexas u ondulaciones superficiales longitudinales, asociadas con el flujo de compresión actual o antiguo.

<sup>18</sup> Ventura, J. (2016). Identificación e inventario de potenciales glaciares rocosos activos en los Pirineos mediante fotointerpretación en visores cartográficos 2D y 3D: Primeros resultados. *Polígonos-Revista de Geografía*, 28, pp. 95-121. Universidad de León, León.

<sup>19</sup> Batalller, F.J. (2019). Pyrenaic rock-glaciers: an airborne and multitemporal lidar monitoring case study in the Besiberri area. *Earth ArXiv*, <https://doi.org/10.31223/osf.io/nxveh>

<sup>20</sup> Gómez Ortiz, A., Palacios, D., Palade, B., Vázquez-Selem, L., and Salvador-Franch, F., 2012: The deglaciation of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 159-160: 93-105.

<sup>21</sup> Modelado, generalmente cuevas o depresiones, producido por la fusión rápida del hielo concentrado por segregación en el subsuelo.

<sup>22</sup> Serrano, E, C. Agudo, and E. Martínez de Pisón. 1999. Rock glaciers in the Pyrenees. *Permafrost and Periglacial Processes* 10:101-106.

Los GR son buenos indicadores del clima actual relacionado con las condiciones térmicas en la región polar y altas montañas, y se han utilizado en la reconstrucción de la evolución paleoclimática y paisajística (Serrano et al., 2006<sup>23</sup>). Las propiedades hidrológicas de los GR están controladas por las condiciones climáticas locales, las propiedades térmicas de la capa de escombros y los mecanismos físicos que controlan el flujo de agua de deshielo a través del GR. El ciclo hidrológico de un GR puede variar lentamente con el cambio climático a largo plazo y más rápidamente con las fluctuaciones estacionales de la temperatura ambiente (Darren et al., 2019<sup>24</sup>). Éstas formas a veces juegan un papel importante en el ciclo hidrológico de las cuencas alpinas, aunque no es el caso de los GR que se encuentran en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici ya que su gran mayoría pertenecen a GR relictos, es decir sin presencia actualmente de hielo en su interior.

Aun así, el calentamiento global está afectando negativamente los glaciares y el permafrost (Meredith, et al., 2019<sup>25</sup>). Los núcleos de hielo y el hielo intersticial en los GR-LP se ven afectados negativamente, aunque en menor grado en comparación con los glaciares, debido al manto aislante de los escombros que presentan en superficie los glaciares rocosos. La monitorización de su movimiento (velocidad de flujo y movimientos verticales en su superficie, subsidencia por fusión de hielo) permite cuantificar el impacto de la evolución del cambio climático en las zonas de alta montaña en los Pirineos ya que los GR activos son indicadores de la presencia del permafrost y la degradación de éste implica un cambio de estado térmico de la masa congelada.

Para acabar se describirá, como se ha indicado anteriormente, los LP. Estas formas se han tratado erróneamente en la bibliografía, ya que constituyen formas convergentes y, por lo tanto, diferentes procesos generan formas similares, aunque distintas en su génesis. Esta similitud en apariencia con otras formas ha llevado a la confusión en las clasificaciones y las interpretaciones genéticas. El término lóbulo protalud fue acuñado por Richmond en 1962 (en Crandell y Miller, 1974<sup>26</sup>) en referencia a la forma de relieve periglacial.

Actualmente se describe como “una geoforma periglacial formando un lóbulo al pie de un talud o cono de derrubios, sin presencia de crestas y surcos. El flujo que construye el lóbulo protalud está asociado a la presencia de permafrost en la base del talud (hielo intersticial, manchones de nieve cubiertos de derrubios). En general su movimiento es más lento que el de los GR y son más anchos (lóbulo) que largos” (González et al., 2016<sup>27</sup>). Por ello, como en el caso de los glaciares rocosos, su presencia constituye los mejores geoindicadores de la presencia de permafrost en las montañas mediterráneas (Oliva et al., 2018<sup>28</sup>).

---

<sup>23</sup> Enrique Serrano, José Juan de Sanjosé and Juan José González-Trueba, 2006, *Rock glacier dynamics in marginal periglacial environments*.

<sup>24</sup> Darren B. Jones, Stephan Harrison, Karen Anderson W. Brian, 2019, *Rock glaciers and mountain hydrology: A review*

<sup>25</sup> M. Meredith, M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, A. Ekaykin, A. Hollowed, G. Kofinas, A. Mackintosh, J. Melbourne-Thomas, M. M. C. Muelbert, G. Ottersen, H. Pritchard, E. A. G. Schuur, *Polar Regions. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. IPCC Spec. Rep. (2019)*.

<sup>26</sup> Crandell, D.R., Miller, R., 1974. *Quaternary stratigraphy and extent of glaciation in the Mount Ranier Region, Washington. Geological Survey Professional Paper 847, Washington*.

<sup>27</sup> M. González García, E. Serrano Cañadas, J.J. Sanjosé Blasco, J.J. González Trueba, 2016. *Surface dynamic of a protalus lobe in the temperate high mountain. Western Maladeta, Pyrenees*.

<sup>28</sup> Oliva, M.; Žebre, M.; Guglielmin, M.; Çiner, A.; Vieira, G.; Bodin, X.; Andrés, N.; Colucci, R.R.; García-Hernández, C.; Hughes, P.; Mora, C.; Nofre, J.; Palacios, D.; Pérez-Alberti, A.; Ribolini, A.; Ruiz-Fernández, J.; Sarıkaya, M.A.; Serrano, E.; Urdea, P.; Valcárcel, M.; Woodward, J. & Yıldırım, C. (2018). *Permafrost conditions in the Mediterranean region since the Last Glaciation. Earth-Science Reviews, 185: 397-436*.

# Antecedentes

Desde que se empezaron a estudiar las geoformas de ambientes periglaciares varios estudios han tratado el tema de inventariarlas para poder tener un registro de ellas.

En 2005, Seppi et al.<sup>29</sup>. llevaron a cabo una investigación dónde proponía la creación de una nueva base de datos para el censo y caracterización de los GR de los Alpes italianos, Val d'Ultimo (Ortles-Cevedale Group) basada en el análisis de fotografías aéreas. La metodología combinaba la observación estereoscópica de fotografías aéreas con el uso de un SIG para el mapeo e identificación de los principales parámetros morfométricos de las geoformas.

Posteriormente, también en la zona de los Alpes Italianos se realizaron un par de estudios más, en el 2010. Curtaz et al.<sup>30</sup>, presentaron un nuevo inventario de los GR de la región del Valle de Aosta. Luego de una localización preliminar, realizaron la delimitación manual en un entorno GIS cruzando la información visual proveniente de la visión estereoscópica de imágenes acopladas IRFC, ortofotos y efecto de sombreado derivado de DTM. En esta ocasión los principales parámetros geomórficos se calcularon automáticamente mediante herramientas GIS y todas las características de los GR se insertaron en una base de datos. El mismo año Scapozza et al.<sup>31</sup>, inventariaron en la zona de los Alpes del Tesino, Italia, 203 GR y utilizaron el análisis de la interferometría de radar de apertura sintética (InSAR) para definir la actividad de los GR. A partir de ese año se han ido sucediendo los estudios que inventarian GR utilizando una base de datos y un entorno SIG. Algunos ejemplos más, entre otros, son:

- El inventario de GR de todos los grupos montañosos de los Alpes tiroleses dentro del programa espacial alpino PermaNET para proporcionar información de la distribución del permafrost en los Alpes europeos y perfeccionar los modelos existentes. Realizado en 2012, por Krainer et al.<sup>32</sup>.
- Cartografiar en un entorno GIS mediante fotointerpretación los GR y LP existentes en el valle de Arán (España). Utilizando imágenes de alta resolución del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña, la base de datos ESRI (Environmental Systems Research Institute) y Google Earth pro 3D. Por Fernandes et al., 2016<sup>33</sup>.
- La digitalización y evaluación de seiscientos sesenta y un glaciares de roca en el norte de Absaroka y Beartooth Ranges del centro-sur de Montana utilizando tecnología de sistemas de información geográfica y una serie de parámetros topográficos y ambientales. Por Seligman et al., 2019<sup>34</sup>.

El hecho de inventariar los GR-LP ya se ha estado realizando de forma rigurosa, sobre todo en Europa. Es importante tener un registro de estas geoformas porque nos proporcionan gran información sobre el entorno periglacial en el cual se encuentran y la presencia o no del permafrost en él.

El trabajo que se presenta a continuación se basa en algunos de los artículos mencionados anteriormente. Se realizará una base de datos para inventariar geoformas potencialmente activas en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Con el inventario creado se realizará un análisis de los datos y se determinará si hay algún GR-LP que pueda categorizarse como definitivamente activo.

<sup>29</sup> Seppi R., Carton A., & Baroni C., 2005. *Proposta di nuova scheda per il censimento dei rock glaciers da fotografie aeree: applicazione sull'alta Val D'ultimo (Gruppo Ortles-Cevedale)*.

<sup>30</sup> Curtaz M., Vagliasindi M., Letey S., Morra di Cella U., & Pogliotti P., 2010. *New rock glaciers inventory of Aosta Valley, Italy*.

<sup>31</sup> Scapozza C., Mari S. 2010. *Catasto, caratteristiche e dinamica dei rock glaciers delle Alpi Ticinesi*.

<sup>32</sup> Krainer K., & Ribis M., 2012. *A Rock Glacier Inventory of the Tyrolean Alps (Austria)*.

<sup>33</sup> Fernandes M., Lopes L., Oliva M., Ruiz-Fernández J., 2016. *Topographical conditions and geomorphological distribution of rock glaciers and protalus lobes in Aran valley (Central Pyrenees)*.

<sup>34</sup> Seligman ZM, Klene AE, Nelson FE. Rock glaciers of the Beartooth and northern Absaroka ranges, Montana, USA. *Permafrost and Periglac Process*. 2019;1–11. <https://doi.org/10.1002/ppp.2019>

# Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo general crear una estructura de datos que permita almacenar la información de los procesos geomorfológicos del ámbito de la criosfera<sup>35</sup> - centrados en GR y LP - del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Cataluña) y su área de influencia. Concretamente, el estudio se centrará únicamente en los 27 GR-LP potencialmente activos que tiene el parque (Ventura, 2016<sup>36</sup>) por mostrar un interés geomorfológico y ser, asimismo, geoindicadores de tendencias climáticas. Al haberse identificado un total de 464 GR-LP (Martí & Serrat, 1992, para la totalidad del parque nacional; Fernandes et al., 2017, para Boí i Aràn; Ventura, 1983, 2010, 2020, para Espot, Son y Bonaigua respectivamente; Furdada, 1988, para la Vall d'Àssua), el proyecto abarcará el 5'8% de los GR-LP totales en el área de estudio por ser los localizados en los enclaves más elevados y, consecuentemente, potencialmente los que pueden conservar permafrost y mantener cierta dinámica de movimiento

Aunque en este trabajo solo se utilizaran los datos de los glaciares rocosos para hacer el inventario que se propone, este trabajo pretende dejar preparada toda la estructura, la base de datos, con su completa capacidad, para que, posteriormente pueda ser completada con la información de los diferentes procesos geomorfológicos y geformas que pueden ser de interés para la criosfera (ej: debris flows, frost mounds, patterned ground...).

Junto con este objetivo general del inventario de los 27 GR-LP del parque, este proyecto persigue dos objetivos específicos: por una parte, se analizará la información recogida/obtenida y se crearán diferentes productos con los resultados obtenidos. Estos análisis consisten en:

1. Análisis de datos
  1. Orientaciones principales de los GR-LP.
  2. Cota de los frentes (base) - distribución altitudinal (cinturones altitudinales de 50 m).
  3. Relación de la extensión de los GR-LP.
2. Capa satélite radar y datos interferométricos
  1. Incorporar la capa con las medidas de desplazamiento a los GR-LP efectuadas por interferometría SAR (sector Besiberri-Punta Harlé).
  2. Estudiar la capa interferométrica vs la delimitación de los GR-LP introducidos al sistema (actividad / No actividad).
3. Climatología
  1. A partir de los datos de temperatura media anual del aire de las estaciones meteorológicas situadas en el ámbito del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici y sus márgenes, y del gradiente térmico vertical standard en la atmosfera libre (0,65°C /100 m), elaborar un mapa de isotermas (intervalos de 1°C) con la temperatura media anual, a partir de la cota 2.000 m.
  2. Analizar la temperatura media anual del aire y su relación con la topografía y la distribución de los GR-LP.

Por otra parte, el segundo objetivo específico de este trabajo, el apartado de Geoservicio, consistirá en subir todas las capas resultantes del análisis a la plataforma del software libre ArcGIS online.

<sup>35</sup> La criósfera es el término que describe las partes de la superficie de la Tierra donde el agua se encuentra en estado sólido, que incluye el hielo del mar, el hielo del lago, el hielo del río, los glaciares, las capas de hielo y terreno congelado

<sup>36</sup> Ventura, J. (2016). Identificación e inventario de potenciales glaciares rocosos activos en los Pirineos mediante fotointerpretación en visores cartográficos 2D y 3D: Primeros resultados. Polígonos-Revista de Geografía., 28, pp. 95-121. Universidad de León, León.

## Contexto geográfico y geomorfológico

El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, creado en 1955, es el único Parque Nacional español situado en Cataluña. Se encuentra en la provincia de Lleida, en la parte central de los Pirineos, entre cuatro comarcas pirenaicas: la Alta Ribagorça, el Pallars Sobirà, el Pallars Jussà y la Val d'Aran. Presenta dos áreas: El clima mediterráneo de alta montaña es el dominante en el sector meridional del parque nacional (cuencas de la Noguera Ribagorçana y Noguera Pallaresa), mientras que el sector septentrional es claramente de clima atlántico (Val d'Aran, cuenca de la Garona).

**Comunidad Autónoma:** Cataluña

**Provincia:** Lleida

**Coordenadas:** Longitud 01º 00 E. Latitud 42º35 N

**Fecha de declaración como Parque Nacional:** Decreto de 21 de octubre de 1955

**Superficie:** Parque Nacional, 13.900 ha; Zona periférica de protección, 26.079 ha

El parque tiene 40.852 ha divididos en dos zonas de protección, la zona interna y la zona periférica (Fig.4). La zona interna es la que corresponde exactamente con el parque nacional, y tiene 14.119 ha. La zona periférica, con 26.733 ha, rodea a la zona interna.

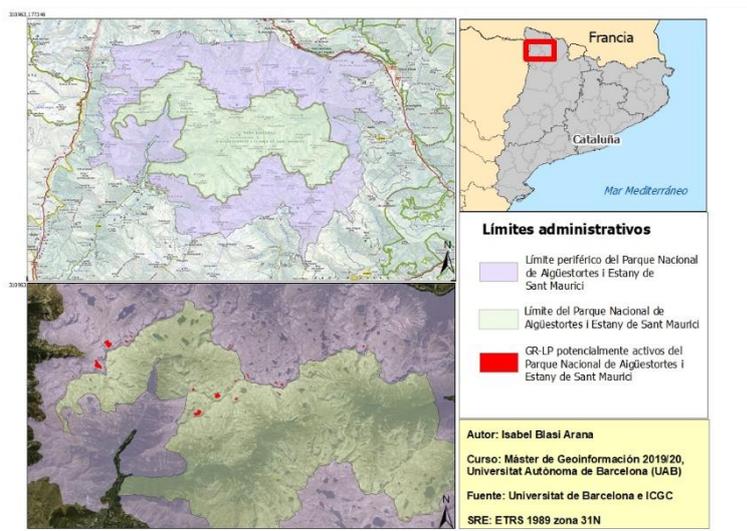


Fig.4. Mapa situación del ámbito de trabajo.

En la zona interna se encuentra, íntegramente, en los municipios de la Vall de Boí y Espot. En la vertiente de Boí se encuentra el valle del río Sant Nicolau y la cabecera del valle del río Noguera de Tor además de los lagos Llong y Llebreta. En la vertiente de Espot se encuentra el río Escrita y el Estany de Sant Maurici.

La «zona periférica» incluye los municipios de Vielha y Naut Aran en la Val d'Aran; de Vilaller y Vall de Boí en l'Alta Ribagorça; La Torre de Cabdella en el Pallars Jussà; y Espot, Alt Àneu, Esterri d'Àneu, la Guingueta d'Àneu y Sort en el Pallars Sobirà.

La temperatura media anual del aire en el parque oscila entre 0 y 5°C en función de la altura, con unas precipitaciones anuales de alrededor de 900 mm y 1300 mm repartidas en unos 150 días de precipitación. De ellos, en un mínimo de 100 la precipitación es en forma de nieve en las cotas más elevadas del Parque.

La zona pertenece a la unidad morfoestructural del "Pirineo Axial" formado exclusivamente por rocas de edad paleozoica (granitos, pizarras, calizas, etc) involucradas posteriormente en tres mantos de corrimiento (Rialp, Nogueres y Orri) durante la orogenia alpina. Estos dos últimos mantos el de Orri al S y el de las Nogueres al N se encuentran separados por la Falla Norte de la Maladeta, de edad Neógena (Ortuño, 2008<sup>37</sup>). El roquedo dominante en el área del parque y especialmente en la zona de alta montaña, son los granitos y granodioritas de la terminación oriental del batolito de la Maladeta que se formaron durante la Era Primaria (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya-ICGC, 2007). Estos materiales tan antiguos se levantaron del fondo del mar durante la orogenia alpina, en

<sup>37</sup> Ortuño, M. 2008. *Deformación activa en el Pirineo Central: la falla Norte de la Maladeta y otras fallas activas*. Tesis doctoral, 346 pp. Risknat, Departament de Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona.

la Era Terciaria, dando lugar a los Pirineos actuales. Lo que marca sobre todo el carácter geomorfológico del Pirineo central son las sucesivas glaciaciones de la Era Cuaternaria que cubrieron las montañas de extensos glaciares de decenas de kilómetros de longitud. Los circos glaciares con un gran número de lagos, las cascadas, los picos afilados, las crestas puntiagudas, así como la forma de U de los valles constituyen un magnífico ejemplo de la acción erosiva de estos glaciares. A su vez, en las culminaciones más elevadas, hay una amplia gama de formas periglaciares, incluyendo los GR y PL, objeto de este estudio y cuya génesis se relaciona con el proceso de deglaciación de la montaña pirenaica (especialmente a partir de los 17,5 ka BP<sup>38</sup>).

---

<sup>38</sup> Ka (Kilo años, un milenio) BP (Before the Present, referencia internacional siendo el punto de inicio 1950 CE).

# Parte I. Inventario de los glaciares rocosos del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

## 1. Introducción

Se propone crear una base de datos para almacenar información georreferenciada de las diferentes morfologías periglaciares, aunque en este trabajo se profundizará únicamente en los glaciares rocosos (RG) y los lóbulos protalud (LP). La creación de la Base de datos se realizará mediante el software libre PostgreSQL<sup>39</sup>.

PostgreSQL es la base de datos relacional de tipo Open Source más popular del mercado. Está disponible para la mayoría de los Sistemas Operativos, desde MacOS y Windows a sistemas Linux o Ubuntu, entre otros.

Este software aporta una gran flexibilidad dado que soporta múltiples lenguajes para programar funciones como PLpgreSQL, PLPython, PLPHP, etc. El espectro de tipos de datos con los que puede trabajar es muy amplio, entre los que destacan:

- Datos primitivos como enteros, numéricos, cadenas de texto, booleanos.
- Datos Estructurados como datos de fecha y hora, arrays o identificadores únicos.
- Documentos como JSON, XML, Key-value.
- Datos Geométricos: puntos, líneas, círculos y polígonos.
- Formatos personalizados

## 2. Metodología

En esta parte del trabajo se realiza el inventario completo de las 27 geofomas escogidas. Para crearlo, se realizará una base de datos (BD) con información alfanumérica y espacial. Se realiza el siguiente diagrama de flujo para organizar el trabajo de esta parte (Fig.5):



Fig. 5. Diagrama de flujo, del orden de trabajo para la Parte I.

<sup>39</sup> PostgreSQL, también llamado Postgres, es un sistema de gestión de bases de datos relacional orientado a objetos y de código abierto, publicado bajo la licencia PostgreSQL, similar a la BSD o la MIT.

## 2.1 Diseño conceptual y lógico de la BD alfanumérica

Antes de empezar a crear la BD, se debe hacer un diseño conceptual de ésta. Por lo tanto, se realiza un diagrama Entidad-Relación para definir correctamente cómo será la estructura. Para hacerlo se utiliza una herramienta de libre acceso y online, llamada *Lucidchart*. Definimos así; las entidades y sus atributos, además de la cardinalidad que habrá entre ellas. A partir de un consenso entre investigadores de los glaciares rocosos de la UAB y el ICGC, se definen las entidades y los atributos de cada una. Se concluye que habrá 5 entidades en la BD, que serán: Localización, Morfometría, Características, Observaciones de campo e Información adicional.

Para estandarizar la base de datos, todos los nombres, tanto de las entidades; como de sus atributos creados, utilizaran nomenclatura anglosajona. A continuación, se muestra el diagrama entidad-relación creado para la BD (Fig. 6):

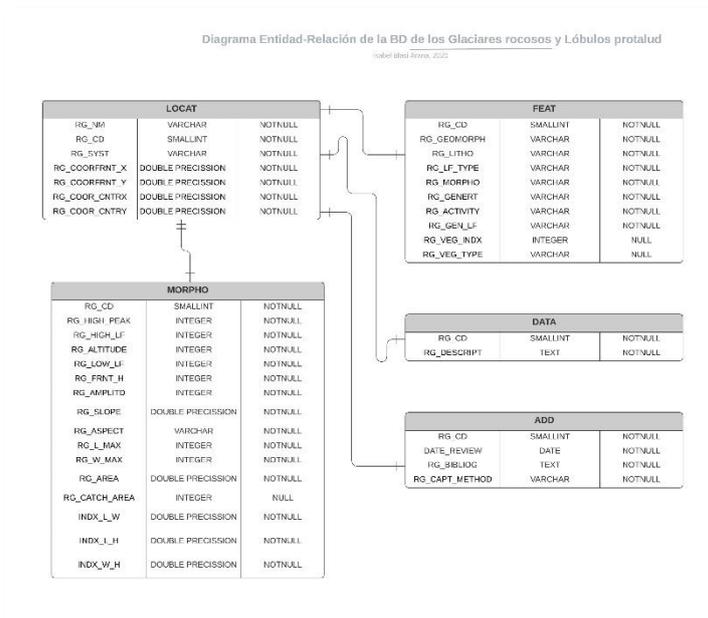


Fig. 6. Diagrama guía Entidad-Relación de la BD de los GR-LP. Servirá como esquema para realizar las tablas y la estructura de la BD.

De las 5 entidades representadas, la identificadora y de la que parten las relaciones es la tabla LOCAT, ya que es una tabla que representa la información básica para identificar glaciares rocosos. Como se observa en el diagrama, todas las cardinalidades entre entidades son iguales (1:1), ya que, al ser un inventario, las tablas son particulares para cada uno de los GR.

Con el diagrama creado y las entidades, relaciones y cardinalidades definidas se procede a la especificación completa de las tablas, campos, nombres físicos de cada elemento y claves primarias<sup>40</sup>, usando el modelo conceptual de referencia. Cada uno de los atributos que forman dichas tablas tiene otorgado un datatype<sup>41</sup> diferente según sus necesidades, para poder implementar la BD sin errores. Los datatype utilizados han sido:

**Integer**-> int, int4-> Entero con signo, 4 bytes.

**Double precision**-> float8-> Número de punto flotante de precisión doble.

<sup>40</sup> Clave primaria, es una columna o un conjunto de columnas en una tabla cuyos valores identifican de forma exclusiva una fila de la tabla. Una base de datos relacional está diseñada para imponer la exclusividad de las claves primarias permitiendo que haya sólo una fila con un valor de clave primaria específico en una tabla

<sup>41</sup> Datatype, es un atributo de los datos que indica al ordenador (y/o al programador/programadora) sobre la clase de datos que se va a manejar. Esto incluye imponer restricciones en los datos, como qué valores pueden tomar y qué operaciones se pueden realizar.

**Character varying(n)**-> varchar(n) -> Cadena de caracteres de longitud variable.

**Date** -> Fecha (año, mes, día).

**Text** -> Cadena de caracteres de longitud variable.

**Enumeration** -> Valores previamente fijados por tablas.

A continuación, se muestra la estructura de cada tabla y se definen los atributos que hay en ella, así como la especificación tanto de las claves primarias como del valor NULL. Éste último se refiere a la capacidad de los atributos para aceptar valores nulos en la BD.

## 1. Localización

Tabla que contiene los campos generales de los GR o los LP.

LOCAT				Location	1
Nombre físico	Atributo	Tipo	Clave primaria	Null	
RG_NM	Name	Character varying (25)		NO	
<b>RG_CD</b>	Code	Smallint	PK_LOCAT	NO	
RG_SYST	GR System or Unit	Character varying (25)		NO	
RG_COOR_FRNT_X	Coordinates of the GR front (Lat)	Double Precision		NO	
RG_COOR_FRNT_Y	Coordinates of the GR front (Long)	Double Precision		NO	
RG_COOR_CNTR_X	Coordinates of the centroid of the polygon GR	Double Precision		NO	
RG_COOR_CNTR_Y	Coordinates of the centroid of the polygon GR	Double Precision		NO	

- **RG\_NM:** Nombre del GR/LP, definido por el grupo de expertos. Es un atributo de tipo VARCHAR, ya que únicamente se utilizan caracteres sin valores numéricos.
- **RG\_CD:** Código específico del GR/LP para identificarlo. Es un atributo de tipo INTEGER, porque se utilizan sólo valores numéricos. Al ser un valor invariable, queda designado como clave primaria.
- **RG\_SYST:** Identificación del GR/LP por el macizo al que pertenecen, utilizando la cartografía 1:50.000 del ICGC. Es un atributo de tipo VARCHAR.
- **RG\_COOR\_FRNT\_X** y **RG\_COOR\_FRNT\_Y:** Coordenadas geográficas de la base del frente del GR o del LP (Latitud/Longitud). El sistema de referencia geodésico usado es ETRS89. Es un atributo de tipo DOUBLE PRECISION, debido al uso de varios decimales cuando se utilizan coordenadas.
- **RG\_COOR\_CNTR\_X** y **RG\_COOR\_CNTR\_Y:** Coordenadas geográficas del centro del GR (Latitud/Longitud), utilizando el sistema de referencia geodésico ETRS89. Es un atributo de tipo DOUBLE PRECISION.

## 2. Morfometría

Tabla que contiene los campos que se refieren a la morfometría del GR/LP.

MORPHO				Morphometry	2
Nombre físico	Atributo	Tipo	Clave primaria	Null	
<b>RG_CD</b>	Code	Smallint	PK_MORPHO	NO	
RG_HIGH_PEAK	Highest peak (m)	Integer		NO	
RG_HIGH_LF	Highest landform elevation (m)	Integer		NO	
RG_ALTITUDE	Mean altitude (m)	Integer		NO	
RG_LOW_LF	Lowest landform elevation (m)	Integer		NO	

RG_FRNT_H	Front height (m)	Integer		NO
RG_AMPLITD	Amplitude (m)	Integer		NO
RG_SLOPE	Slope (between root-forehead sup)	Double Precision		NO
RG_ASPECT	General orientation (Aspect)	Enumeration		NO
RG_L_MAX	L- Max. Length (m)	Integer		NO
RG_W_MAX	W- Width max. (m)	Integer		NO
RG_AREA	Area (m <sup>2</sup> )	Double Precision		NO
RG_CATCH_AREA	Rock glacier catchment area	Integer		YES
INDX_L_W	Index L/W (ratio length and width)	Double Precision		NO
INDX_L_H	Index L/H (ratio length and amplitude)	Double Precision		NO
INDX_W_H	Index W/H (ratio width and amplitude)	Double Precision		NO

- **RG\_CD:** Código específico del GR/LP para identificarlo, es un atributo de tipo SMALLINT porque se utilizan sólo valores numéricos. Al ser un valor invariable, queda designado como clave primaria.
- **RG\_HIGH\_PEAK:** Pico más elevado que domina del GR/LP en metros (m). Es un atributo de tipo INTEGER ya que es un valor numérico con decimales.
- **RG\_HIGH\_LF:** Parte más elevada del GR/LP, la raíz, en metros (m). Es un atributo de tipo INTEGER.
- **RG\_ALTITUDE:** Altitud media (entre la cota de la raíz y la cota del frente, base del frente) en metros (m). Es un atributo de tipo INTEGER.
- **RG\_LOW\_LF:** Parte más baja del GR/LP, el frente, en metros (m). Es un atributo de tipo INTEGER.
- **RG\_FRNT\_H:** Altura del frente del GR/LP, entre la base y la parte superior del lóbulo frontal. En metros (m). Es un atributo de tipo INTEGER.
- **RG\_AMPLITD:** Amplitud (la diferencia entre la cota máx. y mín.) en metros (m). Es un atributo de tipo INTEGER.
- **RG\_SLOPE:** Pendiente (entre la raíz y el frente) en grados (°). Es un atributo de tipo DOUBLE PRECISION, porque incluye números decimales.
- **RG\_ASPECT:** Orientación general, sólo se pueden entrar los siguientes valores: N, S, NW, NE, SW, SE, E y W. Es un atributo de tipo ENUM, porque es un listado caracteres.
- **RG\_L\_MAX** y **RG\_W\_MAX:** Largo y ancho máximo medido del GR/LP. Es un atributo de tipo INTEGER.
- **RG\_AREA:** Área del GR/LP en metros cuadrados (m<sup>2</sup>). Es un atributo de tipo DOUBLE PRECISION.
- **RG\_CATCH\_AREA:** Extensión del área fuente que domina el GR, en metros cuadrados (m<sup>2</sup>). Es un atributo de tipo INTEGER.
- **INDX\_L\_W:** Índice L / W (relación largo y ancho), en metros (m). Es un atributo de tipo DOUBLE PRECISION.
- **INDX\_L\_H:** Índice L / H (relación longitud y amplitud), en metros (m). Es un atributo de tipo DOUBLE PRECISION.
- **INDX\_W\_H:** Índice W / H (relación ancho y amplitud) en metros (m). Es un atributo de tipo DOUBLE PRECISION.

### 3. Características

Tabla que contiene los campos de características físicas de los GR o LP.

FEAT	Features	3		
Nombre físico	Atributo	Tipo	Clave primaria	Null
RG_CD	Code	Smallint	PK_FEAT	NO
RG_GEOMORPH	Geomorphological setting	Enumeration		NO
RG_LITHO	Lithology	Enumeration		NO
RG_LF_TYPE	Landform type	Enumeration		NO
RG_MORPH	Morphological classification	Enumeration		NO
RG_GENERT	Generations of rock glacier	Enumeration		NO
RG_ACTIVITY	GR status (active, inactive, transitional, fossil)	Enumeration		NO
RG_GEN_LF	Genesis of the landform	Enumeration		NO
RG_VEG_INDX	Vegetation index (%)	Integer		YES
RG_VEG_TYPE	Types of vegetation	Character Varying (100)		YES

- **RG\_CD:** Código específico del GR/LP para identificarlo, es un atributo de tipo SMALLINT porque se utilizan sólo valores numéricos. Al ser un valor invariable, queda designado como clave primaria.
- **RG\_GEOMORPH:** Geomorfología del GR/LP. El atributo es de tipo ENUM, sólo se podrá rellenar utilizando las geomorfologías fijadas anteriormente para no dar lugar a error. Sólo se admite las siguientes opciones:
  - CIRQUE: *vertiente, pie de vertiente, fondo de circo.*
  - VALLEY: *vertiente, pie de vertiente, fondo de valle.*
- **RG\_LITHO:** Litología del GR/LP, se utilizará la nomenclatura del mapa geológico creado por el ICGC a escala 1:50.000, verificado por la normativa INSPIRE<sup>42</sup> (en Anexos, se puede encontrar la lista extensa de todos los campos). Solo se podrá rellenar utilizando las litologías fijadas anteriormente por el ICGC. El atributo es de tipo ENUM.
- **RG\_LF\_TYPE:** Se diferenciará si es un Lóbulo Protalud (LP) o un Glaciar Rocoso (RG). El atributo es de tipo ENUM.
- **RG\_MORPH:** Morfología del GR/LP la nomenclatura que se utilizará será:
  - TS= *Tongue-shaped (Si longitud (L) > anchura (W), tenemos un índice L/W > 1)*
  - LS= *Lobate (Si longitud (L) < anchura (W), tenemos un índice L/W < 1)*
  - CX= *Complex*
 El atributo es de tipo ENUM.
- **RG\_GENERT:** Generación del GR/LP. Se utilizarán únicamente los criterios definido por Frauenfelder y Käab, 2000:
  - M = *monomórficos*
  - P= *polimórficos*
 El atributo es de tipo ENUM.
- **RG\_ACTIVITY:** Estado del GR/LP, siguiendo la clasificación de IPA Action Group en el documento Rock glacier inventories and kinematics (2018-2022). Siguiendo los criterios dictaminados por IPA, las únicas opciones serán:
  - ACT = *Active (Activo: GR que se mueve cuesta abajo en la mayor parte de su superficie).*
  - TRANS = *Transitional (Transicional: GR con bajo movimiento solo detectable por medición y/o restringido a áreas de poca extensión).*

<sup>42</sup> INSPIRE, iniciativa de la UE para establecer una infraestructura de información espacial en Europa que está diseñada para ayudar a hacer que la información espacial o geográfica sea más accesible e interoperable para una amplia gama de propósitos que apoyan el desarrollo sostenible.

- RELCT = *Relict (Reliquia: GR sin movimiento detectable y sin evidencia morfológica de movimiento reciente y/o contenido de hielo).*
- UNDF = *Undefined (Indefinido: datos inadecuados para discriminar entre las clases de actividad).*

El atributo es de tipo ENUM.

- **RG\_GEN\_LF:** Génesis de la morfología del GR/LP. Siguiendo la clasificación de IPA Action Group en el documento Rock glacier inventories and kinematics (2018-2022). Las únicas opciones posibles serán:
  - TAL = *talus-derived (EL GR está subyacente y conectado a una unidad formada por un talud con cierta pendiente, que se alimenta predominantemente por la actividad de caída de roca, pero también por la escorrentía superficial, el flujo de escombros y/o los eventos de avalancha desde la cabecera).*
  - GLA=*glacier derived (Continuidad desde un glaciar (cubierto de escombros) o parche de hielo a una parte del GR (transición "glaciar cubierto de escombros a glaciar de roca").*

El atributo es de tipo ENUM.

- **RG\_VEG\_INDX:** Índice de vegetación que se encuentra en el GR/LP, en porcentaje (%). El atributo es de tipo INTEGER.
- **RG\_VEG\_TYPE:** Tipo de vegetación que se encuentra en el GR/LP, es un campo descriptivo. EL atributo es de tipo VARCHAR.

#### 4. Datos de campo

Tabla con los datos de campo obtenidos del GR/LP.

DATA		Data field observation			4
Nombre físico	Atributo	Tipo	Clave primaria	Null	
RG_CD	Code	Smallint	PK_DATA	NO	
RG_DESCRIPTOR	Brief description	Text		YES	

- **RG\_CD:** Código específico del GR/LP para identificarlo, es un atributo de tipo SMALLINT porque se utilizan solo valores numéricos. Al ser un valor invariable, queda designado como clave primaria.
- **RG\_DESCRIPTOR:** Breve descripción del GR en el campo, alguna característica especial que no se haya visto antes, puntualizaciones sobre el estado o el desplazamiento, etc. Es un atributo de tipo TEXT porque permite escribir sin limitaciones de caracteres.

#### 5. Datos adicionales

Tabla con los datos adicionales relativos su origen, captura y versión.

ADD		Additional data			5
Nombre físico	Atributo	Tipo	Clave primaria	Null	
RG_CD	Code	Smallint	PK_ADD	NO	
DATE_REVIEW	Date of review	Date		NO	
RG_BIBLIOG	Bibliography	Text		NO	
RG_CAPT_METHOD	Capture method	Character varying (100)		NO	

- **RG\_CD:** Código específico del GR/LP para identificarlo, es un atributo de tipo SMALLINT porque se utilizan solo valores numéricos. Al ser un valor invariable, queda designado como clave primaria.
- **DATE\_REVIEW:** Fecha de la digitalización de los datos o de las últimas revisiones que se han registrado sobre estos. Es un atributo de tipo DATE porque como su nombre indica, se debe de introducir una fecha.
- **RG\_BIBLIOG:** Mención al artículo científico dónde se cartografió por primera vez, el GR/LP en cuestión. Es un atributo de tipo TEXT porque no tiene restricciones en el uso de caracteres.
- **RG\_CAPT\_METHOD:** Método de captura que se utilizó para cartografiar el GR/LP (Ej: ortofoto, campo, LiDAR...). Es un atributo de tipo VARCHAR.

Con el modelo lógico constituido se realiza la creación de la BD con de software libre PostgreSQL. Primero se procede a la instalación del software en la versión recomendada para trabajar posteriormente tanto con ArcGIS<sup>43</sup> como QGis<sup>44</sup> (PostgreSQL 9.6 > pgAdmin IV<sup>45</sup>) y se genera una nueva conexión especificando los parámetros de usuario y contraseña establecidos durante la instalación. Con la conexión en funcionamiento creamos una base de datos (*database*) con las siguientes especificaciones:

- **Name:** *morpho\_periglaciari*.
- **Owner:** postgres
- **Description:** BD de morfologías periglaciares del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, Cataluña (2020).
- **Encoding:** UTF 8
- **Temple:** postgres

Se trabajará sobre el esquema ya predeterminado *public* y añadiremos las extensiones necesarias para el tipo de BD que se quiere crea. Como en este caso habrá elementos espaciales georreferenciados y ráster, se generan las extensiones: Postgis y Postgis\_raster.

### Extensión PostGIS: para datos espaciales

Es la extensión espacial para PostgreSQL, una herramienta impulsada por OsGEO (*Open Source Geospatial Foundation*<sup>46</sup>), que permite almacenar y trabajar con datos de tipo geométrico. Se trata de un módulo de ampliación indispensable para PostgreSQL a la hora de trabajar en proyectos GIS.

La extensión PostGIS permite dotar a la base de datos relacional PostgreSQL de una serie de ventajas, como:

- Soporte para archivos GIS ráster y vectoriales.
- Provee funciones de análisis, transformación y consulta espaciales.
- Velocidad de procesamiento gracias a índices espaciales.
- Herramientas de geocodificación, 3D, topología, cálculo de rutas...

Cuando se añade esta extensión se crea la tabla *geometry\_columns* que es un catálogo de las columnas espaciales existentes en la base de datos. Como PostGIS no utiliza los tipos de datos espaciales de PostgreSQL, debe buscarse una manera de identificar qué campo contiene geometrías. Esto se hace

<sup>43</sup> ArcGIS, es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI.

<sup>44</sup> QGis, es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android.

<sup>45</sup> pgAdmin IV, es la herramienta para gestionar las bases de datos espaciales PostGIS.

<sup>46</sup> OsGEO, es una organización no gubernamental cuya misión es dar soporte y promover el desarrollo colaborativo de tecnologías geoespaciales y datos abiertos.

de manera estándar (OGC<sup>47</sup>) manteniendo un catálogo con la lista de columnas espaciales que existen. Cuando un cliente, como ArcMap por ejemplo, intente identificar las tablas espaciales que hay en la base de datos irá a la tabla *geometry\_columns* y verá referencias a las tablas que contienen los datos espaciales. Por esto hay que tenerla siempre actualizada. Por otra parte, la tabla *spatial\_ref\_sys* contiene una lista con los sistemas de referencia disponibles.

### Extensión Postgis raster

PostGIS Ráster es una extensión realizada sobre PostGIS que tiene como objetivo añadir a la base de datos soporte nativo para datos de tipo ráster. Con dicha extensión podemos almacenar, manipular y analizar datos ráster en la base de datos PostgreSQL/PostGIS. Entre las características más destacadas de PostGIS Ráster:

- Cada ráster/tesela está georreferenciada.
- Soporte multibanda y gestión de los valores.
- Indexación espacial sobre las teselas de la capa.
- Construcción de índices GIST sobre columnas raster.
- Soporta pirámides (overviews) para optimizar la visualización según el zoom.
- La lista de columnas ráster está disponible en una vista *raster\_columns*.

## **2.2. Carga de datos en la BD alfanumèrica**

Cuando la BD ya está creada en PostgreSQL, se procede a la creación de las tablas en Access utilizando como referencia el modelo lógico realizado anteriormente. Creamos los campos, en Access, porque es un sistema más sencillo y está aceptado por la mayoría de software de gestión de base de datos. Con las tablas vacías, se fijan las claves primarias dónde se ha decidido. Luego, procedemos a rellenar los campos con la información proporcionada por la Universitat de Barcelona (UB), sobre los glaciares rocosos y lóbulos protalud de la zona que se quiere estudiar (Fig. 7). El resultado final de las tablas con los campos complementados puede visualizarse en Anexos. Al haber utilizado Access para rellenar los atributos de las tablas, algunos datatypes cambian. Es el caso de aquellos campos que en el modelo conceptual han sido definidos con el datatype ENUM. Este tipo de dato únicamente existe en PostgreSQL y por lo tanto el equivalente en Access sería añadir un asistente de búsqueda con el listado escogido y unas reglas de validación para que únicamente se permitan entrar los datos de la lista fijada. En el modelo conceptual de las tablas se mantiene el datatype ENUM porque se trabaja con un listado cerrado de caracteres.

Cuando las tablas están finalizadas se procede a crear también formularios para cada una de ellas. De esta manera se agiliza la entrada de nueva información en la base de datos. Para crearlos, sólo hay que usar la opción que ofrece Access de "Formulario" y marcar la tabla deseada. En dichos formularios se introducirán también botones para mejorar la experiencia de entrada o modificación de datos. En la siguiente Fig. 8, se visualiza el resultado final del formulario de la tabla LOCAT (los otros formularios se podrán observar en los Anexos):

---

<sup>47</sup> Open Geospatial Consortium (OGC), es una organización internacional sin fines de lucro comprometida con la creación de estándares abiertos e interoperables para la comunidad geoespacial global en el marco de dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la World Wide Web.

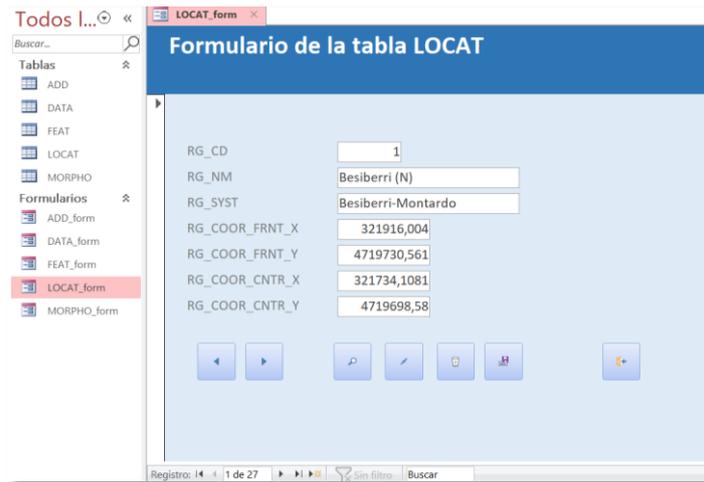


Fig.8. Captura de pantalla del formulario de la tabla LOCAT en la BD de Access, los botones que aparecen en la parte inferior de la imagen, por orden de izquierda a derecha indican: ir al registro anterior, pasar al siguiente registro, buscar registro, agregar un nuevo registro, eliminar un registro, guardar un registro y finalmente salir del formulario.

Posteriormente exportamos cada una de las tablas realizando una conexión ODBC<sup>48</sup>. Para realizarla previamente se ha tenido que configurar el Administrador del origen de datos del propio ordenador y agregar la conexión que luego en Access utilizaremos (Fig. 9). Finalmente, como se observa en la Fig. 10 se genera la conexión sin ninguna dificultad y se traspasa toda la información al gestor de base de datos de PostgreSQL, PgAdmin IV.

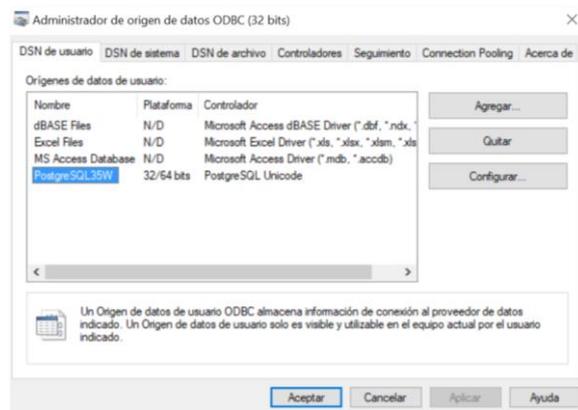


Fig. 9. Administrador de origen de datos ODBC del ordenador, dónde se genera la conexión usada en Access.

<sup>48</sup> ODBC significa Open DataBase Connectivity, y se define como un estándar de conexión que tiene como objetivo la interoperabilidad entre cualquier dato y cualquier aplicación, independientemente de cuál sea el sistema que gestiona la base de datos.

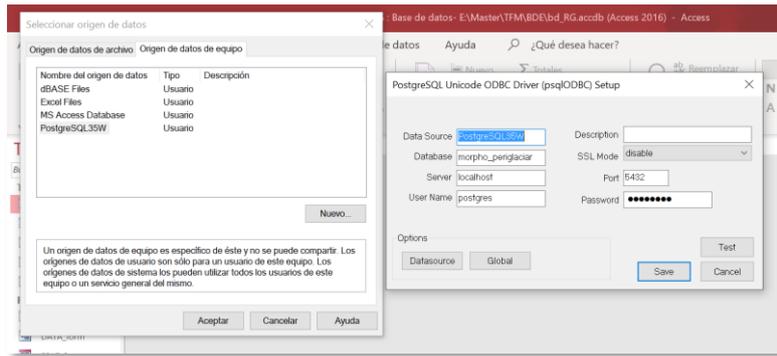


Fig.10. Configuración de la conexión ODBC en Access. Para realizarla se marca el origen de los datos de equipo, PostgreSQL35W Unicode y posteriormente se introducen los datos de la BD a la cual se van a exportar las tablas.

Para verificar que la información se haya traspasado correctamente, entramos en pgAdmin IV, realizamos un *refresh*, sobre la base de datos y cargamos las tablas. Finalmente, el último paso consiste en definir las claves primarias y los valores NULL en PostgreSQL, porque al exportar los datos no se han quedado registrados. A continuación, en la Fig.11 se observa el resultado final en pgAdmin IV:

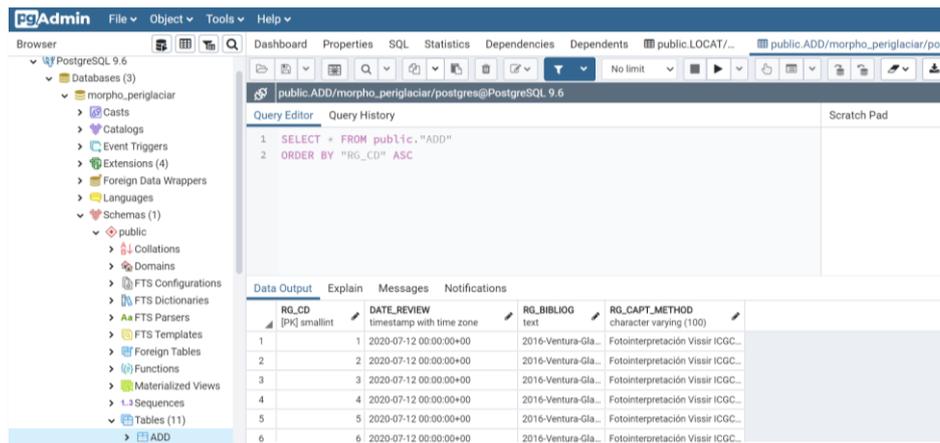


Fig.11. Captura de pantalla del resultado final de la BD de PostgreSQL en su gestor de bases de datos pgAdmin. Se visualiza tanto la información, como el datatpe de cada uno de los atributos y la llave primaria.

### 2.3. Diseño conceptual y lógico UML de la BD espacial (GDB)

De manera análoga a la base de datos (BD) alfanumérica, se realiza el diseño conceptual de la base de datos espacial. Consiste en la especificación de todas las entidades que tendrán representación espacial y en nuestro caso, se agrupará todo en una sola especificación, aunque tengamos 5 tablas en la BD alfanumérica. Porque todas contienen información de una sola forma geométrica, que corresponde a los polígonos representados de los GR o LP. Para realizar la BD espacial se trabaja con el lenguaje unificado de modelado (UML<sup>49</sup>), específicamente para geodatabase de ArcGIS, utilizando el software Enterprise Architect<sup>50</sup>. El UML se utiliza para definir un sistema, detallar los artefactos en

<sup>49</sup> El lenguaje unificado de modelado (UML, por sus siglas en inglés, Unified Modeling Language) es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad; está respaldado por el Object Management Group (OMG).

<sup>50</sup> Sparx Systems Enterprise Architect es una herramienta de diseño y modelado visual basada en OMG UML. La plataforma admite: el diseño y la construcción de sistemas de software; modelado de procesos comerciales; y modelando dominios basados en la industria.

él. Además, tiene la ventaja de que no especifica cómo crear la base de datos y es independiente del lenguaje de implementación. En nuestro caso, se utilizó este modelo para fijar la arquitectura del proyecto y de esta manera garantizar los procesos y funciones del inventario que estamos creando.

Los elementos del modelo UML corresponden a aquellas entidades especificadas en el modelo conceptual que tendrán representación espacial, los glaciares rocosos/ lóbulos protalud. Trabajando sobre el software Enterprise Architect, primero se creó un nuevo proyecto y un *Workspace*, al cual nombramos “**RG\_PNA**” y se definió el Sistema de Coordenadas Projected Coordinate System en alta precisión, UTM ETRS89 ZONA 31N (WKID: 25831). Utilizando elementos de la caja de herramientas (Toolbox) agregamos 1 *Feature Dataset* a modelizar, llamado “**RG2020**”. Sobre éste se generaron los atributos, la topología y finalmente reglas de topología, guiándonos por la tabla final resultante del modelo lógico espacial. Tanto el resultado final del modelo UML como la tabla del modelo lógico UML se pueden observar en el apartado Especificaciones de este trabajo.

Finalmente se exportó el modelo UML a un fichero de intercambio en formato XML para que ArcGIS lo pudiese entender con la herramienta *Export XML Workspace*, implementando de esta manera la base de datos espacial y creando la GDB con el nombre de “**RG2020\_BDE**”.

#### 2.4. Carga de datos en la BD espacial

La implementación, que consiste en la creación del esquema de la base de datos para la posterior carga de información, se logra, como ya se ha explicado anteriormente, importando el archivo .xml del modelo UML a ArcGIS con la herramienta: **ArcToolBox > Data Management Tools > Distributed Geodatabase > Import XML Workspace Document**. Con esto, se implementa una geodatabase con el *dataset* vacío.

Antes de ingresar los datos espaciales al *dataset*, se elabora y estructura una geodatabase (en ArcCatalog, ArcGIS) a partir de ficheros originales en formato SHP, proporcionados por la UB en KML, y convertidos ya en SHP.

En este proceso, se verifica la consistencia de los datos a través de la creación y validación de topología, corrección de errores y definición de excepciones. Para el *dataset* se realizan diferentes operaciones que son básicamente: creación de una geodatabase personal, creación de *dataset* dentro de esta geodatabase, importación de elementos SHP a esta geodatabase y su posterior modificación de atributos para, finalmente, definir y verificar la topología correspondiente al tipo de elemento (o grupo de elementos).

Para la importación de los SHP proporcionados, se debe de abrir la extensión Postgis de PostgreSQL y realizar la conexión con la BD de PostgreSQL (Fig. 12). Posteriormente éstos se importan, añadiendo el SRID “25831” (Fig. 13), para que estén bien proyectados. De esta manera, toda la información se guardará en la BD creada.

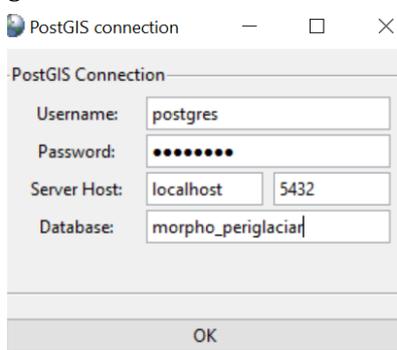


Fig. 12. Conexión entre Postgis y la BD de PostgreSQL a la cuál enviar los SHP.

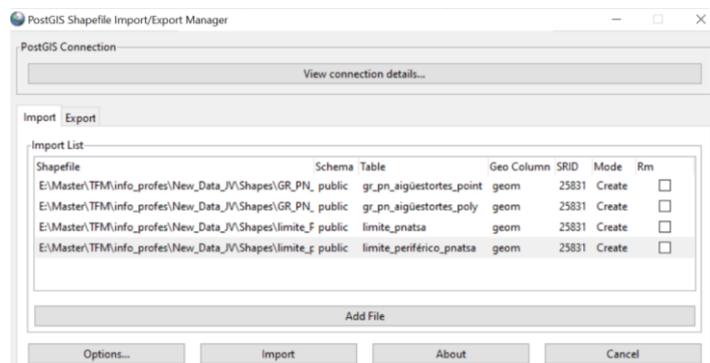


Fig. 13. Selección de los SHP que se quieren importar a la BD, que son: los polígonos de los GR/LP, los puntos de los GR/LP, el límite del Parque Nacional de Aiguestortes i Estany de Sant Maurici y el límite periférico del Parque Nacional de Aiguestortes i Estany de Sant Maurici.

Finalmente, al tener los datos espaciales en la geodatabase en forma de *featureclass*, se establece una conexión mediante ArcCatalog, en la opción Add Database Connection. Una vez hecho esto, la *feature*

*class RG\_polygons* dentro del *dataset* se vincula con su “respectivo” creado a partir del modelo lógico espacial: Database Connection > GDB\_sigmun > Dataset > Feature Class > Load Data y se elige el fichero desde la geodatabase personal.

## 2.5. Especificaciones técnicas

Finalmente, como apartado final de esta parte del trabajo se presentan a continuación las especificaciones técnicas del Inventario creado sobre los glaciares rocosos/ lóbulos protalud, presentes en el entorno del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, Cataluña. Para realizarlas, se ha seguido el modelo ya empleado de XARXA NATURA 2000 v1.0 (NAT2000), ya que en él se trabaja también únicamente con polígonos.

### Características del modelo de datos

El conjunto de información RG2020 identifica los límites de los glaciares rocosos emplazados en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici(Cataluña). Se trata de un único objeto (RG\_PNA) con una geometría y unos atributos asociados. Los rasgos más relevantes del modelo de datos son:

- El objeto geográfico RG\_PNA tiene un identificador único (OBJECTID) y otro identificador único más persistente en el tiempo (RG\_CODE). Cuando los ficheros SHP se importan a ArcGis se añade automáticamente un atributo identificador único adicional, propio de este formato, con nombre FID y de tipo OBJECTID.
- La geometría se concreta con un atributo SHAPE de cada objeto tipo multi-polígono. Las superficies pueden estar formadas únicamente por una zona y no puede haber agujeros en ellas ni superposición entre ellas. Esta geometría se corresponde al tipo previsto a la norma ISO 19107:2003 GM\_MultiSurface.
- La unidad de medida es el metro cuadrado. Las coordenadas están almacenadas como números reales de doble precisión, de acuerdo con el estándar de este formato. Su precisión es consistente con la resolución de captura.

### Modelo de datos o esquema de aplicación

El esquema de aplicación del conjunto de información RG2020, expresado en UML, describe de manera formal el modelo de datos mediante clases, atributos y relaciones entre las clases. Se apoya en los tipos de datos espaciales y temporales de la ISO 19100 para representar los aspectos espaciales y temporales. El modelo de datos se define en una única tabla correspondiente al único objeto (RG\_PNA) que contiene el conjunto de información RG2020 (Fig.14). En el formato SHP, cada elemento de un tipo de objeto tiene asociada una representación geométrica y unos atributos alfanuméricos registrados en diferentes tablas adjuntas (fichero. dbf). Los objetos se implementan vinculando la información alfanumérica almacenada en campos con los elementos gráficos. El objeto (RG\_PNA) tiene 35 atributos repartidos entre las 5 tablas adjuntas. El atributo RG\_CODE es un identificador de los glaciares rocosos inventariados, pero no tienen continuidad territorial.

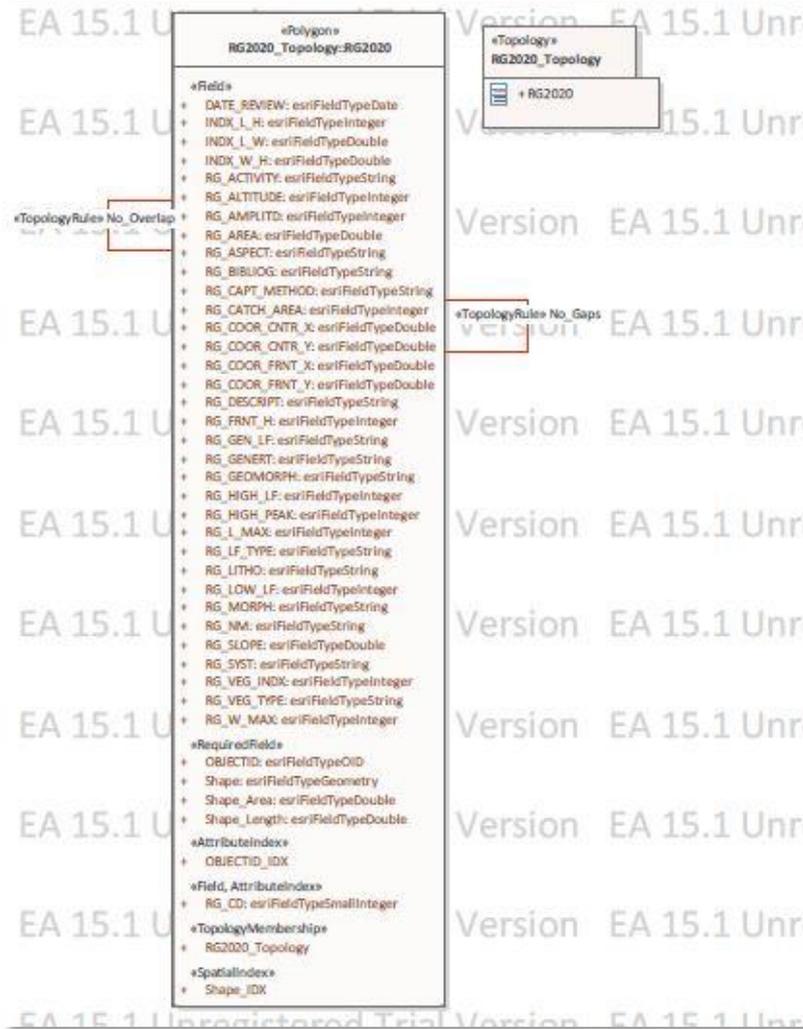


Fig.14 Esquema UML de la BD espacial para los GR-LP.

La siguiente tabla describe la implementación en formato SHP del objeto geográfico incluido al conjunto de información geográfica RG2020. El formato de cada campo se muestra en la forma L, T{D} - donde L indica la longitud del campo en número de caracteres o de dígitos (cifras significativas) – según corresponda, T el tipo (C=carácter, N=numérico), y D es el número de decimales, si es necesario.

En los formatos KML, GML y CSV la información sobre la atribución es coherente con la de los atributos del formato SHP.

**Objeto:** RG\_PNA  
**Nombre:** RG2020  
**Definición:** Inventario de los glaciares rocosos que se encuentran dentro del área del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Cataluña), 2020.

IMPLEMENTACIÓN FORMATO SHAPE		DESCRIPCIÓN CONCEPTUAL				
ATRIBUTO	FORMATO DEL CAMPO L, T (D)	ATRIBUTO	NOMBRE	DEFINICIÓN	TIPO DE VALOR	MULTIPLICIDAD
OBJECTID	Double 2,N	ID	Identificador del objeto	Identificador del polígono GR/LP	Integer	1
SHAPE	Polygon Geometría: polígono	GEOMETRIA	Geometría	Geometría del GR/LP	GM_Surface	1
RG_NM	String 25,C	RG_NM	Nombre del GR	Nombre del GR/LP	CharacterString	1
RG_CD	Smallint	RG_CD	Código del GR	Código específico del GR/LP para identificarlo	Smallint	1
RG_SYST	String 25,C	RG_SYST	Sistema del GR	Identificación del GR/LP por el macizo, utilizando la cartografía 1:50.000	CharacterString	1
RG_COOR_FRNT_X	Double 10,N,3	RG_COOR_FRNT_X	Coordenada X del Frente	Coordenadas geográficas (X) del frente del GR (Latitud/Longitud). El sistema de referencia geodésico usado es ETRS89.	DoublePrecision	1
RG_COOR_FRNT_Y	Double 10,N,3	RG_COOR_FRNT_Y	Coordenada Y del Frente	Coordenadas geográficas (Y) del frente del GR (Latitud/Longitud). El sistema de referencia geodésico usado es ETRS89.	DoublePrecision	1
RG_COOR_CNTR_X	Double 10,N,3	RG_COOR_CNTR_X	Coordenada X del Centroide	Coordenadas geográficas (X) del centroide del GR (Latitud/Longitud). El sistema de referencia geodésico usado es ETRS89.	DoublePrecision	1
RG_COOR_CNTR_Y	Double 10,N,3	RG_COOR_CNTR_Y	Coordenada Y del Centroide	Coordenadas geográficas (Y) del centroide del GR (Latitud/Longitud). El sistema de referencia geodésico usado es ETRS89.	DoublePrecision	1
RG_HIGH_PEAK	Integer	RG_HIGH_PEAK	Pico más alto del GR/LP	Pico más alto del GR/LP en metros (m).	Integer	1
RG_HIGH_LF	Integer	RG_HIGH_LF	Parte más elevada del GR/LP	Parte más elevada del GR, la raíz, en metros (m).	Integer	1
RG_ALTITUDE	Integer	RG_ALTITUDE	Altitud media	Altitud media (entre la cota de la raíz y la cota del frente, base del frente) en metros (m).	Integer	1
RG_LOW_LF	Integer	RG_LOW_LF	Parte más baja del GR/LP	Parte más baja del GR/LP, el frente, en metros (m).	Integer	1

<b>RG_FRNT_H</b>	<i>Integer</i>	<b>RG_FRNT_H</b>	Altura del frente	Altura del Frente del GR, entre la base y la parte superior del lóbulo frontal. En metros (m).	Integer	1
<b>RG_AMPLTD</b>	<i>Integer</i>	<b>RG_AMPLTD</b>	Amplitud	Amplitud (la diferencia entre la cota máx. y mín.) en metros (m).	Integer	1
<b>RG_SLOPE</b>	<i>Double N,2</i>	<b>RG_SLOPE</b>	Pendiente	Pendiente (entre la raíz y el frente) en grados (°).	DoublePrecision	1
<b>RG_ASPECT</b>	<i>Enumeration</i>	<b>RG_ASPECT</b>	Orientación general	Orientación general: N, S, NW, NE, SW, SE, E y W.	VTipoOrientación (Enumeración)	1
<b>RG_L_MAX</b>	<i>Integer</i>	<b>RG_L_MAX</b>	Longitud máxima	Longitud máxima del GR/LP.	Integer	1
<b>RG_W_MAX</b>	<i>Integer</i>	<b>RG_W_MAX</b>	Anchura máxima	Anchura máxima del GR/LP.	Integer	1
<b>RG_AREA</b>	<i>Double N,6</i>	<b>RG_AREA</b>	Área	Área del GR/LP en metros cuadrados (m <sup>2</sup> ).	DoublePrecision	1
<b>RG_CATCH_AREA</b>	<i>Integer</i>	<b>RG_CATCH_AREA</b>	Extensión del área fuente	Extensión del área fuente que domina el GR, en metros cuadrados (m <sup>2</sup> ).	Integer	1
<b>INDX_L_W</b>	<i>Double N,3</i>	<b>INDX_L_W</b>	Índice L / W	Índice L / W (relación largo y ancho), en metros (m).	DoublePrecision	1
<b>INDX_L_H</b>	<i>Double N,3</i>	<b>INDX_L_H</b>	Índice L / H	Índice L / H (relación longitud y amplitud), en metros (m).	DoublePrecision	1
<b>INDX_W_H</b>	<i>Double N,3</i>	<b>INDX_W_H</b>	Índice W / H	Índice W / H (relación ancho y amplitud) en metros (m).	DoublePrecision	1
<b>RG_GEOMORPH</b>	<i>String 25,C</i>	<b>RG_GEOMORPH</b>	Geomorfología del GR	Geomorfología del GR/LP. Solo se podrá rellenar utilizando las geomorfologías fijadas anteriormente para no dar lugar a error. Solo se admite las siguientes opciones:  • <b>CIRQUE</b> : vertiente, pie de vertiente, fondo de circo.  • <b>VALLEY</b> : vertiente, pie de vertiente, fondo de valle.	VTipoGeomorfología (Enumeración)	1
<b>RG_LITHO</b>	<i>String 255,C</i>	<b>RG_LITHO</b>	Litología del GR	Litología del GR/LP, se utilizará la nomenclatura del mapa geológico creado por el ICGC a escala 1:50.000, verificado por la normativa INSPIRE. Solo se podrá rellenar utilizando las litologías fijadas anteriormente por el ICGC.	VTipoLitología (Enumeración)	1

<b>RG_LF_TYPE</b>	String 25,C	<b>RG_LF_TYPE</b>	Tipo de forma	Se diferenciará si es un Lóbulo Protalud (LP) o un Glaciar Rocoso (RG).	VTipoForma (Enumeración)	1
<b>RG_MORPH</b>	String 25,C	<b>RG_MORPH</b>	Morfología del GR	Morfología del GR/LP, la nomenclatura que se utilizará será:  <ul style="list-style-type: none"> <li>•TS=Tongue-shaped (Si longitud (L) &gt; anchura (W), tenemos un índice L/W &gt; 1)</li> <li>•LS= Lobate (Si longitud (L) &lt; anchura (W), tenemos un índice L/W &lt; 1)</li> <li>•CX= Complex</li> </ul>	VTipoMorfología (Enumeración)	1
<b>RG_GENERT</b>	String, 25,C	<b>RG_GENERT</b>	Generación del GR/LP	Generación del GR/LP. Se utilizarán únicamente los criterios definido por Frauenfelder y Käab, 2000:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• M = monomórficos</li> <li>• P= polimórficos</li> </ul>	VTipoGeneración (Enumeración)	1
<b>RG_ACTIVITY</b>	String 25,C	<b>RG_ACTIVITY</b>	Estado del GR/LP	Estado del GR/LP, siguiendo la clasificación de IPA Action Group en el documento Rock glacier inventories and kinematics (2018-2022). Siguiendo los criterios dictaminados por IPA, las únicas opciones serán:  <ul style="list-style-type: none"> <li>•ACT = Active (Activo: GR que se mueve cuesta abajo en la mayor parte de su superficie).</li> <li>•TRANS = Transitional (Transicional: GR con bajo movimiento solo detectable por medición y/o restringido a áreas de poca extensión).</li> <li>•RELCT = Relict (Reliquia: GR sin movimiento detectable y sin evidencia morfológica de movimiento reciente y/o contenido de hielo).</li> <li>•UNDF = Undefined (Indefinido: datos inadecuados para discriminar entre las clases de actividad).</li> </ul>	VTipoActividad (Enumeración)	1
<b>RG_GEN_LF</b>	String 25,C	<b>RG_GEN_LF</b>	Génesis del GR/LP	Génesis de la morfología del GR/LP. Siguiendo la clasificación de IPA Action Group en el documento Rock glacier inventories and kinematics (2018-2022). Las únicas opciones posibles serán:  <ul style="list-style-type: none"> <li>•TAL = talus-derived (EL GR está subyacente y conectada a una unidad formada por un talud con cierta pendiente,</li> </ul>	VTipoGenesis (Enumeración)	1

				que se alimenta predominantemente por la actividad de caída de roca, pero también por la escorrentía superficial, el flujo de escombros y/o los eventos de avalancha desde la cabecera.).  •GLA=glacier derived (Continuidad desde un glaciar (cubierto de escombros) o parche de hielo a una parte del GR (transición "glaciar cubierto de escombros a glaciar de roca").		
<b>RG_VEG_INDX</b>	<i>Integer</i>	<b>RG_VEG_INDX</b>	Índice de vegetación	Índice de vegetación que se encuentra en el GR/LP, en porcentaje (%).	Integer	1
<b>RG_VEG_TYPE</b>	<i>String</i> 100,C	<b>RG_VEG_TYPE</b>	Tipo de vegetación	Tipo de vegetación que se encuentra en el GR/LP, es un campo descriptivo.	CharacterString	1
<b>RG_DESCRIPT</b>	<i>String</i> 255,C	<b>RG_DESCRIPT</b>	Descripción	Breve descripción del GR en el campo, alguna característica especial que no se haya visto antes, puntualizaciones sobre el estado o el desplazamiento, etc.	Text	1
<b>DATE_REVIEW</b>	<i>Date</i>	<b>DATE_REVIEW</b>	Fecha de revisión	Fecha de la digitalización de los datos o de las últimas revisiones que se han registrado sobre estos.	Date	1
<b>RG_BIBLIOG</b>	<i>String</i> 255,C	<b>RG_BIBLIOG</b>	Bibliografía	Mención al artículo científico dónde se cartografió por primera vez, el GR/LP en cuestión.	Text	1
<b>RG_CAPT_METHOD</b>	<i>String</i> 100,C	<b>RG_CAPT_METHOD</b>	Método de captura	Método de captura que se utilizó para cartografiar el GR/LP (Ej: ortofoto, campo, LiDAR...).	CharacterString	1

## Parte II. Análisis de los datos

### 1.Introducción

En este apartado del proyecto se pretende analizar los datos de la BD creada sobre los GR-LP. Para obtener una mejor caracterización espacial y contextualización climática de la distribución de los GR-PL, así como de su dinamismo actual, se persiguen tres objetivos:

1. Análisis de datos: se examinarán las orientaciones de los GR y la cota de los frentes de estos, para realizar una serie de cinturones altitudinales de 50 m.
2. Capa satélite Radar y datos interferométricos: incorporando la capa con las medidas de desplazamiento de los GR analizados en el sector Besiberri- Punta Harlé). Además, con la capa interferométrica se estudiará la actividad de los GR. Finalmente también se realizará un estudio sobre la extensión de los GR-LP.
3. Climatología: a partir de los datos de temperatura media anual del aire de las estaciones meteorológicas y del gradiente altitudinal de disminución de la temperatura, se elaborará un mapa de isotermas (con intervalos de 1°C) con la temperatura media anual a partir de la cota 2.000 m que es donde se distribuyen la mayoría de geoformas del Parque Nacional. Para acabar, se interrelacionará la capa de temperatura media anual con la de topografía y la delimitación de los GR.

Para realizar cualquier tipo de análisis primero se deberá realizar la conexión a la BD desde el software de cartografía escogida, en nuestro caso ArcGIS. A continuación, se explica cómo realizar la conexión y la posterior carga:

El primer paso será abrir ArcGIS y añadir una conexión a la BD, yendo a **ArcCatalog -> Add Database Connection**. Se abrirá entonces, un cuadro con los campos a rellenar para realizar la conexión con la plataforma PostgreSQL a la BD escogida (Fig.15). Si todo está correcto, será un éxito y ya se podrá abrir la BD e importar la información al proyecto en ArcGIS. Para este último paso de importación únicamente se debe de arrastrar el SHP o la tabla deseada desde la conexión en ArcCatalog (en formato .sde) hasta el proyecto. Aunque la información siempre será accesible mientras se realice la conexión de forma correcta. Para garantizar la portabilidad de los datos, éstos se pueden exportar a una Geodatabase personal de ArcGIS. El proceso de exportación es muy sencillo,

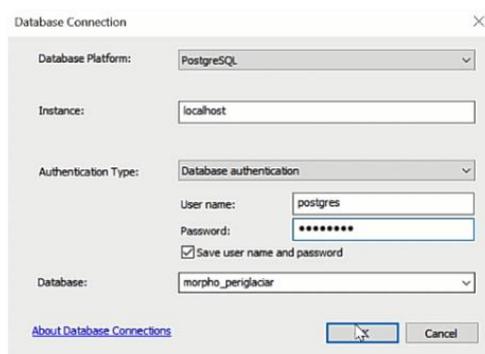


Fig. 15. Cuadro de texto que se abre cuando procedes al Add Database Connection en ArcGIS. Se deben introducir los campos tal como están en la captura.

con el botón derecho sobre el archivo deseado **Data -> Export data -> Geodatabase personal** (en formato dBase si es una tabla y en SHP si es un shape (Fig.16).

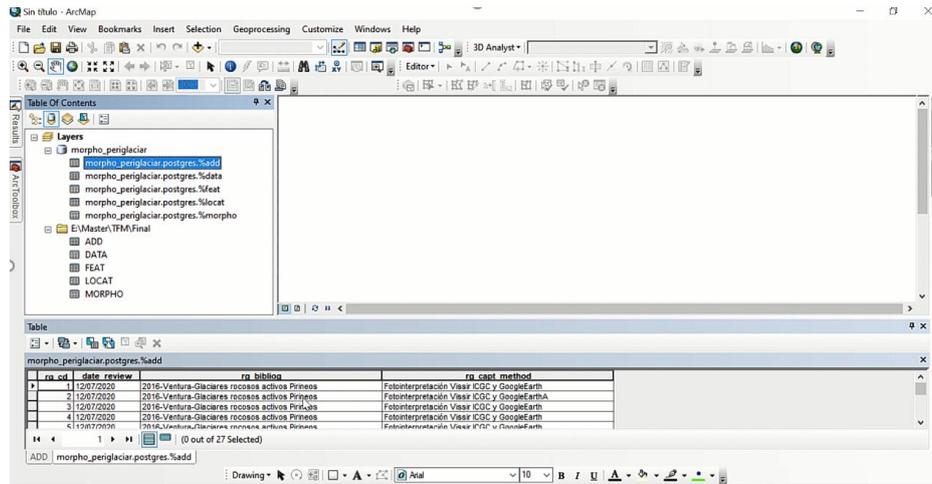


Fig.16. Captura de pantalla del proyecto en ArcGIS cuando las tablas están cargadas desde la conexión con PostgreSQL y debajo de éstas las tablas ya exportadas y en formato dBase.

## 2. Metodología y resultados

### 2.1 Análisis de datos

#### Orientaciones

El primer análisis dentro de este grupo consta de un estudio de las orientaciones que tiene los 27 GR-LP (19 GR y 8 LP) de estudio. Para hacerlo se han cargado desde de la BD las capas: límite\_PNATSA<sup>51</sup>, límite\_perif\_PNATSA<sup>52</sup> y GR\_PNA<sup>53</sup> así como la tabla MORPHO, ya que es dónde está alojada la información de las orientaciones. Con toda la información en el proyecto se realiza un JOIN entre la capa de los GR y la tabla MORPHO por el campo *rg\_code*. De esta manera el SHP tendrá ya la información que se necesita para el análisis, incorporada. Seguidamente, se abre la tabla de atributos de la capa y se realiza un SUMMARIZE, sobre el campo *rg\_aspect* y *rg\_area*. Así, se generará una tabla con las diferentes orientaciones de los GR-LP, cuántos de ellos tienen esa orientación y el área total de cada una de las orientaciones (Tab.1).

Tabla.1. Tabla resultante del SUMMARIZE dónde se puede observar en la columna *rg\_aspect*, las orientaciones presentes en la capa, en la columna *Sum\_Cnt\_rg\_aspect*, la cantidad total de GR que tienen cada una de las orientaciones y en la columna *Sum\_Sum\_rg\_area*, la suma del área total que pertenece a cada una de las orientaciones.

OBJECTID	rg_aspect	Sum_Cnt_rg_aspect	Sum_Sum_rg_area
1	E	1	18382,76905
2	N	14	333132,5528
3	NE	7	124532,6065
4	NW	5	263999,5684

Como se observa en la tabla, las orientaciones de los GR-LP predominan hacia el N y tan solo hay un GR que está orientado hacia el E, el nombrado Gran Tuc de Colòmers E. Esto se debe a que la zona de

<sup>51</sup> Límite del Parque Nacional de Aiguestortes i Estany de San Maurici.

<sup>52</sup> Límite periférico del Parque Nacional de Aiguestortes i Estany de San Maurici.

<sup>53</sup> Polígonos de los GR a estudio.

estudio es pequeña y las muestras son únicamente de GR-LP potencialmente activos. Por lo tanto, tienen características similares. Aunque la muestra fuera más grande e incluyera los GR relictos, habría más variedad de orientaciones, pero el dominio del componente N se mantendría. La marcada orientación N de la mayoría de geoformas indica claramente el control climático y topográfico que éstas tienen en los Pirineos (Fernandes et al, 2017).

Finalmente se simbolizó la capa por orientaciones para visualizar mejor cada una. Esta simbolización se hizo por categorización por el atributo *rg\_aspect* (Fig.17).

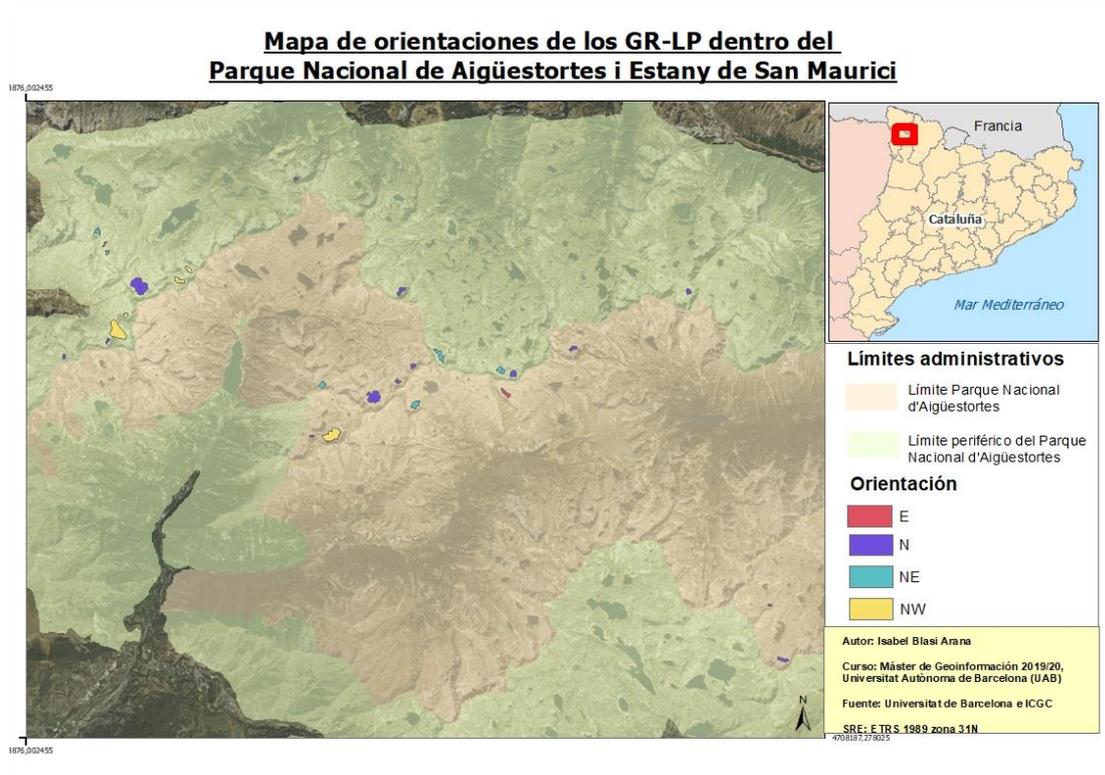


Fig.17. Mapa de orientaciones generales de los GR-LP.

### Frente de los GR-LP

El segundo estudio consistió en el análisis de la cota de los frentes de los GR-LP y realizar asimismo, una serie de curvas de nivel de 50 m para observar a que altitud a la que se encuentran generalmente los frentes.

Primero se trató el ráster MDE<sup>54</sup> 5x5 de la zona, descargado desde el portal del ICGC con una resolución 5x5. Cargamos las capas de límite\_PNATSA y límite\_perif\_PNATSA y realizamos un UNION para unificar los dos polígonos, ya que más adelante servirá de modelo para recortar el MDE. Con la herramienta EXTRACT BY MASK, como se ha explicado recortamos la capa utilizando la capa del parque con el UNION aplicado. A partir de este ráster nuevo aplicamos la herramienta CONTOUR para crear unas curvas de nivel de 50 m. Se añade al proyecto la capa RG\_PNA y la tabla MORPHO, para realizar un JOIN entre ellas y obtener así la información en el SHP de los GR-LP. Se simboliza esta capa por *Quantities* el atributo *rg\_frnt\_lf*, que indican la altitud en la cual se encuentra el frente del GR-LP. Se escoge una escala de colores determinada, que será la misma que la utilizada para simbolizar las curvas de nivel. Lo que se pretende con esto, es hacer que coincidan los colores que simbolizan las curvas de nivel con los de la altitud de los frentes. De esta manera, se podrá observar mejor la altitud predominante de los frentes en todos los GR-LP estudiados (Fig.18). Finalmente

<sup>54</sup> Modelo digital de Elevación (MDE)

hemos exportado el proyecto a ArcScene para realizar una visualización en 3D de los resultados (Fig.19).

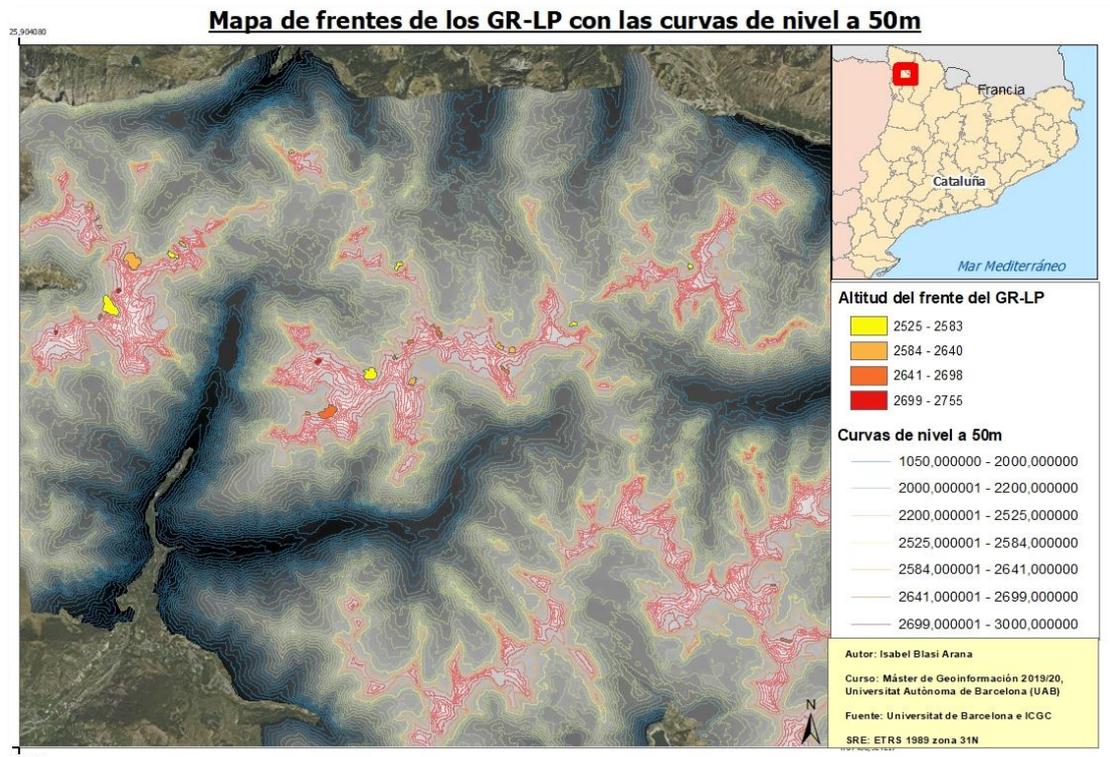


Fig. 18. Mapa de frentes de los GR-LP con las curvas de nivel cada 50m, simbolizados de la misma manera.

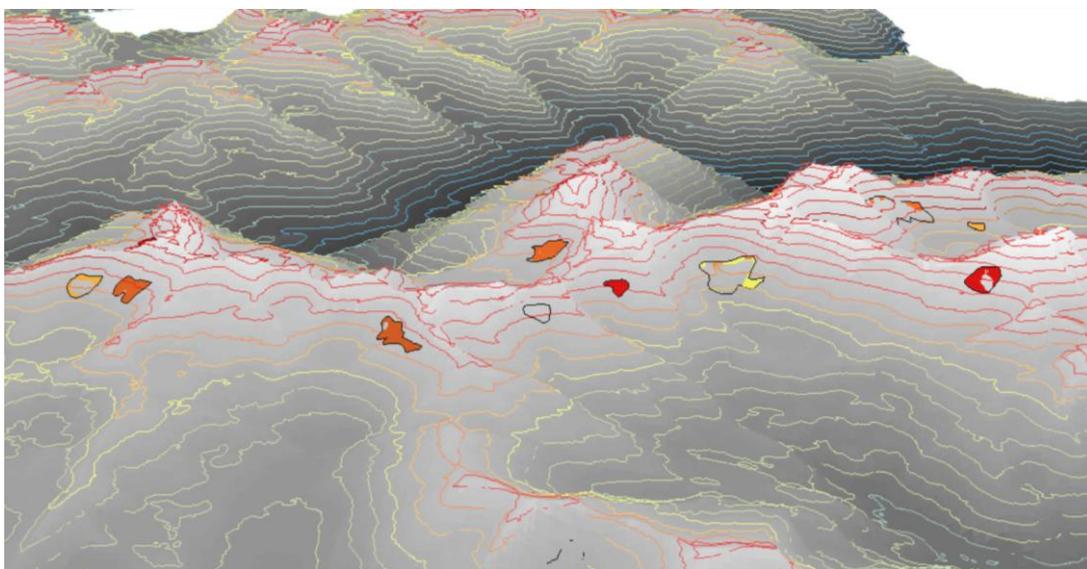


Fig. 19. Mapa representado en 3D de la sección central del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici dónde se encuentra los GR de la Gaspareda y Gran Tuc de Colomèrs E entre otros.

Como resultados, se puede concluir que la mayoría de los frentes de los GR-LP se encuentran entre las cotas de altitud 2.584-2.641 m y 2.641-2.698 m. Sólo los frentes de 5 GR-LP se encuentran en cotas inferiores y tan solo en 3 GR sus frentes se sitúan en altitudes superiores a 2.699 m. Así pues, todas las geformas estudiadas se sitúan en rangos altitudinales entre 2.525 m y 2.750 m; son las más elevadas de la zona, con orientaciones favorables (estudio 1) dónde se puede todavía, mantener el permafrost.

Nos pasa lo mismo que en el estudio anterior. Si la muestra de GR-LP fuera mayor e incluyera GR relictos, se encontrarían geoformas dentro de un rango mucho más extenso (1.700-2.700 m), donde los GR situados en las cotas más bajas se corresponderían con los más antiguos. También se indicarían dentro de esta franja, cotas altitudinales con más % de GR concentrados, señalando así diferentes fases de formación de los GR-LP.

## 2.2 Interferometría

La Interferometría radar de apertura sintética, a veces abreviada como InSAR o IfSAR, es una técnica RADAR utilizada en geodesia y en teledetección. Esta técnica se basa en el estudio del patrón de interferencia de fase de las ondas de dos imágenes SAR<sup>55</sup>. El patrón de interferencia o interferograma se usa para generar mapas de desplazamientos de la superficie terrestre, y mapas de elevación del terreno.

El radar de apertura sintética (SAR) produce un haz muy estrecho y efectivo. Solamente se puede utilizar con instrumentos en movimiento sobre objetivos relativamente inmóviles. Es una forma de teledetección activa: la antena genera radiación que luego es reflejada desde el blanco. Por lo tanto, la adquisición de la imagen es independiente de la iluminación natural y las imágenes se pueden tomar durante la noche. El radar usa radiación electromagnética a través de frecuencias de microondas, por lo que las observaciones no se ven afectadas por la cubierta de nubes.

Las imágenes SAR de resolución completa tienen una apariencia granulada que se llama speckle (moteado), el cual es un fenómeno causado por la naturaleza coherente de las imágenes SAR.

Desde el ICGC se proporcionó una imagen interferométrica de una zona concreta del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Se realizó un tratamiento y simbolización de la imagen TIFF proporcionado. Comparándola con un trabajo realizado anteriormente con unos datos parecidos (Fig.23), se realizó el siguiente mapa (Fig.24).

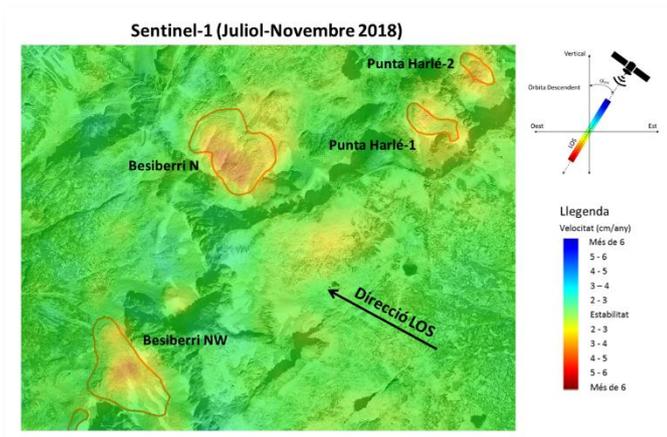


Fig. 23. Estudio realizado en una zona del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici por el ICGC con imágenes interferométricas, el 2018.

<sup>55</sup>SAR (synthetic aperture radars: 'radares de apertura sintética montados en satélites activos o en aeronaves).

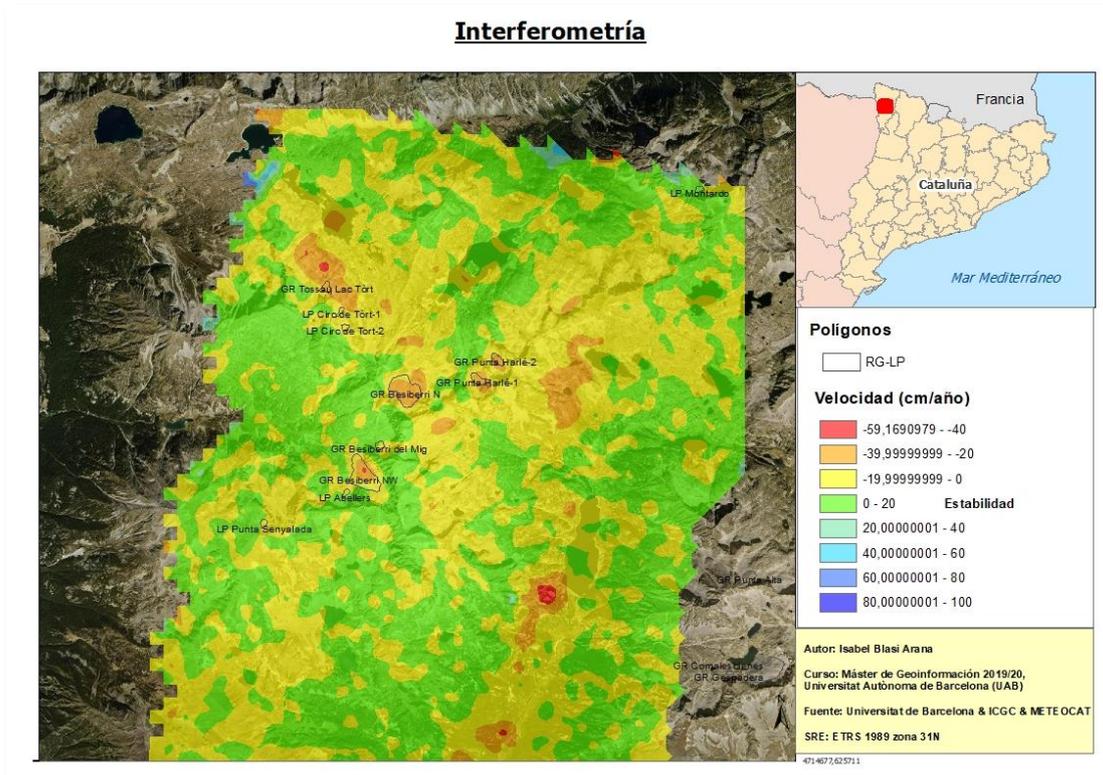


Fig.24. Mapa con la imagen interferométrica tratada y simbolizada.

El mapa permite observar cómo algunos de los GR han experimentado un pequeño movimiento en comparación con imágenes de años anteriores. Los GR con desplazamiento notorio son: Besiberri NW, Besiberri N, Punta Harlé 1 y 2 y Tossau Lac Tòrt. Podemos así concluir que estos GR tienen actividad y por lo tanto ya no se tienen que considerar como potencialmente activos, sino catalogarlos ya como activos. Al confirmar su actividad, también se confirma la presencia de permafrost en su base.

### Extensión de los GR-LP

Para terminar este apartado de análisis, el último que se tenía que realizar, consistía en un estudio sobre la extensión de los GR-LP. Para llevarlo a cabo se cargaron en un proyecto nuevo de ArcGIS las capas: límite\_PNATSA, límite\_perif\_PNATSA y RG\_PNA, además de las tablas FEAT y MORPHO. Sobre la capa de polígonos RG\_PNA, se realizaron dos JOINS. El primero, con la tabla MORPHO y el segundo con la tabla FEAT. Se quería así, añadir la información sobre el área (la extensión) de las formas y la identificación de su morfología, si se trata de un LP o un RG. Se simboliza por el atributo *rg\_area* la capa, se añaden etiquetas del campo *rg\_type\_lf*, para visualizar su identificación y luego generar el mapa (Fig.20). Posteriormente se realiza un SELECT BY ATTRIBUTES sobre la capa; para seleccionar aquellas morfologías que son LP y se genera el STATISTICS (Fig. 21). Se repite el procedimiento, pero cambiando el atributo por RG (Fig 22).

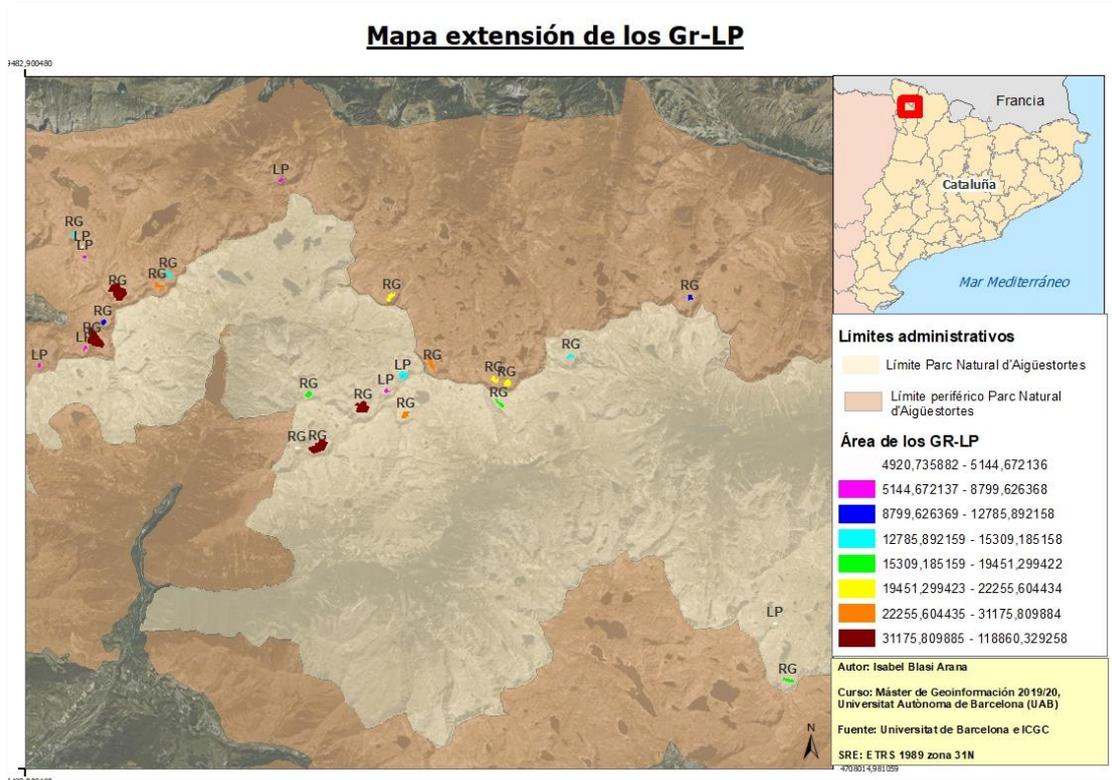


Fig. 20. Mapa de la extensión de los GR-LP y la relación que existe entre ellos.

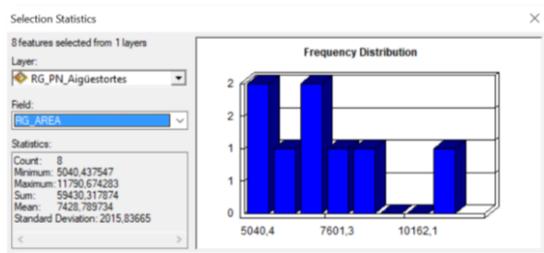


Fig. 21. Análisis STATISTICS del área de los LP.

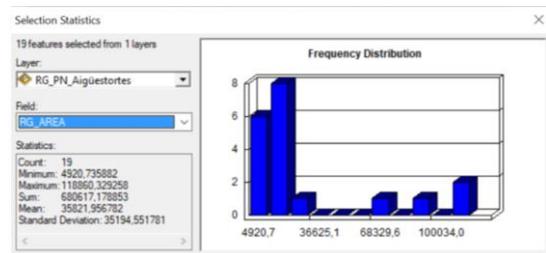


Fig. 22. Análisis STATISTICS del área de los RG.

Analizando los resultados, se observa que por lo general los LP tienen menos extensión, aunque se constata que hay menos formas de este tipo y en consecuencia menos variedad. Gracias al STATISTICS realizado, se pone en evidencia una anomalía que rompe la regla marcada por la menor extensión de los LP, ya que hay un RG que tiene un área menor al del LP más pequeño. El RG que cumple esta excepción es el RG Gespadera, con tan sólo 4.920,7 m<sup>2</sup> (0,49207 ha). En cambio, el LP con el área más pequeña es el LP Saburó con 5.040,4 m<sup>2</sup> (0,50404 ha). En contraposición el LP con mayor extensión es el LP Contraix cota 2.832 m con 11.790,7 m<sup>2</sup> (1,17907 ha). Aunque esta área no se puede comparar con la extensión máxima de los RG marcada por el RG Besiberri NW con 118.860,3 m<sup>2</sup> (11,88603 ha).

Cabe añadir que al tratarse de GR potencialmente activos hay varios GR (alrededor de la Punta Alta de Comalesbienes) con extensiones grandes, cercanas a las del Besiberri. Si más adelante se demuestra su actividad actual, se tendrán entonces nuevos GR activos de dimensiones considerables, actualmente no catalogados.

Como se observa en el mapa, dentro del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, hay una gran variedad de extensiones, todas ellas importantes. Pero sin duda alguna tanto la confirmación, aunque con excepciones, del hecho que los LP tienen una extensión más pequeña como la posibilidad de poder clasificar nuevos GR activos, son los rasgos más interesantes de este análisis.

Juntamente con el estudio de interferometría, se puede confirmar el movimiento y la actividad de los 2 GR de Punta Harlé (1 y 2). Asimismo, se daría respuesta a su gran expansión también, debido al movimiento que estas geoformas tienen.

## 2.3 Climatología

En esta parte del proyecto se realizarán diferentes estudios relacionando los GR-LP con la climatología. Para desarrollarlos, se han tratado los datos climatológicos proporcionados por el Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT), escogiendo tan solo los datos de las estaciones que proporcionaban información sobre la zona de estudio (Tab.2.). Estas estaciones son:

Tab.2 Tabla con las coordenadas de las estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis.

	Codi EMA	Nom EMA	Comarca	X UTM	Y UTM	Z
1	Z2	Boí	Alta Ribagorça	326043	4703690	2535,0
5	Z1	Bonaigua	Pallars Sobirà	334809	4723575	2266,0
6	Z5	Certascan	Pallars Sobirà	358470	4728981	2400,0
7	Z7	Espot	Pallars Sobirà	340252	4710916	2519,0
8	ZB	Salòria	Pallars Sobirà	365778	4708739	2451,0
13	VS	Lac Redon	Val d'Aran	317899	4723047	2247,0
14	Z6	Sasseuva	Val d'Aran	314446	4737781	2228,0

El análisis climático se divide en 2 proyectos. El primero estudia a partir de los datos de temperatura media anual del aire de las estaciones meteorológicas y del gradiente altitudinal de disminución de la temperatura, la relación Temperatura - GR-LP. Se elaborará un mapa de isolíneas<sup>56</sup>; en este caso serán isoterms ya que tratamos con datos de temperatura. Estas líneas se encontrarán con intervalos de 1°C, a partir de la temperatura media anual, a cota 2.000 m. En el segundo proyecto, se estudiará la capa de temperatura media anual con la de topografía i la de delimitación de les GR-LP.

### Cinturones de temperatura

Para el 1r proyecto, se cargaron en ArcGIS las capas: límiter\_PNATSA, límiter\_perif\_PNATSA, GR\_PNA y el ráster MDE, previamente tratado. El primer paso fue obtener la temperatura media anual a partir de los archivos Excel con información meteorológica proporcionada por la red de estaciones de alta montaña del Servei de Meteorologia de Catalunya (METEOCAT). Para obtener esta temperatura proyectada se realizó la media con los datos de cada una de las estaciones desde inicios 2001 hasta marzo del 2020 (último registro). Con esta información, se procedió a proyectar en ArcGIS las estaciones meteorológicas, añadiendo al proyecto la tabla 2, con una columna más que era la de la temperatura calculada, utilizando la herramienta DISPLAY XY DATA. Una vez ya se han proyectado, se exporta esta capa creada de puntos en formato SHP (con el nombre *estacions*) para poder trabajar sobre ella. Posteriormente calculamos la temperatura determinada, utilizando como referencia la propuesta de Fris et al. (2011),<sup>57</sup>. Este cálculo nos permitirá saber la temperatura en las estaciones si estas estuvieran a 2.000 m de altitud teniendo en cuenta el gradiente térmico (r). Para este cálculo, el gradiente que utilizaremos será -0,65°C cada 100 m y la fórmula será la siguiente:

<sup>56</sup> Líneas que unen puntos con las mismas características.

<sup>57</sup> Andreas Fries, Rütger Rollenbeck, Thomas Nauß, Thorsten Peters, Jörg Bendix, (2011). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization.

$$T_{Det} = T_{anual} + (\Gamma (Z_{Det} - Z_{estación}))$$

T<sub>Det</sub>= Temperatura determinada

T<sub>anual</sub>= Temperatura anual

r= gradiente térmico vertical = -0,0065

Z<sub>det</sub>= 2.000m

Z<sub>estación</sub>= Altitud de las estaciones

Se realiza el cálculo para las 7 estaciones meteorológicas del trabajo y se añade el resultado en el SHP *estaciones* que se había creado. Para hacerlo se debe de añadir un campo en la tabla de atributos con el nombre T<sub>Det</sub> y con el editor se inserta la información manualmente. El siguiente paso es interpolar la T<sub>Det</sub> a toda la superficie del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, ya que así se tendrá la información para toda el área de trabajo. Se utiliza esta temperatura para tener en cuenta el gradiente y disminuir el riesgo de error. El método de interpolación utilizado será la herramienta IDW de ArcGIS, ya que el Kriging no es muy efectivo con tan pocos parámetros (solamente hay 7 estaciones). En esta herramienta se indicó en Z\_value\_field -> T<sub>Det</sub>, ya que es el valor que se quiere interpolar y se introdujo el valor 5 en Output\_sell\_size ya que éste debe coincidir con la resolución del DEM. Antes de que se genere el IDW en *Entorns...* tanto en *Processing Extent* como en *Raster Analysis* añadimos la capa MDE, para que se utilice como modelo, y el resultado final este dentro de este límite. Una vez creado el IDW con la herramienta RASTER CALCULATOR se genera un nuevo raster con la temperatura a diferentes altitudes utilizando el gradiente térmico vertical y el DEM (Fig.25). La fórmula que se ha seguido para realizar este trabajo es:

$$T_{x,y} = T_{Det} + \left( \Gamma \left( Z^{DEM(x,y)} - Z_{Det} \right) \right)$$

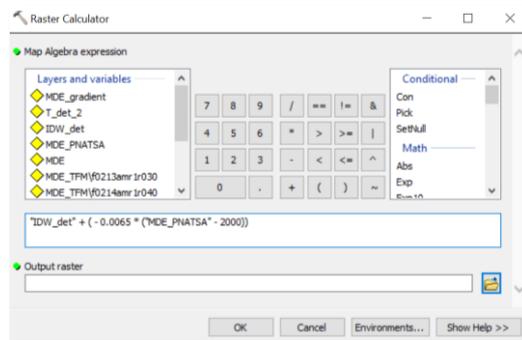


Fig.25. Captura de pantalla de la fórmula aplicada en el RASTER CALCULATOR de ArcGIS.

El último paso fue generar unos cinturones de temperatura, parecidos a las curvas de nivel, pero de un 1°C, con la herramienta CONTOUR sobre el ráster obtenido gracias al cálculo con el *raster calculator*. Finalmente, éstos, se simbolizaron por el campo *contour* que es el que indica la temperatura ya con el gradiente térmico vertical y se procedió a analizar el resultado (Fig.26).

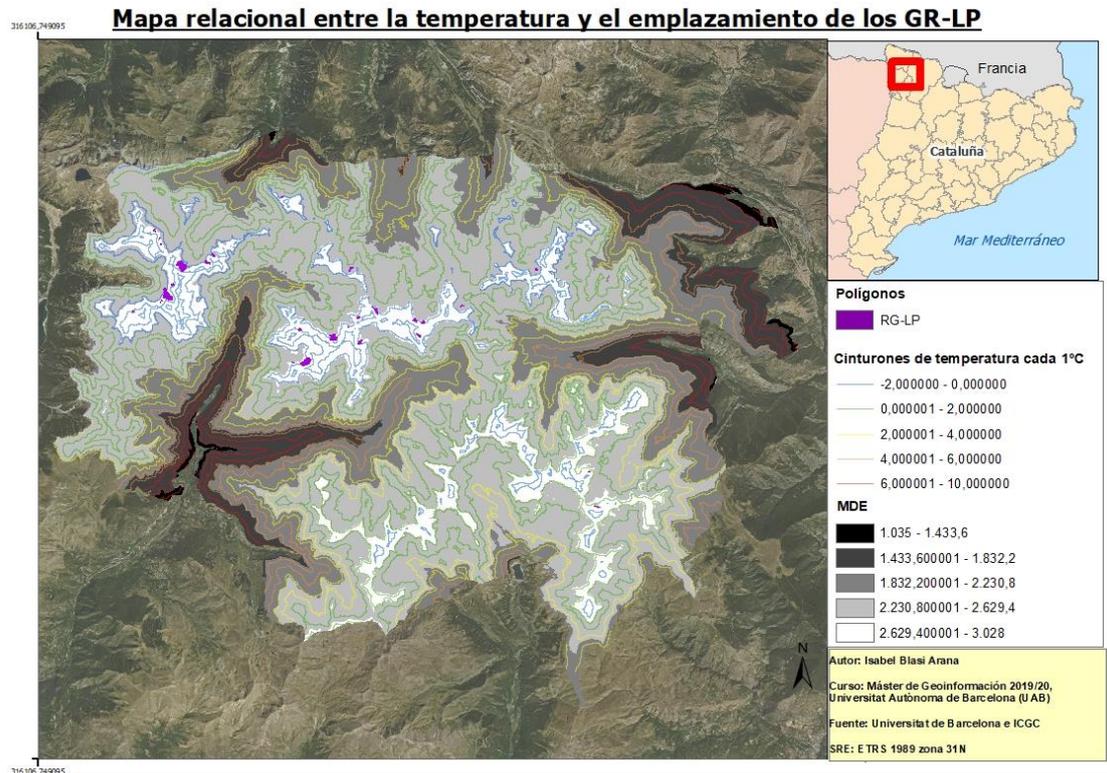


Fig. 26. Mapa relacional entre la  $T^{\circ}$ , con el gradiente térmico vertical aplicado, y el emplazamiento de los GR-LP.

Como se observa en la imagen la mayoría de los GR-LP se sitúan en zonas donde la temperatura media anual oscila entre  $-2,5$  y  $0,0^{\circ}\text{C}$ . Estas temperaturas negativas permiten inferir la proximidad de condiciones de permafrost y, por tanto, nuestros datos validan la posibilidad de que contengan un cuerpo congelado en su interior, siendo por ello glaciares rocosos activos. Tan solo hay dos GR que se encuentran en temperaturas medias anuales superiores, en concreto de  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Estos GR son los de Comalespales-Colieto y Tallada Llarga que muy probablemente no contengan una masa congelada en su interior a tenor de estos datos.

Para una mejor perspectiva de los cinturones de temperatura realizados, se abrió el proyecto realizado en ArScene con el visor 3D (Fig.26 y 27). En las capturas del proyecto se visualiza la zona central del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, dónde se emplazan un gran número de GR-LP.

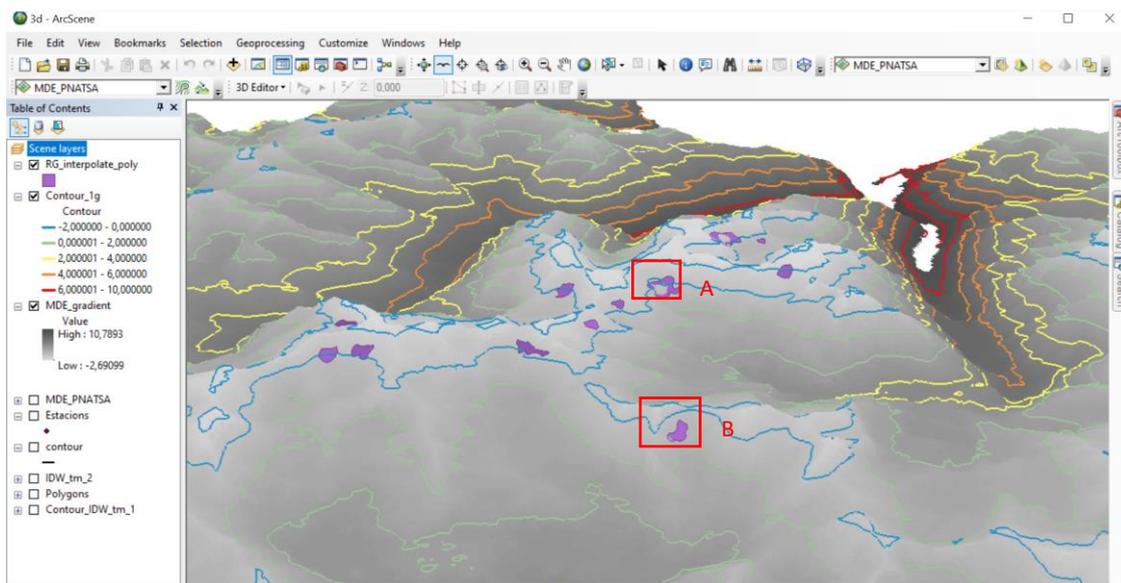


Fig. 27. Modelo 3D de la temperatura media anual con el gradiente térmico vertical aplicado. También se observa los cinturones de temperatura cada 1°C y algunos de los GR-LP situados en la zona central del parque. Indicado con un rectángulo y la letra A se encuentra el GR de Comalespales-Colieto y con la letra B el GR Tallada Llarga.

### Relación Temperatura media anual y la topografía de los GR-LP

En esta última parte del análisis se realizó un estudio de la relación entre la temperatura media anual y los GR-LP. Para llevarlo a cabo se cargaron en un nuevo proyecto las capas: límite\_PNATSA, límite\_perif\_PNATSA, GR\_PNA, GR\_PNA\_points y el ráster resultado del RASTER CALCULATOR realizado en el análisis anterior. Se utilizó este ráster porque ya está aplicado el gradiente térmico vertical. Se simbolizó por el apartado Raster Value, que es el que indica el valor de la temperatura y a partir de la capa de puntos utilizando la herramienta EXTRACT VALUES TO POINTS se extrajeron los valores de temperatura para cada uno de los GR-LP. Con esta herramienta, se crea una nueva capa de puntos con el valor Raster Value ya añadido y se procede a exportar su tabla de Atributos (Tabla. 3) para ordenar los valores y mejorar la visualización de éstos. Finalmente se crea el mapa, añadiendo etiquetas en unas cuantas formas para ubicar mejor los GR-LP y se exporta (Fig.28).

Tabla. 3. Tabla de atributos de la capa de puntos creada con los valores de ráster ya insertados. RASTERVALU, es la columna indicativa de la temperatura media anual de cada uno de los GR-LP.

OBJECTID	OID	Name	SymbolID	AltMode	LabelID	rg_cd	RASTERVALU
1	0	LP Punta Senyalada	0	-1	0	11	-0,9716668
2	0	LP Contraix-Colieto	0	-1	0	17	-0,3053622
3	0	LP Abellers	0	-1	0	12	-0,492382
4	0	LP Contraix-cota 2832	0	-1	0	22	-0,3918629
5	0	LP Circ de Tòrt-2	0	-1	0	10	-0,5308034
6	0	LP Circ de Tòrt-1	0	-1	0	9	-0,5310698
7	0	LP Montardo	0	-1	0	6	-0,0866961
8	0	LP Saburó	0	-1	0	27	0,7310858
9	0	GR Besiberri NW	1	-1	1	2	-0,4956698
10	0	GR Besiberri N	1	-1	1	1	-0,4376149
11	0	GR Tossau Lac Tòrt	2	-1	2	8	-0,5162971
12	0	GR Mainera	2	-1	2	26	0,7762189

13	0	GR Creu de Colomèrs	2	-1	2	21	-0,0657463
14	0	GR Punta Harlé	2	-1	2	4	-0,1400845
15	0	GR Punta Harlé	2	-1	2	5	-0,1337833
16	0	GR Comalesbienes	2	-1	2	13	-0,4179554
17	0	GR Gespadera	2	-1	2	23	0,2927213
18	0	GR Tallada Llarga	2	-1	2	7	0,5164008
19	0	GR Punta Alta	2	-1	2	14	-0,920023
20	0	GR Comalespales-Colieto	2	-1	2	15	0,1531596
21	0	GR Contraix	2	-1	2	16	0,0892205
22	0	GR Gran Tuc de Colomèrs	2	-1	2	24	-0,352416
23	0	GR Colomèrs N	2	-1	2	19	0,001791
24	0	GR Colomèrs NE	2	-1	2	18	-0,1534848
25	0	GR Obagues de Ratera	2	-1	2	25	0,6080575
26	0	GR Bassiero	2	-1	2	20	0,4095671
27	0	GR Besiberri del Mig	2	-1	2	3	-0,8895004

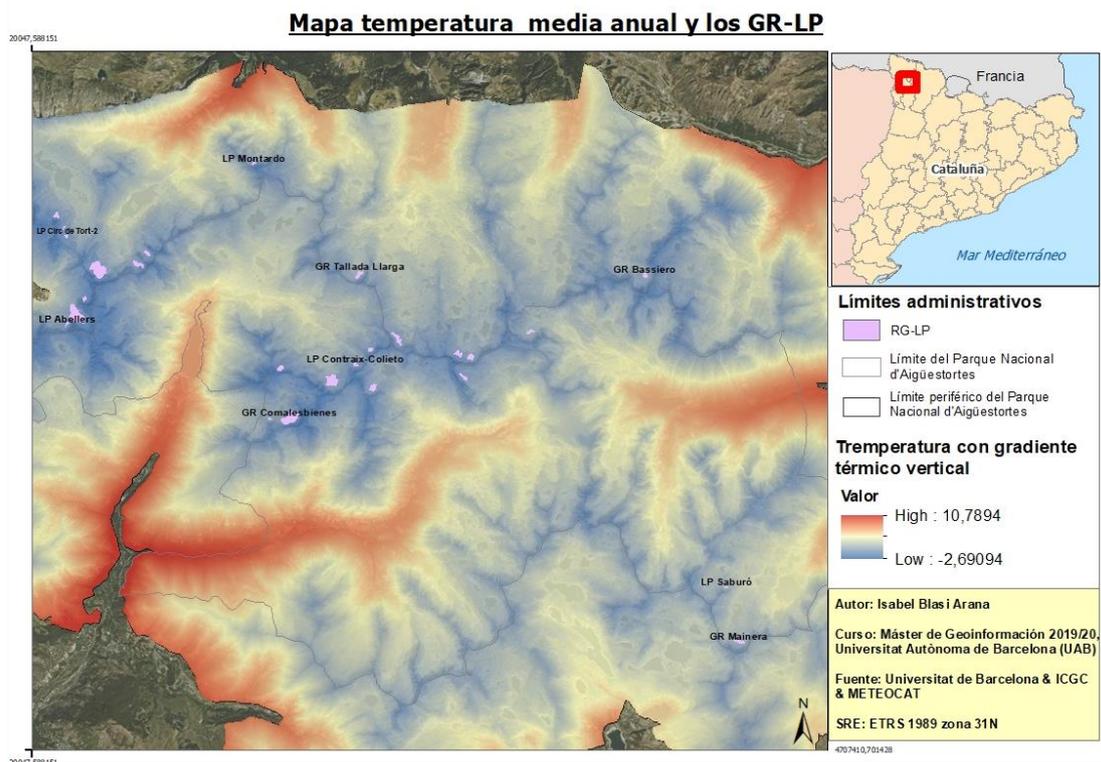


Fig. 28.. Mapa resultado del análisis relacional entre la Tª media anual y los GR-LP

Gracias a la tabla exportada se puede observar que la temperatura media anual de las geoformas, concretamente, oscila entre  $-1^{\circ}\text{C}$  y  $1^{\circ}\text{C}$ . El LP Punta Senyalada es la forma con el valor más bajo ( $0,97^{\circ}\text{C}$ ) y el LP Saburó es el que tiene el valor más elevado ( $0,77^{\circ}\text{C}$ ). El hecho que sean LP los que se encuentran en los extremos temperatura media anual, nos indica que esta morfología, aunque no se ha estudiado tanto como los GR, son muy resistentes ya que pueden aparecer en diferentes temperaturas. Aunque la variación es poca, es un hecho interesante a estudiar. Además, se proporciona la información para acabar de esclarecer, con más detalle, qué geoformas contienen

todavía masa congelada en su interior. Al estudiar GR-LP potencialmente activos este dato es de suma importancia y ayuda a definir la presencia de actividad o no en ellos.

Cabe añadir, que en este análisis los datos son ligeramente diferentes al realizado anteriormente, de cinturones de temperatura, porque en este caso se ha buscado el detalle. Se han calculado las temperaturas medias anuales del centro exactos de los GR-LP y por lo tanto se ha acotado mejor el dato.

## Parte III. Geoservicios

### 1.Introducción

Esta última parte del proyecto consiste en compartir los resultados de los análisis realizados a través de la plataforma ArcGIS online. Se ha utilizado esta herramienta porque al haber realizado los mapas con este mismo software, la compatibilidad es del 100% y no se producen errores.

### 2.Metodología

Para empezar, se inició sesión en ArcGIS online con nuestro usuario y contraseña, proporcionada gracias a la licencia de estudiantes que se facilitó al inicio del Máster de Geoinformación (UAB). Al iniciar sesión se crea un grupo donde se guardarán todos los datos y mapas que se quieran compartir, los resultados obtenidos en el apartado de análisis. Este grupo se nombra: **GR-LP del PNA**. Seguidamente se abren los proyectos que se han realizado para cada análisis y se clicla en la opción de *Share as... -> Map Package*. Utilizamos el formato Map Package ya que como hay datos que están guardados en un *Personal Geodatabase* o que se han importado directamente de la BD, se pueden perder al compartir el proyecto en formato únicamente MXD. Con la opción de Map Package se abrirá una ventana, donde se marcará la casilla de exportar a ArcGIS online (Fig.29). Se abrirá entonces un interfaz para volver a conectarse con el usuario pertinente. Con la opción de exportar a ArcGIS online, se puede modificar el título del proyecto, si es necesario. Posteriormente, se deben rellenar todos los campos del apartado de Item Description, aunque hay algunos campos que no son obligatorios, se recomienda completar la información de todos los campos para facilitar el proceso (Fig. 30). Antes de acabar, se debe marcar si se quiere compartir el Map Package y hacerlo público, si se quiere compartir con un grupo en concreto o si no se quiere compartir, en cuyo caso no se marcaría ninguna casilla (Fig.31). Finalmente aceptamos la exportación, con la opción Share y al finalizar el proceso, aparecerá en el grupo creado, GR-LP del PNA, la información lista para descargar. Se repite este proceso para todos los proyectos que se han realizado en el análisis de este trabajo.

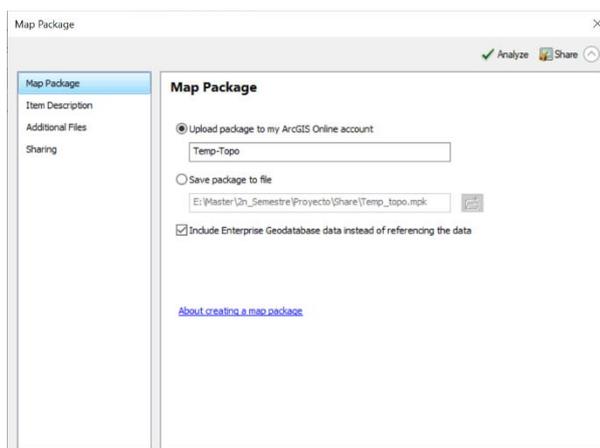


Fig. 29. Interfaz inicial para la exportación del Map Package a ArcGIS online.

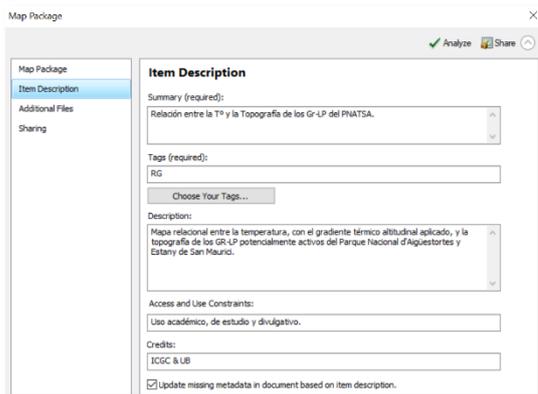


Fig. 30. Ejemplo de uno de los proyectos exportados con los campos descriptivos completamente rellenos.

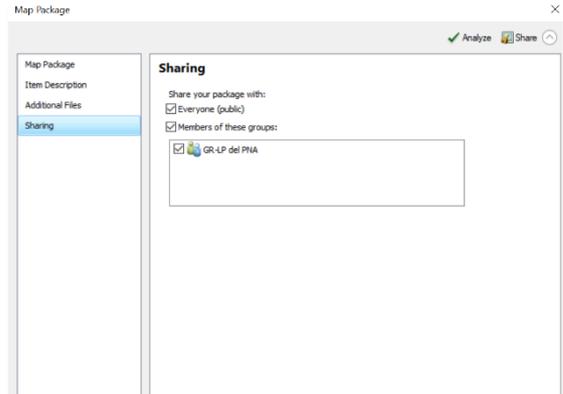


Fig.31. Último apartado que se debe rellenar para exportar el proyecto al grupo que se creó.

### 3.Resultados

Finalmente, cuando se han cargado todos los proyectos si se inicia sesión en ArcGIS Online se pueden observar que dentro del grupo de trabajo creado se encuentran todos ellos (Fig.32).

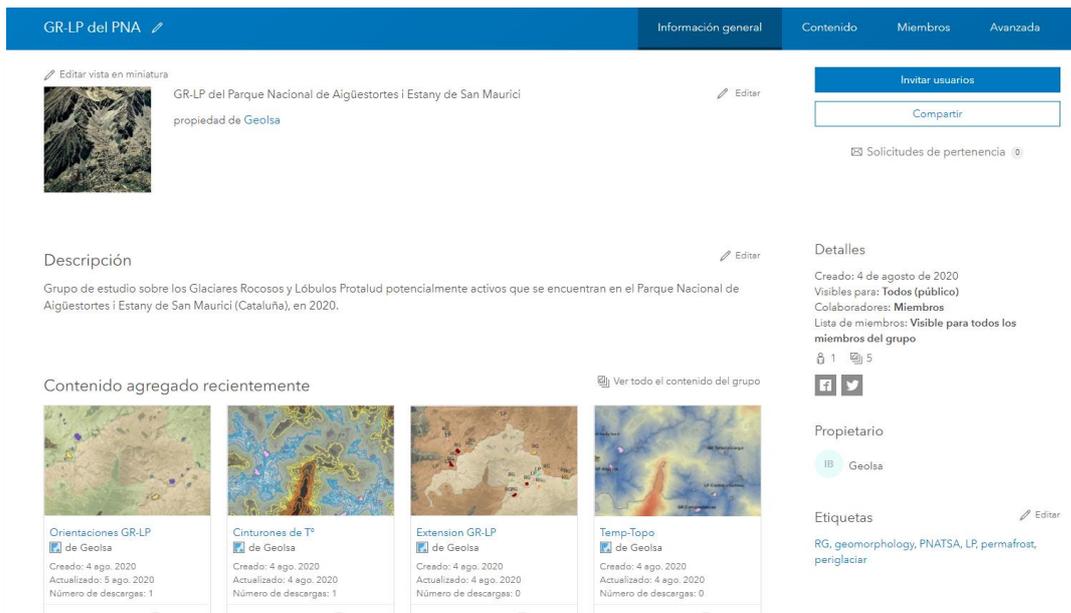


Fig. 32. Página inicial en ArcGIS online del grupo GR-LP del PNA, con los proyectos ya cargados.

Si eres participante en el grupo, los tendrás todos agrupados, pero si no se es participante como los archivos están públicos, únicamente buscando el título del proyecto se pueden encontrar. A la hora de hacer la búsqueda, para ser más preciso, se deben aplicar los filtros: *Tipo de elemento*-> *Mapas* -> *Archivos de mapa*, ya que se trata de un Map Package (Fig.33). Cuando se encuentra el proyecto deseado únicamente se debe de clicar en la opción de descargar para ArcGIS Desktop y se iniciará la descarga automáticamente (Fig.34). Cuando ésta finaliza, ya se podrá abrir el proyecto y trabajar sobre él.

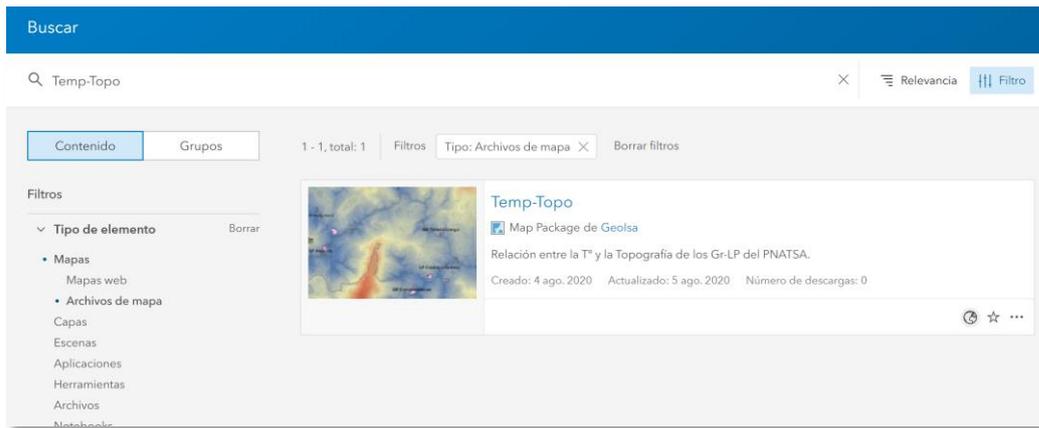


Fig.33. Buscador de ArcGIS online, con el título del proyecto que se quiere buscar y los filtros aplicados para que aparezca antes el contenido.



Fig. 34. Archivo obtenido en la búsqueda, se ha procedido a la descarga del Map Package como se puede observar en la parte inferior de la imagen.

Así concluye el apartado de Geoservicios y por ende el Trabajo Final de Máster realizado con la ayuda de mis tutores. Además de los 5 análisis subidos a ArcGIS Online, también como resultado del trabajo se obtendrán:

- La BD en formato Access.
- Map Package con las tablas de la BD y las morfologías tanto del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de San Maurici, como de los GR-LP.
- 5 mapas correspondiente a los 5 análisis realizados.
- La memoria del TFM.

A continuación, se extraen unas breves conclusiones tanto del proyecto como del trabajo que se ha realizado para lograrlo.

## Conclusiones

El proyecto trabajaba sobre una BD de GR potencialmente activos. Una vez concluido todo el estudio con el correspondiente análisis de los datos, se pueden definir nuevos GR activos. Gracias al estudio de interferometría juntamente con el análisis de extensión de los GR/LP, se pueden clasificar como GR activos 5 GR: Besiberri NW, Besiberri N, Punta Harlé 1 y 2 y Tossau Lac Tòrt. Confirmada la actividad se confirma también la presencia de permafrost en su base.

El trabajo realizado me ha servido para adquirir nuevos conocimientos y poner en práctica los ya adquiridos durante el transcurso del Máster de Geoinformación (3ª edición) organizado por el Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) y Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). Ha sido un trabajo completo, ya que se han abarcado todos los temas, desde la creación de una BD hasta la implementación de sus datos para realizar su análisis. Me gustaría añadir que ha sido de grato agrado hacer un trabajo relacionado con mi ámbito de estudio, la geología, aplicando las herramientas que se me han enseñado durante todo el curso. Me llevo un gran aprendizaje, tanto desde lo más básico como es el conocimiento de nuevo vocabulario, como la gestión de datos y sus análisis.

Aunque la parte más tediosa de realizar fue la BD en sí, también ha sido la más gratificante, ya que he podido observar cómo funcionaba y utilizarla.

Para acabar me gustaría agradecer el trabajo realizado por mis tutores tanto del ICGC como de la UB ya que me han tutorizado el Treball de Fi de Máster (TFM) de una forma rigurosa y sus consejos, comentarios y correcciones han sido un gran apoyo para la consecución de los objetivos de este trabajo.

# Referencias bibliográficas/ web

- Andreas Fries, Rütger Rollenbeck, Thomas Nauß, Thorsten Peters, Jörg Bendix, (2011). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization.
- Barsch, D. 1996. Rockglaciers: indicators for the present and former geocology in high mountain environments. Berlin: Springer
- Bataller, F.J. (2019). Pyrenaic rock-glaciers: an airborne and multitemporal lidar monitoring case study in the Besiberri area. Earth ArXiv, <https://doi.org/10.31223/osf.io/nxveh>
- Bataller, F.J. (2019). Pyrenaic rock-glaciers: an airborne and multitemporal lidar monitoring case study in the Besiberri area. Earth ArXiv, <https://doi.org/10.31223/osf.io/nxveh>.
- Chueca Cía, J. y Julián Andrés, A. 2011. Besiberri glacial rock glacier (central pyrenees, Spain): Mapping surface horizontal and vertical movement (1993-2003).
- Chueca, J., Julián, A., (2003). Movement of Besiberri rock glacier, Central Pyrenees, Spin: data from a 10-year geodetic survey. Antarctic, Arctic and Alpine Research, 37(2): 163-170.
- Crandell, D.R., Miller, R., 1974. Quaternary stratigraphy and extent of glaciation in the Mount Ranier Region, Washington. Geological Survey Professional Paper 847, Washington
- Curtaz M., Vagliasindi M., Letey S., Morra di Cella U., & Pogliotti P, 2010. New rock glaciers inventory of Aosta Valley, Italy.
- Darren B. Jones, Stephan Harrison, Karen Anderson W. Brian, 2019, Rock glaciers and mountain hydrology: A review
- Enrique Serrano, José Juan de Sanjosé and Juan José González-Trueba, 2006, Rock glacier dynamics in marginal periglacial environments
- Fernandes M., Lopes L., Oliva M., Ruiz-Fernández J. 2016. Topographical conditions and geomorphological distribution of rock glaciers and protalus lobes in Aran valley (Central Pyrenees).
- Fernandes, M., Oliva, M., Palma, P., Ruíz-Fernandez, J., Lopes, L. 2017. Glacial stages and post-glacial environmental evolution in the Upper Garonne valley, Central Pyrenees. Science of Total Environment 584-585 (2017), 1282-1299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.209>
- Fernandes, M., Palma, P., Lopes, L., Ruiz-Fernández, J., Pereira, P., Oliva, M. 2017. Spatial distribution and morphometry of permafrost-related landforms in the Central Pyrenees and associated paleoclimatic implications. Quaternary International. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.071>
- Giardino, J. R., and Vick, S. G., 1987. Geologic engineering aspects of rock glaciers. In Giardino, J. R., Shroder, J. F., Jr., and Vitek, J. D. (eds.), Rock Glaciers. London: Allen and Unwin, pp. 265-287
- Gómez Ortiz, A., Palacios, D., Palade, B., Vázquez-Selem, L., and Salvador-Franch, F., 2012. The deglaciation of the Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology, 159-160: 93-105
- Gómez-Ortiz A., Oliva M., Salvador-Franch F., Salvà-Catarineu M., Palacios D., de Sanjosé-Blasco J. J., Tanarro-García L. M., Galindo-Zaldívar J., and Sanz de Galdeano C., 2014. Degradation of buried ice and permafrost in the Veleta cirque (Sierra Nevada, Spain) from 2006 to 2013 as a response to recent climate trends
- González García M., Serrano Cañadas E., Sanjosé Blasco J.J., González Trueba J.J., 2016. Surface dynamic of a protalus lobe in the temperate high mountain. Western Maladeta, Pyrenees.
- Gutiérrez, M., Peña Monne, J.L., (1981). Los glaciares rocosos y el modelado acompañante en el área de La Bonaigua (Pirineo de Lérida). Bol. Geol. Y Min., 92: 101-110.
- <http://www.icc.cat/vissir3/>
  - <http://www.arcgis.com/>
  - <https://app.lucidchart.com/>
  - <https://www.researchgate.net/>
- Höllerman P. (1983). Blocgletscher als Masoformen der Periglazialstufe. Bonner Geogr. Abhandlungen S., 67-73).
- Krainer K., & Ribis M., 2012. A Rock Glacier Inventory of the Tyrolean Alps (Austria).
- Martí, M., Serrat, D. 1992. Les glaceres rocalloses al Parc Nacional d'Aiguestortes i Estany de Sant Maurici i la seva àrea d'influència. En: La investigació al Parc Nacional d'Aiguestortes i Estany de Sant Maurici.
- Meredith M., Sommerkorn M., Cassotta S, Derksen C., Ekaykin A., Hollowed A., Kofinas G., Mackintosh A., Melbourne-Thomas J., Muelbert M. M. C., Ottersen G., Pritchard H., Schuur E. A. G., Polar Regions. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. IPCC Spec. Rep. (2019).
- Oliva M., Gómez Ortiz A., Salvador Franch F. and Salvà Catarineu M., (2014). Present-Day Solifluction Processes in the Semi-arid Range of Sierra Nevada (Spain).
- Oliva, M.; Žebre, M.; Guglielmin, M.; Çiner, A.; Vieira, G.; Bodin, X.; Andrés, N.; Colucci, R.R.; García-Hernández, C.; Hughes, P.; Mora, C.; Nofre, J.; Palacios, D.; Pérez-Alberti, A.; Ribolini, A.; Ruiz-Fernández, J.; Sarikaya, M.A.; Serrano, E.; Urdea, P.; Valcárcel, M.; Woodward, J. & Yıldırım, C. (2018). Permafrost conditions in the Mediterranean region since the Last Glaciation. Earth-Science Reviews, 185: 397-436.
- Ortuño, M. 2008. Deformación activa en el Pirineo Central: La falla Norte de la Maladeta y otras fallas activas. Tesis doctoral, 346 pp. Risknat, Departament de Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona.
- Scapozza, C., Mari, S. 2010. Catasto, caratteristiche e dinamica dei rock glaciers delle Alpi Ticinesi. Bollettino de la Società Ticinese di Scienze Naturali 98, 15-29. [http://repository.supsi.ch/2152/1/Scapozza-Mari\\_Boll-STSN2010.pdf](http://repository.supsi.ch/2152/1/Scapozza-Mari_Boll-STSN2010.pdf)
- Seligman ZM, Klene AE, Nelson FE. Rock glaciers of the Beartooth and northern Absaroka ranges, Montana, USA. Permafrost and Periglac Process. 2019;1-11. <https://doi.org/10.1002/ppp.2019>
- Seppi R., Carton A., & Baroni C., 2005. Proposta di nuova scheda per il censimento dei rock glaciers da fotografie aeree: applicazione sull'alta Val D'ultimo (Gruppo Ortles-Cevedale).
- Serrano, E., Agudo, C., González Trueba, J.J., (2002). La deglaciación de la alta montaña del macizo del Posets (Pirineo aragonés). Morfología, evolución y fases morfogénicas glaciares. Cuaternario & Geomorfología, 16: 111-126.
- Serrano, E., Martínez de Pisón, E., Martínez, R., Cantarino, I., Navarro, J., (1991). El glaciar noroccidental del Besiberri (Pirineo de Lérida). Pirineos, 137: 95-109.
- Serrano, E, C. Agudo, and E. Martínez de Pisón. 1999. Rock glaciers in the Pyrenees. Permafrost and Periglacial Processes 10:101-106.
- Serrat, D., 1979: Rock glacier morainic deposits in the Eastern Pyrenees. In: sCHLÜCHTER, C.H. ed.: Moraines and varves. Origin, genesis, classification. A.A. Balkema. Rotterdam. 93-100.
- Ventura, J. (2016). Identificación e inventario de potenciales glaciares rocosos activos en los Pirineos mediante fotointerpretación en visores cartográficos 2D y 3D: Primeros resultados. Polígonos-Revista de Geografía., 28, pp. 95-121. Universidad de León, León. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i28.4289>.
- Ventura-Roca, J. 2020. Distribución espacial y temporal de glaciares, glaciares cubiertos y glaciares rocosos durante la última deglaciación en el valle de La Bonaigua (Pirineo Central). Cuadernos de Investigación Geográfica 46, <http://doi.org/10.18172/cig.4395>.

# Anexos

## Listado de litologías

Listado que se utiliza en la BD para el atributo RG\_LITHO (litología) de RG/LP, éste listado es una versión reducida por la geóloga Carme Puig del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) sobre la versión general verificada por la normativa INSPIRE.

acidic igneous rock
arenite
basalt
basanite
basic igneous rock
boundstone
breccia
carbonate mudstone
carbonate phyllite
carbonate phyllite
carbonate sediment
carbonate sedimentary rock
clay
coal
cobble gravel size sediment
conglomerate
crystalline carbonate
diamicton
diorite
dioritic rock
doleritic rock
dolomite
evaporite
fine grained igneousRock
foliated metamorphic rock
framestone
grainstone
granitoid
granodiorite
gravel
gypsum or anhydrite
hornfels
impure calcareous carbonate sediment
impure carbonate sedimentary rock
impure limestone

intermediate composition igneous rock
lignite
limestone
marble
metasedimentary rock
microconglomerate
mudstone
non-clastic siliceous sedimentary rock
ophite
organic bearing mudstone
orthogneiss
paragneiss
peat
pyroclastic material
residual material
rhyolite
rock salt
sand
sandstone
sedimentary rocks
silt
siltstone
slate
syenite
tonalite
travertine
turbidite deposits
ultrabasic Igneous Rock
ultramafic Igneous Rock
wacke

### **Tablas Access con información**

A continuación, se muestran las tablas creadas para la BD rellenas con la información proporcionada por Josep Ventura.

Tabla LOCAT:

RG_CD	RG_NM	RG_SYST	RG_COOR_FRNT_X	RG_COOR_FRNT_Y	RG_COOR_CNTR_X	RG_COOR_CNTR_Y
1	Besiberri (N)	Besiberri-Montardo	321916,00	4719730,56	321734,11	4719698,59
2	Besiberri (NW)	Besiberri-Montardo	321208,60	4718822,74	321188,57	4718568,27
3	Besiberri (NW2)	Besiberri_montardo	321350,10	4719004,30	321395,73	4718953,39
4	Punta Harle-1	Besiberri-Montardo	322722,17	4720049,45	322749,20	4719845,35
5	Punta Harle-2	Besiberri-Montardo	322884,81	4720168,76	322982,76	4720121,34
6	Montardo	Besiberri-Montardo	325749,24	4722565,51	325696,24	4722431,75
7	Pic de la Tallada Llargà	Besiberri-Montardo	328460,00	4719750,88	328366,79	4719570,57
8	Tossau Lac Tort	Besiberri-Montardo	320653,12	4721152,11	320669,97	4721095,99

9	Circ de Tort-1	Besiberri-Montardo	253959,60	4722858,10	320858,87	4720769,56
10	Circ de Tort-2	Besiberri-Montardo	320957,72	4720588,63	320926,41	4720554,80
11	Punta Senyalada	Besiberri-Montardo	319794,48	4717933,30	319834,92	4717900,14
12	Pic Abellers	Besiberri-Montardo	320922,40	4718336,25	320938,78	4718303,49
13	Comalesbienes	Punta Alta-Colomers	326613,15	4716092,92	326609,59	4715912,64
14	Punta Alta (NE)	Punta Alta-Colomers	326529,98	4717329,62	326367,09	4717182,81
15	Comalespales-Coll de Coli	Punta Alta-Colomers	327801,79	4717112,77	327663,09	4716875,09
16	Contraix	Punta Alta-Colomers	328867,77	4716870,36	328719,10	4716680,86
17	Contraix (Colieto)	Punta Alta-Colomers	328357,23	4717438,54	328277,39	4717279,97
18	Gran Tuc de Colomers (NE)	Punta Alta-Colomers	331010,15	4717743,84	330880,19	4717555,95
19	Gran Tuc de Colomers (N)	Punta Alta-Colomers	331326,23	4717612,69	331196,42	4717467,56
20	Pic de Bassiero (Gerber)	Punta Alta-Colomers	335569,56	4719609,62	335637,83	4719558,07
21	Creu de Colomers	Punta Alta-Colomers	329417,80	4717906,24	329324,67	4717935,90
22	Contraix-cota 2832	Punta Alta-Colomers	328592,00	4717710,52	328660,49	4717660,14
23	Gespadera	Punta Alta-Colomers	326060,61	4715890,67	326102,73	4715879,05
24	Gran Tuc de Colomers €	Punta Alta-Colomers	331126,64	4716907,66	331017,58	4716964,87
25	Obagues de Ratera	Punta Alta-Colomers	332844,58	4718162,39	332719,91	4718113,37
26	Mainera	Peguera_Subenuix	338017,62	4710200,62	338023,06	4710184,31
27	Saburo	Peguera-Subenuix	337729,87	4711565,28	337696,18	4711572,00

Tabla MORPHO:

RG_C D	RG_HIGH_PEA K	RG_HIGH_L F	RG_ALTITUD E	RG_LOW_L F	RG_FRNT_H	RG_AMPLI TD	RG_S LOPE	RG_A SPEC T	RG_L_MAX	RG_W_MAX	RG_AREA	RG_CAT CH_AR EA	INDX_L_ W	INDX_L_ H	INDX_W_ H
1	3.008,00	2.745,00	263,00	2.593,00	44,00	152,00	24,73	N	330,00	443,00	118.376,09		0,74	2,17	2,91
2	3.023,00	2.780,00	243,00	2.545,00	38,00	235,00	17,62	NW	740,00	225,00	118.860,33		3,29	3,15	0,96
3	2.995,00	2.770,00	225,00	2.710,00	33,00	60,00	21,16	NW	155,00	120,00	11.366,92		1,29	2,58	2,00
4	2.885,00	2.700,00	185,00	2.578,00	22,00	122,00	20,40	NW	328,00	106,00	25.490,49		3,09	2,69	0,87
5	2.885,00	2.687,00	198,00	2.584,00	21,00	103,00	22,15	NW	253,00	80,00	15.309,19		3,16	2,46	0,78
6	2.833,00	2.650,00	183,00	2.605,00	12,00	45,00	22,25	N	110,00	118,00	7.225,53		0,93	2,44	2,62
7	2.750,00	2.585,00	165,00	2.525,00	25,00	60,00	18,06	N	184,00	146,00	22.255,60		1,26	3,07	2,43
8	2.842,00	2.686,00	156,00	2.632,00	11,00	54,00	17,15	NE	175,00	140,00	14.817,67		1,25	3,24	2,59
9	2.824,00	2.680,00	144,00	2.640,00	8,00	40,00	14,38	NE	156,00	50,00	5.144,67		3,12	3,90	1,25
10	2.883,00	2.703,00	180,00	2.640,00	20,00	63,00	20,33	NE	170,00	88,00	7.096,07		1,93	2,70	1,40
11	2.904,00	2.760,00	144,00	2.715,00	26,00	45,00	22,62	N	108,00	94,00	7.609,76		1,15	2,40	2,09
12	2.983,00	2.700,00	283,00	2.653,00	24,00	47,00	23,14	N	110,00	84,00	6.723,55		1,31	2,34	1,79
13	2.983,00	2.795,00	188,00	2.645,00	40,00	150,00	25,97	NW	308,00	413,00	92.972,64		0,75	2,05	2,75
14	3.014,00	2.850,00	164,00	2.755,00	35,00	95,00	25,97	NE	195,00	130,00	19.451,30		1,50	2,05	1,37
15	2.970,00	2.700,00	270,00	2.544,00	91,00	156,00	21,26	N	401,00	280,00	73.622,43		1,43	2,57	1,79
16	2.958,00	2.700,00	258,00	2.625,00	16,00	75,00	17,35	NE	240,00	139,00	25.539,02		1,73	3,20	1,85
17	2.958,00	2.735,00	223,00	2.682,00	13,00	53,00	21,01	N	138,00	86,00	8.799,63		1,60	2,60	1,62
18	2.933,00	2.730,00	203,00	2.635,00	36,00	95,00	27,18	NE	185,00	243,00	21.308,07		0,76	1,95	2,56
19	2.933,00	2.680,00	253,00	2.600,00	48,00	80,00	21,80	N	200,00	161,00	21.887,83		1,24	2,50	2,01
20	2.903,00	2.580,00	323,00	2.537,00	18,00	43,00	14,12	N	171,00	109,00	12.785,89		1,57	3,98	2,53
21	2.894,00	2.705,00	189,00	2.650,00	25,00	55,00	22,32	NE	134,00	240,00	31.175,81		0,56	2,44	4,36
22	2.892,00	2.734,00	158,00	2.655,00	58,00	79,00	25,86	N	163,00	130,00	11.790,67		1,25	2,06	1,65
23	2.805,00	2.650,00	155,00	2.602,00	20,00	48,00	23,96	N	108,00	103,00	4.920,74		1,05	2,25	2,15
24	2.908,00	2.775,00	133,00	2.678,00	22,00	97,00	29,28	E	173,00	300,00	18.382,77		0,58	1,78	3,09

25	2.791,00	2.560,00	231,00	2.537,00	8,00	23,00	10,03	N	130,00	182,00	14.291,76	0,71	5,65	7,91
26	2.909,00	2.718,00	191,00	2.678,00	22,00	40,00	19,33	N	114,00	253,00	17.802,64	0,45	2,85	6,33
27	2.847,00	2.718,00	129,00	2.685,00	15,00	33,00	23,75	N	75,00	124,00	5.040,44	0,60	2,27	3,76

Tabla FEAT:

RG_CD	RG_GEOMORPH	RG_LITHO	RG_LF_TYPE	RG_MORPH	RG_GENERT	RG_ACTIVITY	RG_GEN_LF	RG_VEG_INDX	RG_VEG_TYPE
1	CIRQUE	granitoid	RG	CX	M	ACT	TAL	0,00%	NODATA
2	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	ACT	GLA	0,00%	NODATA
3	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	ACT	GLA	0,00%	NODATA
4	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	ACT	TAL	0,00%	NODATA
5	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	ACT	TAL	0,00%	NODATA
6	CIRQUE	granodiorite	LP	LS	M	ACT	TAL	0,00%	NODATA
7	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
8	CIRQUE	granodiorite	RG	TS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
9	CIRQUE	granodiorite	LP	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
10	CIRQUE	granodiorite	LP	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
11	CIRQUE	granitoid	LP	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
12	CIRQUE	granitoid	LP	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
13	CIRQUE	granodiorite	RG	CX	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
14	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
15	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	ACT	GLA	0,00%	NODATA
16	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
17	CIRQUE	granitoid	LP	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
18	CIRQUE	granitoid	RG	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA

19	CIRQUE	granitoid	RG	TS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
20	CIRQUE	granodiorite	RG	TS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
21	CIRQUE	granitoid	RG	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
22	CIRQUE	granitoid	LP	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
23	CIRQUE	granodiorite	RG	TS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
24	CIRQUE	granitoid	RG	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
25	CIRQUE	granodiorite	RG	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
26	CIRQUE	granodiorite	RG	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA
27	CIRQUE	granitoid	LP	LS	M	UNDF	TAL	0,00%	NODATA

Tabla ADD con los datos entrados:

RG_CD	DATE_REVIEW	RG_BIBLIOG	RG_CAPT_METHOD
1	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
2	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarthA
3	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
4	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
5	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
6	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
7	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
8	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
9	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
10	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
11	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
12	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
13	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
14	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
15	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
16	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
17	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
18	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
19	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
20	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
21	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
22	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
23	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
24	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
25	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
26	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth
27	12/07/2020	2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos	Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth

Tabla DATA con los datos introducidos:

RG_CD	RG_DESCRIPT
1	NODATA
2	NODATA
3	NODATA
4	NODATA
5	NODATA
6	NODATA
7	NODATA
8	NODATA
9	NODATA
10	NODATA
11	NODATA
12	NODATA
13	NODATA
14	NODATA
15	NODATA
16	NODATA
17	NODATA
18	NODATA
19	NODATA
20	NODATA
21	NODATA
22	NODATA
23	NODATA
24	NODATA
25	NODATA
26	NODATA
27	NODATA

## **Formularios**

Formulario de la tabla DATA:

**Formulario de la tabla DATA**

RG\_CD

RG\_DESCRIPT

◀
▶
🔍
✎
📄
🖨
↺

Formulario de la tabla FEAT:

### Formulario de la tabla FEAT

RG_CD	<input type="text" value="1"/>	RG_GENERT	<input type="text" value="M"/>
RG_GEOMORPH	<input type="text" value="CIRQUE"/> <input type="text" value="VALLEY"/> <input type="text" value="NODATA"/>		<input type="text" value="P"/> <input type="text" value="NODATA"/>
RG_LITHO	<input type="text" value="granitoid"/>	RG_ACTIVITY	<input type="text" value="ACT"/> <input type="text" value="TRANS"/> <input type="text" value="RELCT"/> <input type="text" value="UNDF"/> <input type="text" value="NODATA"/>
RG_LF_TYPE	<input type="text" value="LP"/> <input type="text" value="RG"/> <input type="text" value="NODATA"/>	RG_GEN_LF	<input type="text" value="TAL"/> <input type="text" value="NODATA"/>
RG_MORPH	<input type="text" value="TS"/> <input type="text" value="LS"/> <input type="text" value="CX"/>	RG_VEG_INDX	<input type="text" value="0,00%"/>
		RG_VEG_TYPE	<input type="text" value="NODATA"/>

Formulario de la tabla MORPHO:

### Formulario de la tabla MORPHO

RG_CD	<input type="text" value="1"/>
RG_HIGH_PEAK	<input type="text" value="3.008,00"/>
RG_HIGH_LF	<input type="text" value="2.745,00"/>
RG_ALTITUDE	<input type="text" value="263,00"/>
RG_LOW_LF	<input type="text" value="2.593,00"/>
RG_FRNT_H	<input type="text" value="44,00"/>
RG_AMPLITD	<input type="text" value="152,00"/>
RG_SLOPE	<input type="text" value="24,73"/>
RG_ASPECT	<input type="text" value="N"/>
RG_L_MAX	<input type="text" value="330,00"/>
RG_W_MAX	<input type="text" value="443,00"/>

RG_AREA	<input type="text" value="118.376,09"/>
RG_CATCH_AREA	<input type="text"/>
INDX_L_W	<input type="text" value="0,744920993227991"/>
INDX_L_H	<input type="text" value="2,17105263157895"/>
INDX_W_H	<input type="text" value="2,91447368421053"/>

Formulario de la tabla ADD:

### Formulario de la tabla ADD

RG_CD	<input type="text" value="1,00"/>
DATE_REVIEW	<input type="text" value="12/07/2020"/>
RG_BIBLIOG	<input type="text" value="2016-Ventura-Glaciares rocosos activos Pirineos"/>
RG_CAPT_METHOD	<input type="text" value="Fotointerpretación Vissir ICGC y GoogleEarth"/>

