

VII JORNADA DE INVESTIGACIÓN

Parque Nacional de Ordesa
y Monte Perdido

2 DE DICIEMBRE DE 2021



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

ORGANISMO
AUTÓNOMO
PARQUES
NACIONALES



GOBIERNO
DE ARAGON

Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Gobierno de Aragón

www.aragon.es/ordesa

C/Felipe Coscolla, 11-13. 22004-Huesca

© De los textos, las fotografías y los gráficos de los artículos: los autores

© Fotografía de la portada: José Antonio Sencianes Ortega

Diseño y maquetación: La Central, S.C. Huesca – www.lacentralpreimpresion.com

Editorial Jolube. Jaca (Huesca) – www.jolube.es

Primera edición: julio de 2022

Depósito legal: HU-176-2022

ISBN: 978-84-124463-4-0

eISBN: 978-84-124463-5-7

Impreso en España por Ulzama Digital

Descarga este libro en PDF con este QR



VII JORNADA DE INVESTIGACIÓN

Parque Nacional de Ordesa
y Monte Perdido

2 DE DICIEMBRE DE 2021



ORDESA Y
MONTE PERDIDO
PARQUE NACIONAL

HUESCA, 2022

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| Introducción. Elena Villagrasa Ferrer..... | 4 |
| 1. Uso de dron térmico para la identificación de refugios microclimáticos para la biodiversidad en el PNOMP Raúl Hoffrén Mansoa | 7 |
| 2. ¿Por qué mueren los abetos en Ordesa? Isabel Aulló Maestro - Fernando Montes Pita | 19 |
| 3. Resultados de la cría campestre de quebrantahuesos (<i>Gypaetus barbatus</i>) en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido Juan Antonio Gil Gallús..... | 35 |
| 4. Las avispas portasierra <i>Hymenoptera - Symphyta</i> en el PNOMP: unas pinceladas sobre su biología y distribución Luis Óscar Aguado Martín..... | 42 |
| 5. Microordesa: Biodiversidad microbiana y viral en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido Antonio Alcamí Pertejo..... | 43 |
| 6. Efecto de los antiparastiaros del ganado en el estado de salud de la comunidad coprófaga del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido José Ramón Verdú Faraco | 55 |
| 7. Polvo sahariano en el PNOMP: estudiando el presente para conocer el pasado Jorge Pey Betrán - Blas Valero Garcés..... | 64 |
| 8. Arte rupestre en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, comarca del del Sobrarbe (Huesca) Javier Rey Lanaspá | 89 |
| 9. Seguimiento del sarrío <i>Rupicapra p. pyrenaica</i> en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, 1986-2020 Juan Herrero Cortés | 106 |
| 10. 53 Campaña Escuaín 2021. Exploraciones espeleológicas. <i>Grup d'Espeleologia de Badalona</i> Brauli Torres Milla..... | 117 |

| | |
|---|-----|
| 11. Apuntes históricos, taxonómicos y biogeográficos de <i>Aphaenops mensionii</i> Lagar, 1976 y de su localidad típica El Forat d'A Bufona (C-20), de <i>Trapezodirus bolivari</i> Escalera, 1899, con un listado de capturas y de <i>Trapezodirus altimontanus</i> Bellés, 1975 del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido | |
| Francesc Alfambra Domínguez | 125 |
| Folleto divulgativo de la VII Jornada de Investigación | 154 |



Introducción

Elena Villagrasa Ferrer

Directora del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido
(PNOMP)

Con motivo de la celebración de la VII Jornada de Investigación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido presentamos este documento resumen con los resultados y aportaciones científicas de los principales proyectos de investigación realizados en el 2021 en el Parque Nacional.

Ha sido un honor para mí poder presentarlas y contar con los extraordinarios ponentes que han participado en esta jornada tan interesante y tan densa.

El año pasado las jornadas se celebraron solo por videoconferencia a causa del COVID, sin embargo, este año ha mejorado la situación y se han podido celebrar presencialmente, con todo el valor añadido que eso aporta, ya que hemos podido saludarnos e intercambiar impresiones y opiniones.

Quería agradecer a Paco Villaespesa, Jefe de equipo de conservación del PNOMP, su trabajo, su esfuerzo y su generosidad para la organización y celebración de estas jornadas. Sin su personal y profesional implicación no habrían sido posibles.

Sobre el diverso contenido de las Jornadas quiero destacar las presentaciones sobre quebrantahuesos y sobre sarrios, en cuyos seguimientos hemos participado activamente desde hace más de 25 años. Con el tema de quebrantahuesos, personal del Parque Nacional hemos colaborado activamente con el Plan de recuperación del quebrantahuesos del Gobierno de Aragón, tanto con las actividades vinculadas al Punto de Alimentación Suplementaria de Escuaín, como del seguimiento de ejemplares marcados y de unidades reproductoras, hacking y otros. Y con el tema de ungulados, de seguimiento de sarrios, también hemos participado en los censos anuales de seguimientos de primavera y otoño con personal del Parque Nacional de forma coordinada con el Servicio Provincial de Huesca, con la realización de 22 recorridos por encima de los 2.000 m de altitud, con el esfuerzo y la dedicación que estas actividades exigen en un Parque Nacional de alta montaña.

La variedad temática enriquece el contenido de la jornada, de manera que, en temas de flora, hemos podido conocer los refugios climáticos de diversas especies en los recodos de las paredes verticales del Parque Nacional, mediante el uso de drones, o conocer las causas por las que se secan los abetos en algunas zonas de bosque del Parque Nacional.

Conocer la biología de las avispas portasierra, la presencia de virus y microorganismos en las aguas de Ordesa, la repercusión en la comunidad coprófaga del uso de los antiparasitarios en ganadería o de las aportaciones del polvo sahariano presente para conocer nuestra historia natural en el pasado, son proyectos punteros de investigación y ciencia, que se abordan por primera vez en el ámbito del Parque Nacional y que aportan información fundamental para ampliar conocimientos y mejorar su gestión y conservación.

Explorar y dar a conocer el Parque Nacional subterráneo en toda su dimensión en Escuaín, así como la fauna presente en ese mundo subterráneo y oculto, es otra dimensión en el conocimiento de las zonas de reserva del Parque Nacional.

Como novedades este año quiero destacar tres temas. En primer lugar, se va a activar próximamente la solicitud de permisos y autorizaciones vía WEB en la página web del Gobierno de Aragón para agilizar la tramitación administrativa. En segundo lugar, comentar la resolución de la convocatoria del Organismo Autónomo de Parques Nacionales, con 1.300.000 euros, con 3 proyectos en el PNOMP: “Influencia espaciotemporal del cambio climático y de los usos del suelo en la riqueza y abundancia de aves en Parques Nacionales de montaña”, de Jesús Martínez Padilla como investigador principal; “Impacto, seguimiento y evaluación del cambio climático y global en los recursos hídricos en Parques Nacionales de alta montaña” de Javier Lambán Jiménez como investigador principal; y “Aerosol Sahariano y de otras fuentes de emisión en Parques Nacionales de España: de la Atmósfera a los Sedimentos” de Jorge Pey Beltrán. En tercer lugar, este año se ponen por primera vez a disposición de la comunidad científica las instalaciones del anexo del antiguo Parador del Parque Nacional.

En todas las jornadas de investigación destaco la importancia del encuentro entre las personas, investigadores, agentes de protección de la naturaleza, vigilantes, informadores, gestores, técnicos y curiosos en general, que durante este año hemos estado trabajando en el Parque Nacional, como si fuera nuestro laboratorio.

El encuentro es una gran oportunidad para vernos, hablar y compartir experiencias que siempre aportan conocimiento, pero también humanidad. Casi todos nos conocemos,

pero estas jornadas, ayudan a poner cara y alma a los proyectos de investigación. También son una gran oportunidad para comunicar a la sociedad. La sociedad tiene q conocer lo que hacemos y en temas de investigación especialmente. Todos los esfuerzos son pocos, tanto en publicaciones como en redes sociales.

Espero que la jornada haya sido fructífera para todos y especialmente, para todos aquellos que cuidamos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.



Universidad de Alicante



POLITÉCNICA



Universidad Zaragoza



1. Uso de dron térmico para la identificación de refugios microclimáticos para la biodiversidad en el PNOMP



Raúl Hoffrén Mansoa

Geoforest-IUCA, Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio,
Universidad de Zaragoza

María Begoña García González

Instituto Pirenaico de Ecología,
Consejo Superior de Investigaciones
Científicas (IPE-CSIC)



Resumen: Los cambios climáticos poseen efectos significativos en la biodiversidad. Muchas especies ven amenazada su existencia por la imposibilidad de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. Sin embargo, algunas de ellas podrían persistir en los refugios microclimáticos: pequeñas áreas con microclima característico y de alta estabilidad. Por este motivo, su identificación supone un paso esencial para la conservación de los ecosistemas. En este estudio se ha analizado por primera vez la potencialidad de los vehículos aéreos no-tripulados (drones) para la identificación de refugios microclimáticos en una de las áreas más biodiversas del sur de Europa: el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Se ha utilizado un dron con cámara térmica para estimar las temperaturas en seis áreas de estudio durante distintos momentos del año y se han obtenido los sitios de mayor estabilidad térmica, que han correspondido a las áreas forestales, hábitats en paredones rocosos y laderas de umbría. Los datos del dron han sido validados a partir de una red de minisensores de temperatura en suelo, obteniendo valores de correlación superiores al 70% en todos los casos. Los resultados obtenidos permiten confirmar a los drones como herramientas prometedoras para la identificación de microrrefugios para la biodiversidad.

Palabras clave: UAV; Infrarrojo Térmico; Refugios Microclimáticos; Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido; Pirineos.

1. Introducción

En el actual escenario de calentamiento global, los refugios microclimáticos (o microrrefugios) pueden constituir el último reducto de supervivencia para determinadas especies. Se trata de pequeñas áreas diferenciadas del patrón climático regional (Dobrowski, 2011), caracterizadas por sus condiciones climáticas estables (Ashcroft *et al.*, 2012; Keppel *et al.*, 2015; Andrew & Warrener, 2017) que permiten persistir a organismos que no pueden hacer frente a los cambios climáticos (Hylander *et al.*, 2015). Algunos estudios han mostrado que su origen se encuentra tanto en el efecto de la topografía, que genera frecuentes recovecos que pueden modificar el clima regional a pequeña escala, como a la estructura forestal, que protege el interior de los bosques de eventos climáticos extremos. Las zonas montañosas, por su alta rugosidad superficial y heterogénea estructura forestal, desempeñan un importante papel como refugios de biodiversidad (Ohlemüller *et al.*, 2008). De hecho, estas áreas alojan 1/4 de la biodiversidad del planeta (Körner & Ohsawa, 2005) incluyendo numerosas especies raras y endémicas (Enquist *et al.*, 2019), por lo que la identificación y protección de sus microrrefugios son aspectos esenciales para la conservación de la biodiversidad.

Hasta la fecha, la caracterización climática para la identificación de microrrefugios se ha realizado a partir de estaciones meteorológicas, sensores de campo miniaturizados y, menos frecuentemente, cámaras termográficas. Los primeros se han acompañado de variables fisiográficas para generar modelos topoclimáticos (por ej., Aalto *et al.*, 2017), mientras que el uso de los segundos ha empezado a extenderse en la última década gracias a que su reducido tamaño permite su ubicación en casi cualquier parte del territorio y a escala de organismo (por ej., Ashcroft *et al.*, 2012). Sin embargo, estos instrumentos proporcionan medidas puntuales en el territorio, y requieren posteriores procesos de interpolación espacial (Zellweger *et al.*, 2019). Además, su colocación, mantenimiento y descarga de datos son tareas laboriosas y de alto coste de tiempo, lo que limita su distribución por grandes extensiones del terreno. Recientemente, el uso de vehículos aéreos no-tripulados (también conocidos como drones) ha proporcionado nuevas oportunidades para estudios ecológicos a muy pequeña escala, dada su gran versatilidad y amplia gama de sensores con los que pueden trabajar. En concreto, los drones equipados con sensores de infrarrojo térmico (TIR) posibilitan el registro de temperaturas a resoluciones centimétricas (Faye *et al.*, 2016; Zellweger *et al.*, 2019) y de manera espacialmente continua, lo que les convierte en herramientas muy prometedoras para la identificación de microrrefugios.

En este contexto, el objetivo principal del estudio ha sido analizar el potencial de los drones térmicos para la identificación de microrrefugios. Para lograr el objetivo se propone demostrar que los drones son capaces de generar paisajes térmicos de manera precisa, usando sensores que trabajan en el infrarrojo térmico, y que la superposición de los paisajes térmicos en distintos momentos del día y del año permiten identificar los lugares con mayor estabilidad climática a una muy alta resolución espacial.

2. Área de estudio

El estudio se ha desarrollado en dos sectores del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y su zona periférica de protección (en adelante, PNOMP). Ambos sectores se caracterizan por una elevada rugosidad superficial donde predominan fuertes pendientes y numerosas exposiciones que varían a pequeña escala. Cada sector ha constado de tres áreas de estudio que han sido seleccionadas por su heterogeneidad ambiental, donde predominan pinares de pino negro (*Pinus uncinata* Mill.), matorrales y pastizales subalpinos, gleras y afloramientos rocosos.

Las tres áreas de estudio del primer sector (áreas 1, 2 y 3) se localizaron en la sierra de las Cutas (Figura 1), a unos 2100 m s.n.m. Se caracterizan por la presencia de pendientes muy escarpadas en la parte norte, hacia el valle de Ordesa, zonas muy erosionadas que favorecen la aparición de diversas exposiciones y grandes acantilados rocosos. Asimismo, destacan los pastizales subalpinos, que en algunas zonas se mezclan con afloramientos rocosos, y bosques de pino negro en los sectores más bajos. Por su parte, las tres áreas de estudio del segundo sector (áreas 4, 5 y 6) se ubicaron en la llanura de Planafonda en la sierra de Espierba (Figura 2). Se trata de un pequeño valle colgado cuyo fondo se sitúa a unos 2100 m s.n.m. El valle está delimitado por sendas laderas, una orientada al norte de escasa entidad pero muy escarpada, y otra orientada al sur de mayor tamaño pero de pendiente menos pronunciada. La llanura está dominada por pastizales subalpinos que se prolongan hacia la ladera de solana donde convergen con pequeños afloramientos rocosos y suelo desnudo. En la ladera de umbría predominan grandes rocas calizas, agrupamientos de pinares de pino negro y pequeños matorrales, así como una gran glera en su parte más oriental. Por último, fuera de la cubeta, en la ladera hacia el valle de Pineta se mezclan de forma heterogénea gleras y pinares de pino negro.

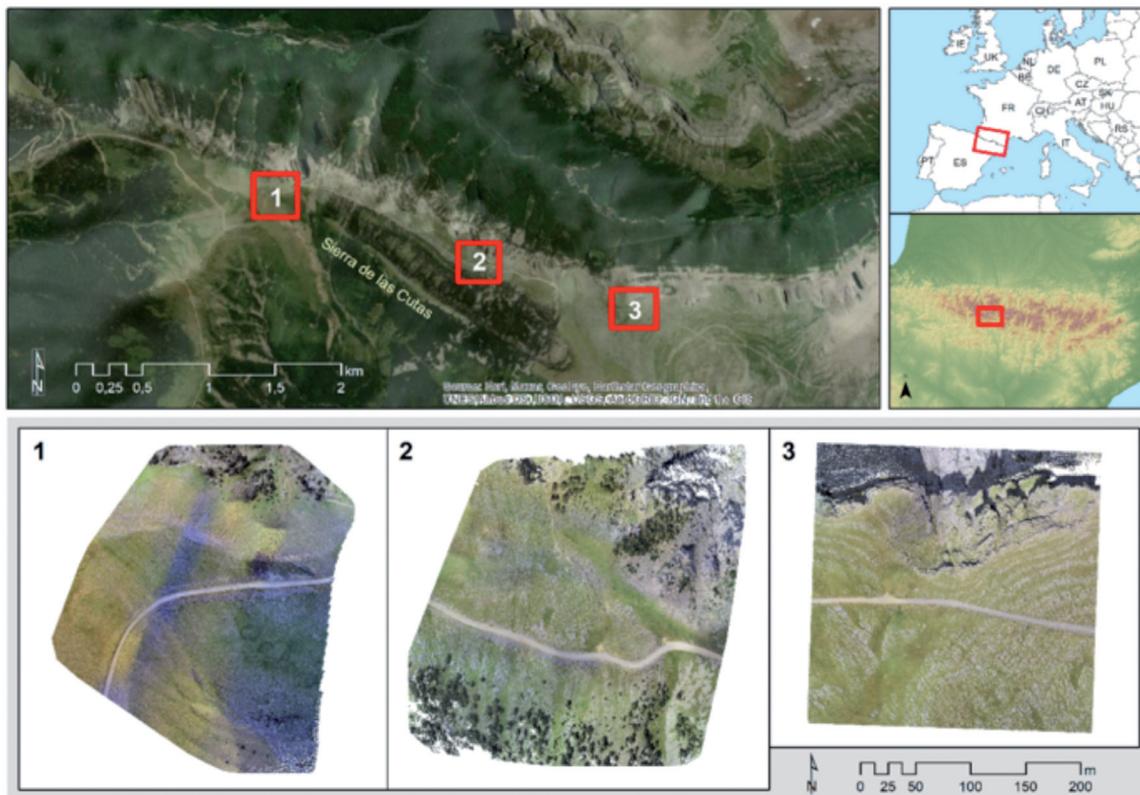


Figura 1. Áreas de estudio del sector de la sierra de las Cutas.

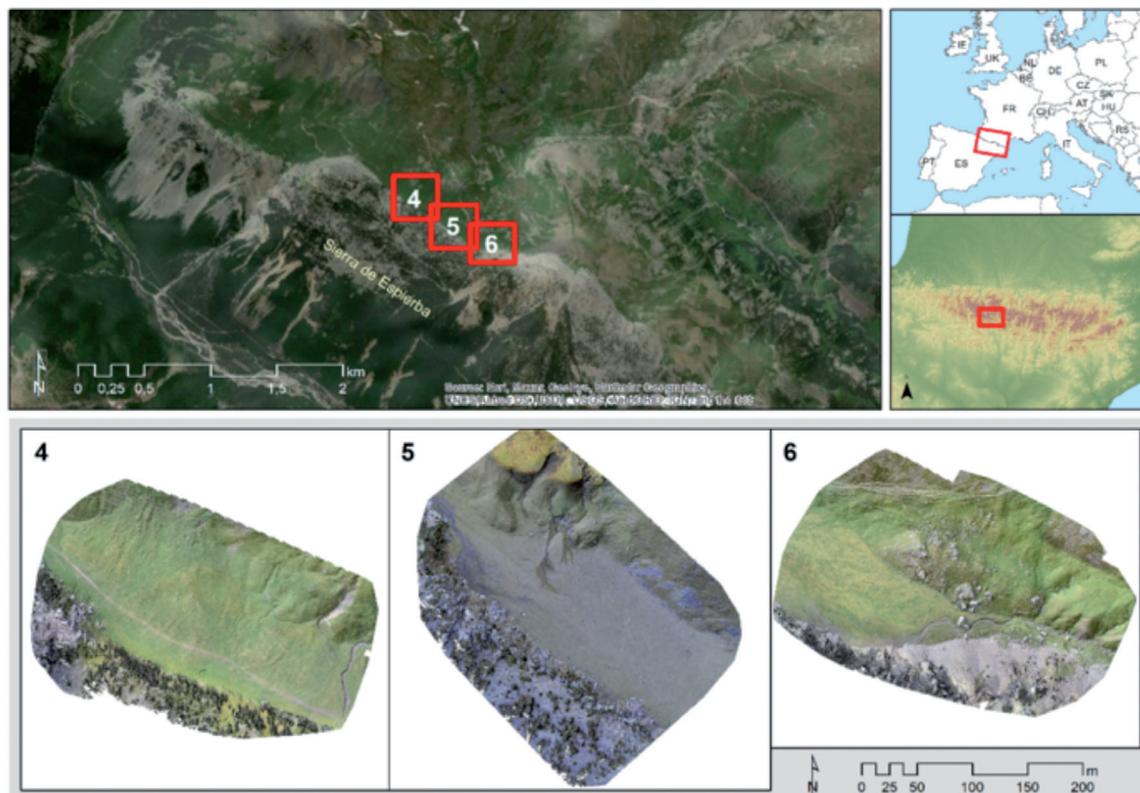


Figura 2. Áreas de estudio del sector de la sierra de Espierba.

3. Materiales y métodos

Se usaron dos tipos de sensores principales: un dron equipado con sensor en el infrarrojo térmico (TIR) y una red de termómetros de campo miniaturizados (Figura 3). El dron térmico utilizado fue un *Anafi Thermal* de Parrot, de tipo multirrotores. Dispone de una cámara de alta resolución SONY CMOS 1/2.4" con 21 MP de resolución y de un sensor radiométrico FLIR Lepton 3.5 con 160x120 px de resolución, que permitió la estimación de las temperaturas de la superficie (LST: *Land Surface Temperatures*) en la región del TIR. Además, para validar los datos LST, se usaron 21 minisensores de temperatura de tipo *iButtons* (Maxim Integrated), que han sido utilizados en otros estudios sobre micro-refugios. Fueron distribuidos en las 6 áreas de estudio para recolectar datos de temperatura a resolución horaria, siendo enterrados a ~5 cm bajo suelo para protegerlos de la insolación solar, y envueltos en parafilm dentro de un pequeño envase de plástico para evitar concentraciones de humedad que los cortocircuitaran. Cada minisensor fue clasificado en función de su ubicación en hábitats abiertos (pastos, roquedos, suelo desnudo) o cerrados (bosques).



Figura 3. Equipos utilizados en el estudio. Izquierda: dron térmico *Anafi Thermal*.

Derecha: minisensor de temperatura *iButton*.

El proceso metodológico se dividió en tres fases principales. La primera consistió en la obtención de las imágenes TIR del dron y de los datos de temperatura de los minisensores. Los vuelos del dron fueron organizados en cuatro campañas de vuelo (verano 2020, otoño 2020, primavera 2021 y verano 2021), en cada una de las cuales se realizaron dos vuelos diarios: uno por la mañana (~7-9 H) y otro por la tarde (~14-16 H) para obtener la temperatura mínima y máxima, respectivamente. Se realizaron un

total de 48 vuelos en las cuatro campañas y en las seis áreas de estudio. El dron sobrevoló a una altura de 80 m, que permitió obtener datos una resolución espacial de 4 cm, con ángulo de visión nadiral y con una superposición de las imágenes del 80-70% en la transversal y dirección del vuelo, respectivamente. Los datos recopilados por los minisensores fueron descargados tras el último vuelo de la última campaña para su análisis posterior.

La segunda fase se centró en el procesado de los datos obtenidos por el dron. Mediante los datos TIR se generaron paisajes térmicos para cada uno de los vuelos y se estimaron los rangos térmicos de cada campaña a partir de la diferencia entre las temperaturas mínimas y máximas diarias. La combinación de esta información permitió calcular la estabilidad térmica general (ETG) para cada una de las áreas de estudio y, de esta manera, identificar los sitios que resultaron ser más estables en los periodos estacionales en los que existe actividad fotosintética.

La tercera y última fase consistió en la validación de los datos LST y en el análisis de la distribución espacial de los sitios de mayor estabilidad térmica. Se obtuvieron los registros de temperatura de los minisensores el día y la hora de cada uno de los vuelos y se extrajeron los valores LST en cada localización de los *iButtons*. Tras ello, ambas informaciones fueron correlacionadas mediante análisis de regresión lineal para todas las campañas y áreas de estudio. Por otro lado, la determinación de los sitios de mayor estabilidad térmica se realizó a partir de la extracción del décimo cuantil (Q10) del histograma de valores de los datos de ETG.

4. Resultados

Los coeficientes de correlación entre los datos LST del dron y los registros de temperatura de los minisensores obtuvieron valores altos (Tabla 1), lo que permitió validar el dron térmico como herramienta capacitada para estimar temperaturas precisas de la superficie. En total, se correlacionaron 156 datos de *iButtons* en todas las áreas y campañas, con un coeficiente general de correlación de $R=0,80$ (Figura 4). La máxima correlación se alcanzó en las temperaturas mínimas ($R=0,84$) mientras que las temperaturas máximas obtuvieron los coeficientes algo más bajos ($R=0,73$). Los minisensores ubicados en hábitats cerrados (bosques) correlacionaron mejor que los situados en hábitats abiertos, con coeficientes de $R=0,84$ y $R=0,79$ respectivamente.

Tabla 1. Coeficientes de correlación (R de Pearson) entre datos LST del dron y registros de temperatura de los minisensores.

| | N.º de datos correlacionados | Coeficiente de correlación |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------|
| General | 156 | 0,7973 |
| Temperaturas mínimas | 78 | 0,8374 |
| Temperaturas máximas | 78 | 0,7311 |
| Hábitats cerrados | 28 | 0,8358 |
| Hábitats abiertos | 128 | 0,7907 |

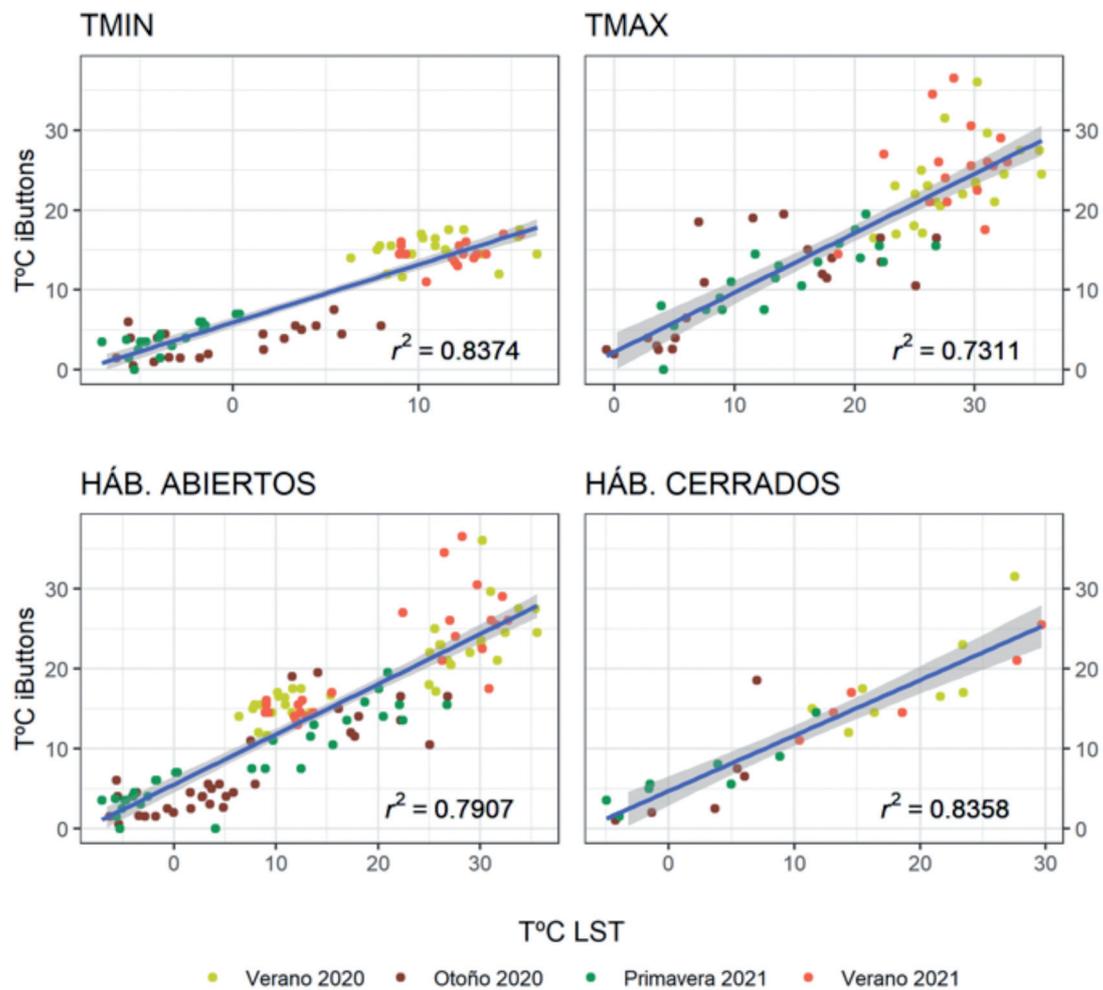


Figura 4. Correlación de las temperaturas mínimas y máximas (arriba) y de las temperaturas en hábitats abiertos y cerrados (abajo) entre los datos LST del dron y los registros de temperatura de los *iButtons*.

Los distintos paisajes térmicos registrados por el dron permitieron calcular las estabildades en cada una de las campañas que fueron, posteriormente, promediadas para obtener la estabilidad térmica general (ETG) e identificar los sitios más estables en todos los momentos del año, es decir, potenciales microrrefugios (Figura 5). En general, las mayores estabildades se produjeron en áreas arboladas, hábitats en paredones rocosos y laderas de umbría. Por el contrario, las zonas más inestables correspondieron a las gleras, afloramientos de roca, pastizales subalpinos y laderas de solana. El patrón de la distribución espacial de las zonas estables se repitió en todas las áreas de estudio y en las cuatro campañas de vuelo, si bien existieron algunas diferencias en cuanto a la extensión de las mismas, especialmente en las laderas de umbría.

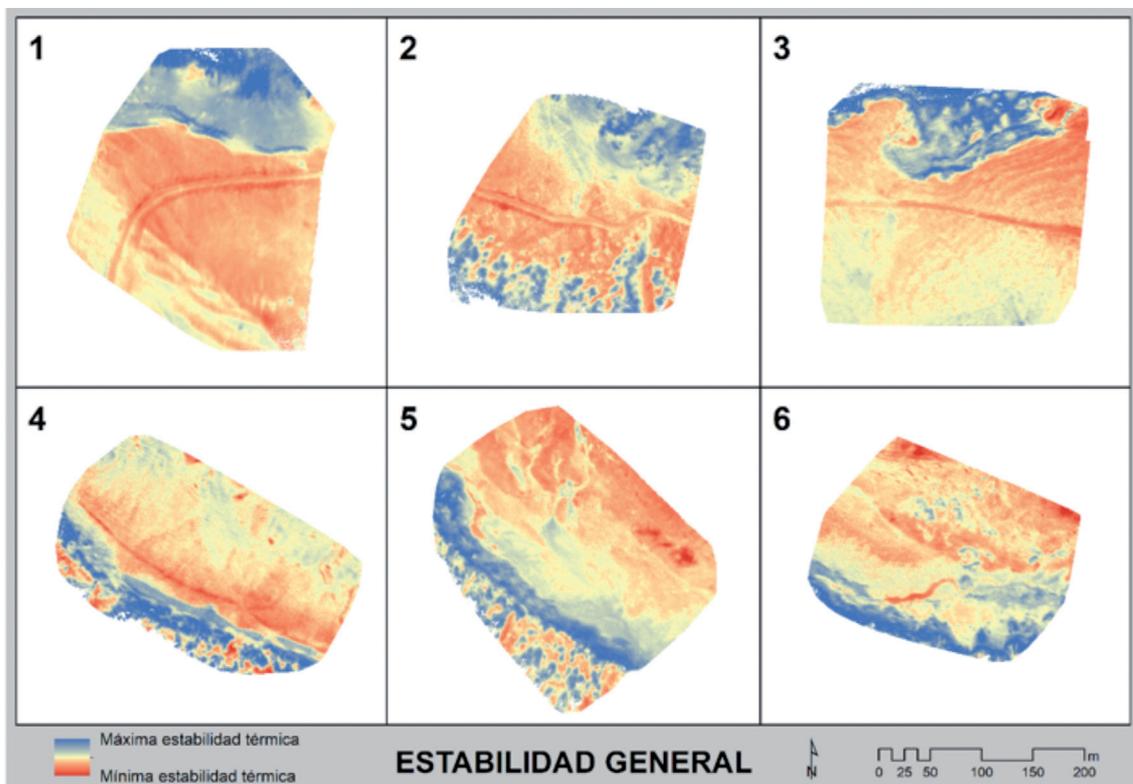


Figura 5. Estabilidad térmica general (ETG) de las áreas de estudio.

Los puntos situados en el Q10 del histograma de valores de los datos ETG constituyeron los sitios de máxima estabilidad (Figura 6). En términos generales, los espacios arbolados resultaron ser muy estables independientemente de su exposición y de la pendiente, lo que viene a confirmar el papel de los bosques como estabilizadores de temperaturas y su potencial como generadores de áreas de microrrefugio. Los hábitats en paredones rocosos, localizados en las áreas de estudio 1 y 3, también resultaron ser muy estables en todos los escenarios, reafirmando su importancia en el tamponamiento de las temperaturas. El papel de

los paredones rocosos como zonas de microrrefugios en áreas montañosas ya ha sido comprobada en estudios anteriores (ver Harrison & Noss, 2017; Keppel *et al.*, 2017; García *et al.*, 2020), habiéndose cuantificado en ellos numerosos endemismos en los Pirineos (Tejero *et al.*, 2017). Además, las laderas de umbría también fueron muy estables, especialmente en el escarpe rocoso de las tres áreas de la sierra de Espierba, excepto en la gran glera oriental.

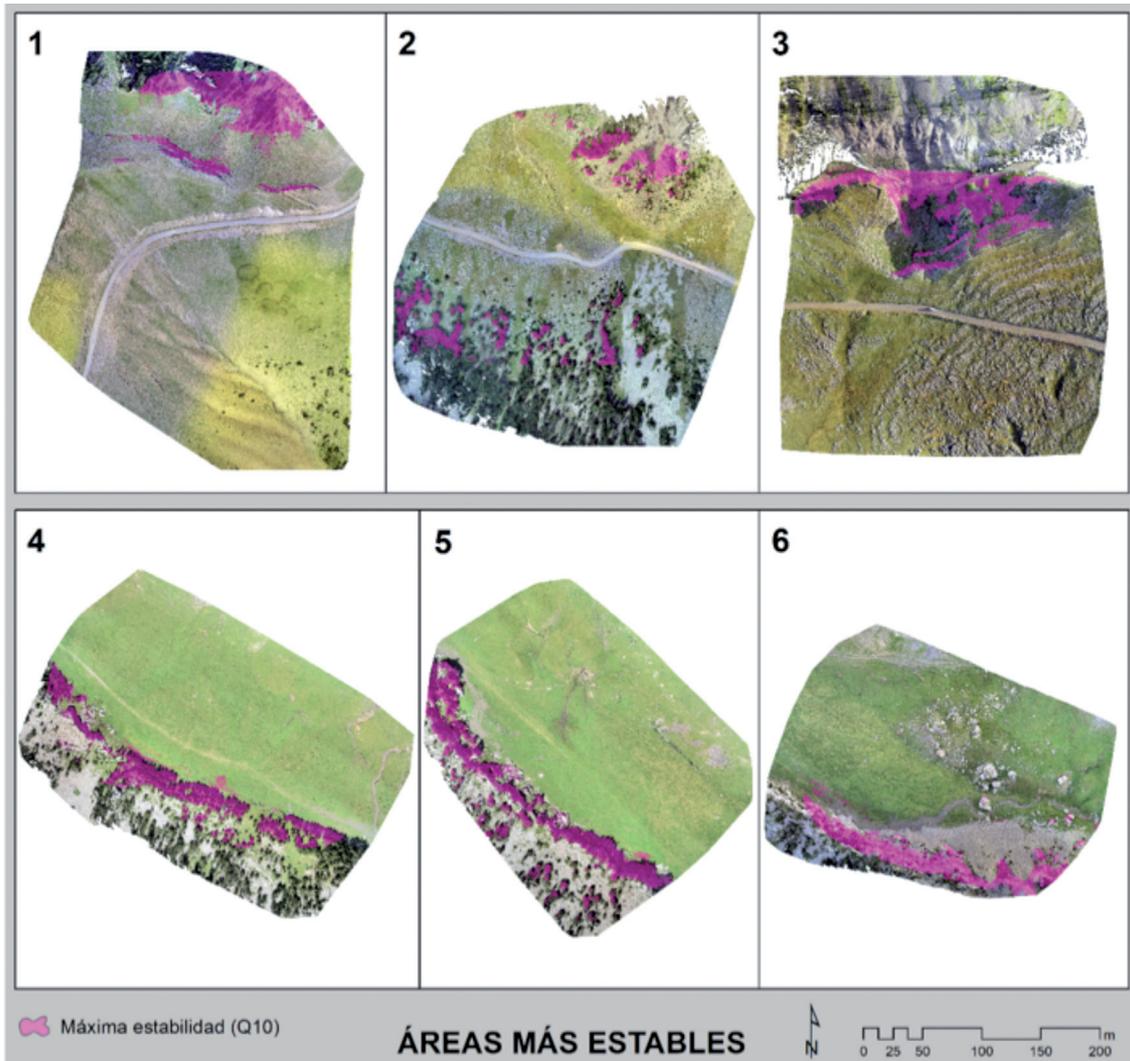


Figura 6. Sitios de mayor estabilidad térmica en cada una de las áreas de estudio.

5. Conclusiones

Este estudio ha demostrado que un dron térmico permite estimar las temperaturas de la superficie para detectar microrrefugios térmicos. Se ha encontrado una buena correlación entre los datos LST del dron y los registros de temperatura de los minisensores, lo que han

permitido validar al dron como instrumento capacitado para estimar temperaturas de la superficie a resolución centimétrica, lo cual es fundamental para localizar micro-sitios de alta estabilidad térmica. Además, la superposición de paisajes térmicos en distintos momentos del año ha permitido identificar los sitios más estables, existiendo alta coherencia en las seis áreas de estudio, que han correspondido a espacios arbolados independientemente de la topografía, hábitats en paredones rocosos y laderas de umbría. A tenor de los resultados obtenidos, se puede validar la potencialidad de los drones térmicos para el objetivo propuesto en este estudio. La posibilidad que abre el uso de un único instrumento para estimar temperaturas de la superficie de manera precisa y a una muy alta resolución espacial, y de identificar los sitios con temperaturas más estables, convierte a los drones en herramientas prometedoras para la identificación de microrrefugios para la conservación de la biodiversidad.

6. Agradecimientos

A la Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET), por la financiación del proyecto dentro de su programa de “Ayudas a proyectos de investigación liderados por jóvenes investigadores” de la Convocatoria 2019.

Al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y a su directora, Elena Villagrasa, y al Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, por los permisos concedidos para poder volar el dron.

A los Agentes de Protección de la Naturaleza del PNOMP, por su acompañamiento durante los diferentes vuelos y acceso a zonas restringidas, especialmente a Paco Villaespesa, Carlos Benedé, Rafael Giménez y Manuel Moreno.

A los Ayuntamientos de Torla, Fanlo y Bielsa, por los permisos para poder transitar por las pistas restringidas de las Cutas y Planafonda.

A Héctor Miranda y Marta Quintana, del IPE-CSIC, por su ayuda en la instalación y la descarga de datos de los minisensores de temperatura.

7. Bibliografía

AALTO, J.; RIIHIMÄKI, H.; MEINER, E.; HYLANDER, K.; LUOTO, M. (2017). «Revealing topoclimatic heterogeneity using meteorological station data». *International Journal of Climatology* 37, 544-556, doi: 10.1002/joc.5020.

- ANDREW, M.E.; WARRENER, H. (2017). «Detecting microrefugia in semi-arid landscapes from remotely sensed vegetation dynamics». *Remote Sensing of Environment*, 200, 114-124, doi: 10.1016/j.rse.2017.08.005.
- ASHCROFT, M.B.; GOLLAN, J.R.; WARTON, D.I.; RAMP, D. (2012). «A novel approach to quantify and locate potential microrefugia using topoclimate, climate stability, and isolation from the matrix». *Global Change Biology* 18, 1866-1879, doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02661.x.
- DOBROWSKI, S. Z. (2011). «A climatic basis for microrefugia: the influence of terrain on climate». *Global Change Biology*, 17, 1022-1035, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02263.x.
- ENQUIST, B.J.; FENG, X.; BOYLE, B.; MAITNER, B.; NEWMAN, E.A.; JORGENSEN, P.M.; *et al.* (2019). «The commonness of rarity: global and future distribution of rarity across land plants». *Sciences Advances* 5, 11, eaaz0414, doi: sciadv.aaz0414.
- FAYE, E.; REBAUDO, F.; YÁNEZ-CAJO, D.; CAUVY-FRAUNIÉ, S.; DANGLES, O. (2016). «A toolbox for studying thermal heterogeneity across spatial scales: from unmanned aerial vehicle imagery to landscapes metrics». *Methods in Ecology & Evolution*, 7 (4), 437-446, doi: 10.1111/2041-210X.12488.
- GARCÍA, M.B.; DOMINGO, D.; PIZARRO, M.; FONT, X.; GÓMEZ, D.; EHRLÉN, J. (2020). «Rocky habitats as microclimatic refuges for biodiversity. A close-up thermal approach». *Environmental and Experimental Botany*, 170, 103886, doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.103886.
- HARRISON, S.; NOSS, R. (2017). «Endemism hotspots are linked to stable climatic refugia». *Annals of Botany* 119 (2), 207-214, doi: 10.1093/aob/mcw248.
- HYLANDER, K.; EHRLÉN, J.; LUOTO, M.; MEINER, E. (2015). «Microrefugia: not for everyone». *AMBIO*, 44, 60-68, doi: 10.1007/s13280-014-0599-3.
- KEPPEL, G.; MOKANY, K.; WARDELL-JOHNSON, G.W.; PHILLIPS, B.L.; WELBERGEN, J.A.; RESIDE, A.E. (2015). «The capacity of refugia for conservation planning under climate change». *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13 (2), 106-112, doi: 10.1890/140055.
- KEPPEL, G.; ANDERSON, S.; WILLIAMS, C.; KLEINDORFER, S.; O'CONNELL, C. (2017). «Microhabitats and canopy cover moderate high summer temperatures in a fragmented Mediterranean landscape». *PLoS ONE*, 12 (8), e0183106, doi: 10.1371/journal.pone.0183106.

- KÖRNER, C.; OSHAWA, M. (2005). «Mountain systems. In Millenium ecosystem assessment, ecosystem and human well-being: a framework for assessment». *Washington DC Island Press*.
- OHLEMÜLLER, R.; ANDERSON, B.J.; ARAÚJO, M.B.; BUTCHART, S.H.M.; KUDRNA, O.; RIDGELY, R.S.; THOMAS, C.D. (2008). «The coincidence of climatic and species rarity: high risk to small-range species from climate change». *Biology Letters*, 4 (5), 568-572, doi: 10.1098/rsbl.2008.0097.
- TEJERO, P.; GARCÍA, M.B.; GÓMEZ, D. (2017). «Spatial distribution, environmental description of the endemic flora of the Pyrenees». *Pirineos*, 172, doi: 10.3989/pirineos.2017.172006.
- ZELLWEGER, F.; DE FRENNE, P.; LENOIR, J.; ROCCHINI, D.; COOMES, D. (2019). «Advances in microclimate ecology arising from remote sensing». *Trends in Ecology & Evolution*, 34 (4), 327-341, doi: 10.1016/j.tree.2018.12.012.

2. ¿Por qué mueren los abetos en Ordesa?

Isabel Aulló-Maestro

Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA), CSIC
Montes (ETSI de Montes, Forestal y del Medio
Natural), Universidad Politécnica de Madrid

Cristina Gómez

Montes (ETSI de Montes, Forestal y del Medio
Natural), Universidad Politécnica de Madrid
Iufor-Eifab Campus de Soria, Universidad de Valladolid

Laura Hernández

Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA), CSIC

J. Julio Camarero

Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC

Álvaro Rubio-Cuadrado

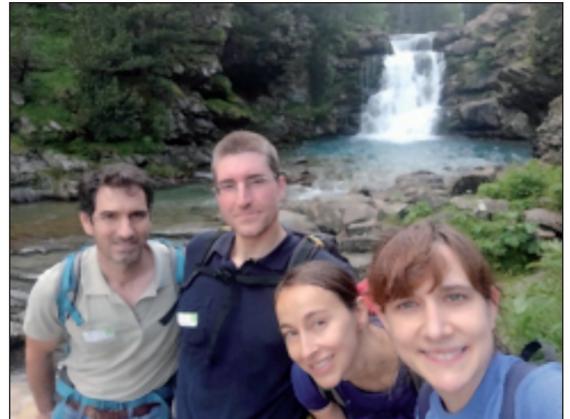
Montes (ETSI de Montes, Forestal y del Medio
Natural), Universidad Politécnica de Madrid

Ana Parras

Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA), CSIC

Fernando Montes ^(1,2)

Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA), CSIC
Montes (ETSI de Montes, Forestal y del Medio
Natural), Universidad Politécnica de Madrid



Abstract: One of the goals of the Spanish National Parks is to protect and preserve their biodiversity, implementing forest management plans which prioritize protection and recreation over the production of forest wood and non-wood products. Driven by a protective management strategy, the structure and age distribution of some stands have changed, evolving into stages similar to mature forests. Since forests in a mature stage are structurally and taxonomically diverse, their resilience and capacity to face global change is improved. In this work, we study the signs of dieback in a fir population near its south-westernmost distribution limit, the Ordesa Valley, in the Ordesa y Monte Perdido National Park. We apply geostatistical models combining field measurements with remote sensing data to estimate density and stand age, searching a relationship with mortality events as indicators of stand decay. Our results show a more significant effect of environmental factors than structural variables on fir mortality events, and also point to slight changes in climate and disturbance regime as triggers of decay processes in silver fir south-western marginal populations. An improved understanding of the relationship between different factors and fir decay would enable informed decisions to apply protective measures and long-term conservation of these populations.

Resumen: Uno de los objetivos clave de los Parques Nacionales es la conservación y protección de la biodiversidad mediante la implementación de planes de gestión encaminados a la reducción de la explotación de los productos forestales. Esta gestión ha ocasionado cambios en la estructura y un envejecimiento de la masa, evolucionando hacia estadios similares a bosques maduros. Estos bosques poseen una gran diversidad

estructural y taxonómica lo que mejora la integridad y resiliencia del ecosistema frente al cambio global, pudiendo a su vez aparecer procesos de decaimiento asociados al envejecimiento de la masa forestal. En este trabajo estudiamos los signos de decaimiento en una población de abeto cerca de su límite de distribución suroccidental en el valle de Ordesa, en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Para ello aplicamos modelos geoestadísticos combinando datos de inventario forestal y teledetección para estimar la densidad y edad de la masa de abeto vinculando los eventos de mortalidad como indicador del decaimiento de la población. Nuestros resultados muestran que los factores del medio, como la altitud y la orientación, son más determinantes en la mortalidad del abeto que factores selvícolas como la densidad o la edad de la masa. Esto indicaría que pequeños cambios en el clima y el régimen de perturbaciones pueden desencadenar episodios de decaimiento en estas poblaciones cerca del límite suroccidental de distribución de la especie. Un mejor conocimiento de este proceso permitiría, llegado el caso, aplicar actuaciones para la protección y conservación a largo plazo de estas masas.

1. Introducción

En los Parques Nacionales, la conservación de los ecosistemas forestales es uno de los objetivos principales. El cese de la extracción de madera y leña promueve la evolución y envejecimiento del bosque dando lugar a estadios similares a bosques maduros. Estos bosques se caracterizan por albergar una elevada biodiversidad de plantas, animales, hongos y otros organismos asociados a una alta diversidad estructural (Franklin and Spies, 1991; Mosseler *et al.*, 2003; Wirth *et al.*, 2009) y en particular, por la presencia de grandes árboles y la abundancia de madera muerta, resultado de las perturbaciones (Burrascano *et al.*, 2013). Sin embargo, a medida que el bosque va pasando por diferentes etapas de desarrollo, se observan cambios en la estructura, composición, funcionamiento y biodiversidad. La edad y la longevidad de los árboles, junto con la vulnerabilidad frente al clima de las diferentes especies, son aspectos clave a considerar para cuantificar la resiliencia de los bosques maduros (Di Filippo *et al.*, 2017; Molina-Valero *et al.*, 2021). La *insurance hypothesis* sugiere que bosques más diversos estructural, taxonómica y funcionalmente mantienen mejor la integridad del ecosistema frente a los cambios en las condiciones ambientales (Yachi and Loreau, 1999) y aumentan su resiliencia frente a perturbaciones y eventos climáticos extremos como pueden ser las sequías (Jucker *et al.*, 2014).

El cambio climático y el cambio de uso de suelo están afectando a la estructura de los ecosistemas forestales y contribuyendo al decaimiento de algunos bosques situados dentro o fuera de espacios protegidos como los Parques Nacionales (Camarero *et al.*,

2011; Sangüesa-Barreda *et al.*, 2020). Durante los últimos años se ha documentado en los Pirineos cierto decaimiento en algunos abetares, principalmente en la zona central y occidental, apuntando como posibles detonantes a la sequía inducida por cambio climático (Linares and Camarero, 2012), al cambio de uso (Camarero *et al.*, 2011) o a la aparición de patógenos (Oliva and Colinas, 2010). Uno de los factores clave en estos procesos de decaimiento en los bosques mediterráneos es el aumento de las temperaturas y la mayor frecuencia e intensidad de los episodios extremos de sequía, particularmente en bosques sometidos a la influencia de la sequía estival propia de los biomas mediterráneos (Vicente-Serrano *et al.*, 2015). La actividad antrópica a su vez ha ido modelando durante siglos los bosques europeos (Peterken, 1996) acelerando al decaimiento del bosque. Por otro lado, el abandono de la gestión en masas cuya dinámica y estructura han estado fuertemente condicionadas por la actividad antrópica en el pasado, como es el caso de los abetares pirenaicos, puede llevar igualmente a procesos de decaimiento (Camarero *et al.*, 2011). Conocer el impacto de estas perturbaciones es clave para el futuro manejo y conservación de estos bosques de montaña (Sangüesa-Barreda *et al.*, 2020).

En el caso del abeto (*Abies alba* Mill.) los procesos de decaimiento forestal ya han sido descritos desde finales del siglo XX en poblaciones de Europa Central (Camarero *et al.*, 2011). En los Pirineos occidentales, donde encontramos uno de los límites de distribución de esta especie en Europa, se observaron procesos de decaimiento severo en las últimas décadas del siglo XX, particularmente en la muga entre Aragón y Navarra (Camarero *et al.*, 2011). Las tendencias del cambio climático, con veranos más cálidos y temporadas más secas, podrían poner en peligro estas poblaciones cuya vulnerabilidad frente a veranos más secos y cálidos es manifiesta (Sánchez-Salguero *et al.*, 2017b). Sin embargo, desconocemos si procesos similares afectan a abetares situados dentro de espacios protegidos cuya historia de uso es muy diferente a la historia de uso de montes situados en espacios no protegidos. Nuestro objetivo es analizar los procesos de decaimiento y mortalidad identificados en el año 2012, año especialmente seco según registros meteorológicos, en los bosques maduros de abeto situados en el valle de Ordesa dentro del «Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido» (en adelante abreviado como PNOMP). Para ello estudiamos los factores del medio y estructurales que condicionan esos procesos, utilizando modelos geoestadísticos que permiten obtener mapas de densidad y edad de la masa a partir de datos de inventario adquiridos con el dispositivo ForeStereo (Sánchez-González *et al.*, 2016) y de datos dendrocronológicos, y utilizando como información auxiliar imágenes de teledetección. Nuestra hipótesis es que tanto la edad y densidad de la masa forestal como las condiciones del medio limitan la resiliencia de las masas de abeto e influyen en su decaimiento.

2. Material y métodos

El abeto en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP)

El abeto (*Abies alba* Mill.) es una especie de montaña de gran interés productivo y ecológico. Puede formar masas puras o mixtas y, al igual que el haya (*Fagus sylvatica* L.), es tolerante a la sombra, por lo que la ausencia de gestión selvícola podría favorecer a esta especie frente a especies intolerantes como el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) o el pino negro (*Pinus uncinata* Ramond.) (Sánchez de Dios *et al.* 2016, Hernández *et al.* 2019).

Dentro del Parque Nacional, el abeto se suele encontrar formando masas mixtas correspondientes a abetares montanos junto a hayedos y pinares de pino silvestre. Al ser una especie tolerante a la sombra y que demanda condiciones húmedas, el abeto se establece en los fondos de los valles y en las laderas con exposición norte-noroeste y oeste mayoritariamente. Su rango de altitud varía desde los 1100 hasta 1700 m s.n.m. Las principales masas se encuentran en el área de Turieto, acompañado por hayas y pino silvestre, y en el área de Cotatuero, acompañado principalmente por pino silvestre (Figura 1).

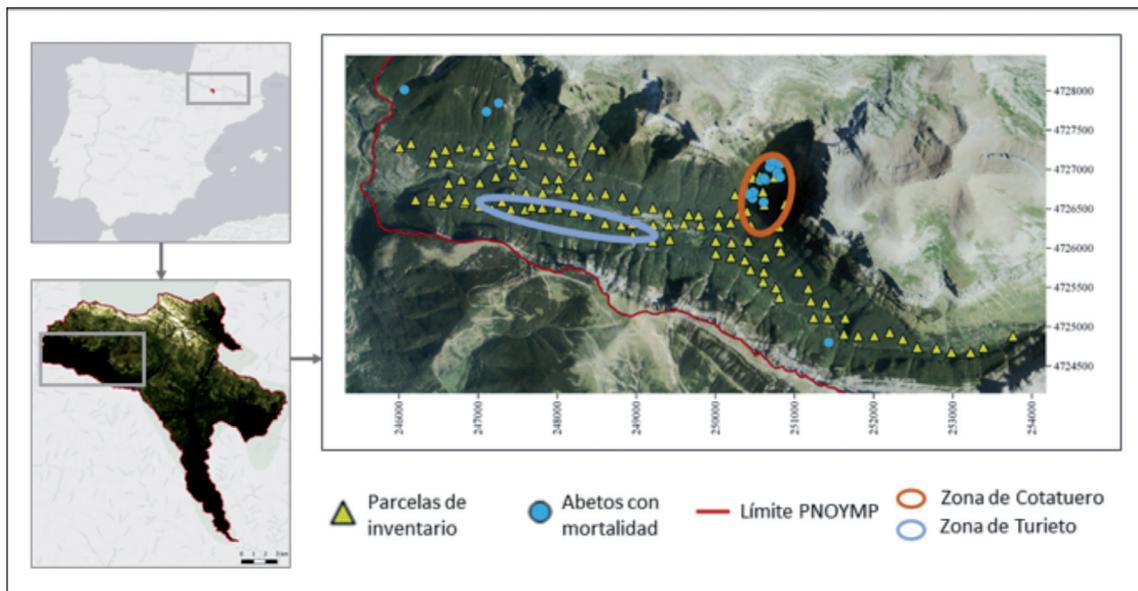


Figura 1. Mapa del área de estudio. Identificación de abetos muertos en pie (puntos azules) y parcelas de inventario forestal realizado en 2011 con ForeStereo (triángulos amarillos).

Datos de inventario

Se utilizaron datos del Inventario Forestal del Parque Nacional realizado en 2011 mediante la herramienta ForeStereo (Figura 2), tecnología de detección próxima

desarrollada en el INIA (CSIC) que aporta estimaciones de árbol individual y variables de masa mediante un proceso de segmentación y correspondencia estereoscópica de dos imágenes hemisféricas tomadas en los puntos de muestreo (Sánchez-González *et al.*, 2016). En total se midieron 115 parcelas circulares de 10 m de radio dentro del área de estudio situadas en los vértices de una malla de 200 m x 200 m (Figura 1). Asimismo se tomaron muestras dendrocronológicas (testigos basales) de abeto en 33 de las 155 parcelas de inventario. Se muestreó un abeto del estrato dominante en el centro de cada parcela usando barrenas Pressler. Se estimó la edad de los árboles tras datar visualmente las series de crecimiento y medir la anchura de los anillos con una resolución de 0,01 mm usando un medidor Lintab y el software TSAP-Win (Rinntech, Heidelberg, Alemania).



Figura 2. A la izquierda foto del dispositivo ForeStereo; a la derecha foto hemisférica tomada en una de las parcelas.

Datos de teledetección

Datos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)

Se realizó un análisis visual de imágenes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del año 2012 para la identificación de abetos con síntomas de decaimiento dentro del Valle de Ordesa, digitalizando manualmente aquellos que presentaban signos de defoliación en el 100% de la copa. Mediante este método se detectaron 30 puntos con mortalidad de abeto, obteniéndose sus coordenadas (Figura 1).

Datos del satélite Landsat

Para la modelización de área basimétrica y edades se utilizó la mejor imagen disponible de entre las imágenes Landsat de verano del año 2010 (path/row 199/030) con cobertura de nubes inferior al 70% corregidas radiométrica, geométrica y atmosféricamente y con las distorsiones de terreno rectificadas (colección 1 nivel 2).

Se aplicó una máscara para considerar solo los píxeles clasificados como formación forestal (fracción de cabida cubierta > 10%) en el Mapa Forestal de España (Vallejo-Bombín, 2005) y se obtuvo la respuesta espectral de cada banda (B1, B2, B3, B4, B5 y B7) (Tabla 1 y Figura 3) así como el valor de una serie de índices espectrales, que son combinaciones algebraicas de las reflectancias originales (e.g. NDVI, TCA, TCB, TCW, TCG, NBR) en cada píxel. El procesado se llevó a cabo mediante el programa ProLand implementado en Matlab® y desarrollado por los autores en el INIA (CSIC).

Tabla 1. Relación de las bandas TM y su longitud de onda. NIR hace referencia al infrarrojo cercano (*Near InfraRed*) y SWIR al infrarrojo de onda corta (*Short Wave InfraRed*).

| | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B7 |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Azul | Verde | Rojo | NIR | SWIR 1 | SWIR 2 |
| Longitud de onda (micrómetros) | 0,45 - 0,52 | 0,52 - 0,60 | 0,63 - 0,69 | 0,76 - 0,90 | 1,55 - 1,75 | 2,09 - 2,35 |

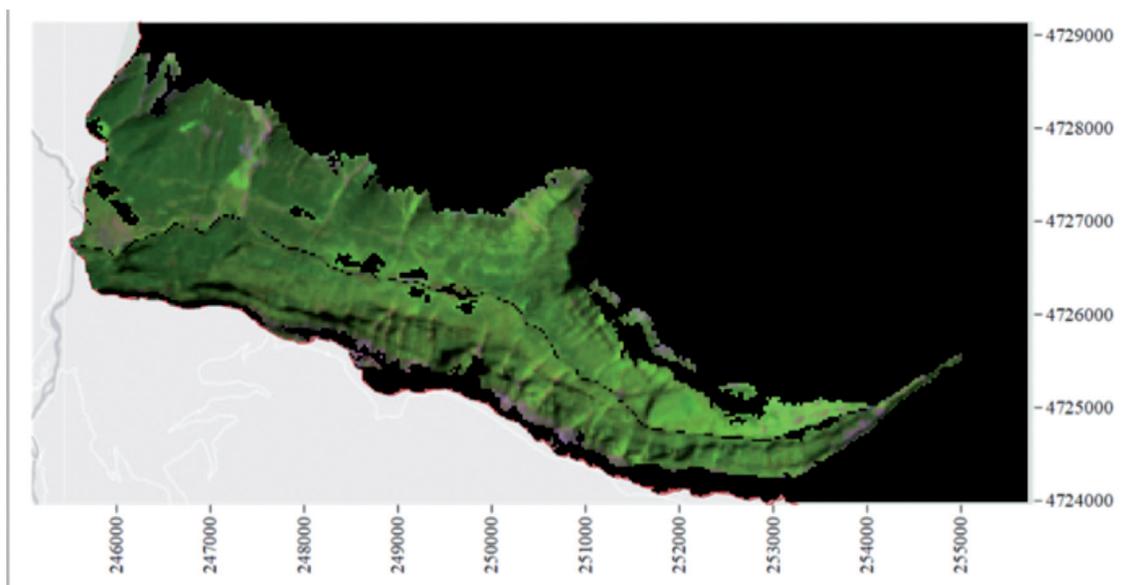


Figura 3. En color, detalle de la imagen Landsat en el valle de Ordesa enmascarado con la cubierta vegetal. Se representa la banda 5 en el canal rojo (R), banda 4 en el canal verde (G) y la banda 3 en el canal azul (B).

Se estableció el año 2010 para la exploración de imágenes por ser el año inmediatamente anterior a la toma de datos de inventario (verano de 2011) y representar la situación previa al año en que se identificaron los eventos de mortalidad (2012).

Estimación y cartografía de AB_T y edad en el parque

Para modelizar el área basimétrica total (AB_T) y la edad en todo el territorio del PNOMP utilizamos la información de AB_T derivada del inventario (115 parcelas) y datos de edad de las 33 parcelas de muestras dendrocronológicas.

La interpolación de datos de AB_T y edad con los datos Landsat se realizó mediante modelos de Kriging Universal (UK) realizados mediante el programa Geostat desarrollado en Matlab® por el equipo del INIA (CSIC). Como variables auxiliares utilizamos reflectancias de cada banda y valores de índices de vegetación en cada píxel.

En estas interpolaciones, la variable respuesta, en nuestro caso AB_T o edad, se expresa como suma de la función de tendencia de las variables auxiliares y un residuo con correlación temporal: $Z = \beta X + \delta$, donde Z es el vector con el valor de la variable en los n puntos de muestreo ($Z(s_1) \dots Z(s_n)$), X es la matriz de las p variables auxiliares, $X_0(s_0) \dots X_{p-1}(s_0)$, (donde $X_0(s_0)$ toma el valor 1), β es el coeficiente vector de las variables auxiliares (βX es la función tendencia espacial) y δ es el residuo ($\delta(s_1) \dots \delta(s_n)$) que presenta autocorrelación espacial modelizada mediante el variograma γ ; siendo $\gamma(\mathbf{h}_s)$ la semivarianza entre dos puntos separados una distancia \mathbf{h}_s . Los parámetros de variograma θ y los coeficientes de la función de tendencia β_k ($k=0 \dots p-1$) fueron estimados usando el método de máxima verosimilitud (Kitadinis, 1983).

De este modo obtenemos los mapas de valores de AB_T y edad en todo el territorio del valle de Ordesa. Los procedimientos de ajuste y predicción de los modelos espacio-temporales interpolados fueron implementados en Matlab®. El modelo finalmente aplicado fue aquel con menor error cuadrático medio.

Para el modelo de AB_T se utilizó una interpolación de kriging lognormal (Aulló et al. 2021) y como variables auxiliares las reflectancias de todas las bandas de la imagen Landsat (B1 a B7).

Caracterización del decaimiento

Para analizar los factores que afectan al decaimiento del abeto en el PNOMP utilizamos los mapas de AB_T y edad en todo el territorio interpolados y descritos en la sección anterior. Para la variable respuesta consideramos dos clases: puntos en los que se detecta mortalidad de abeto (clase 0) y puntos de abeto sin mortalidad (clase 1). En la clase 0

incluimos aquellos píxeles (30 en total) en los que identificamos abetos con mortalidad en las imágenes del PNOA. La clase 1 la componen aquellas parcelas (40) de abeto del inventario con ForeStereo sin presencia de árboles muertos.

Para estudiar el efecto de algunas variables fisiográficas, de AB_T y edad en la mortalidad de los abetos se aplicó un modelo lineal generalizado mediante la función *glm* del paquete informático R *stats* (R Core Team, 2020). Se aplicó un modelo lineal generalizado binomial al ser la variable respuesta del tipo 0 (puntos con mortalidad de abeto), 1 (abeto sin mortalidad de abeto). Las variables explicativas del modelo fueron los siguientes: AB_T , edad, altitud, coseno de la orientación (\cos_{OR}), pendiente, $AB_T \times \cos_{OR}$ y edad $\times \cos_{OR}$. Se estudiaron distintas combinaciones de variables y se escogió el modelo con un valor menor del Criterio de Información de Akaike (AIC) mediante la función *dredge* del paquete informático R *MuMin* (Barton, 2020).

Se realizó una evaluación de los datos mediante la construcción de los gráficos de densidad de probabilidad de las diferentes variables explicativas, comparando distribución de árboles con mortalidad y distribución de árboles sin mortalidad.

3. Resultados

Estimación de AB_T con datos de inventario e imágenes Landsat

Observando los resultados de significación (Tabla 2) solo resultó significativa (p -valor < 0.05) la banda 4 de Landsat, lo que sugiere que el AB_T no está muy relacionada con las reflectancias debido a gran variabilidad estructural y de composición de la masa forestal. Se observó que la variabilidad era en gran parte absorbida por la correlación espacial que tuvo un alcance de 254 m. Sobre el mapa podemos observar que en la mayor parte de la zona forestal el AB_T supera ampliamente los $50 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, indicando parcelas de elevada área basimétrica (Figura 4).

Tabla 2. Relación de los parámetros del modelo UK para el área basimétrica total.

| | Intercepto | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B7 |
|--|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Coefficiente β | 3,55 | 0,0024 | 0,0004 | -0,003 | 0,0006 | -0,001 | 0,01 |
| p | 0,5 | 0,095 | 0,423 | 0,108 | 0,022 | 0,063 | 0,261 |

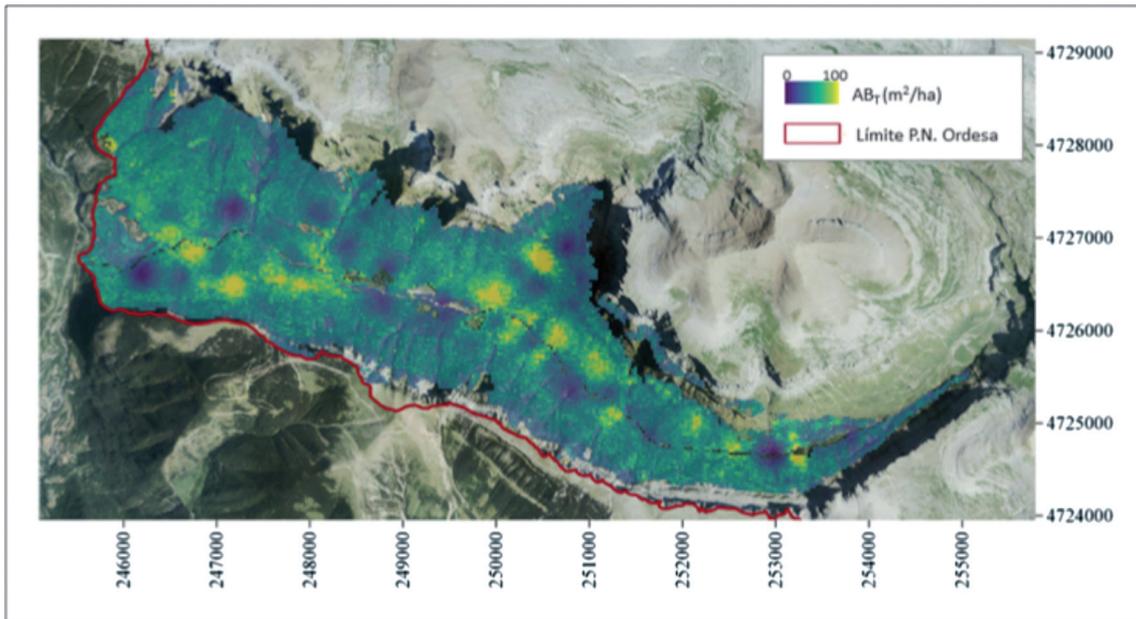


Figura 4. Mapa de kriging universal de AB_T en el valle de Ordesa. En amarillo se muestran zonas con mayor AB_T ($100 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y en azul zonas con menor AB_T ($0 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$).

Estimación de la edad con dendrocronología e imágenes Landsat

En el caso de la edad las variables auxiliares que absorbieron una mayor parte de la varianza explicada por el modelo de UK fueron la banda 3 y la banda 4. La correlación espacial tuvo un alcance de 477 m y al igual que en AB_T , gran parte de la variabilidad es absorbida por la correlación espacial. Los valores de significación y coeficientes β se muestran en la tabla 3. En la figura 5 podemos ver el mapa de edad para todo el área de estudio. Se observa que la edad es algo menor en la zona de Turieto y mayor en la zona alta de Cotatuero, así como en las zonas de fondo de valle.

Tabla 3. Relación de los parámetros del modelo UK para edad.

| | Intercepto | B3 | B4 |
|----------------------|------------|-------|-------|
| Coefficiente β | 14,42 | 0,21 | 0,008 |
| p | 0,5 | 0,051 | 0,29 |

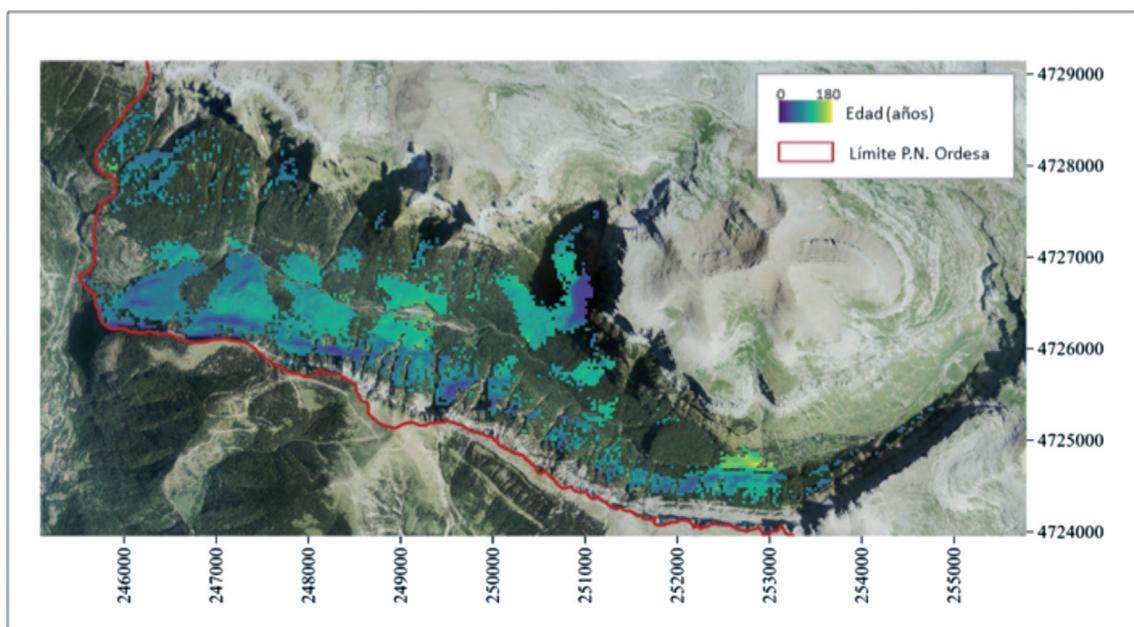


Figura 5. Mapa de krigeado universal de la edad de los abetos en el valle de Ordesa. En amarillo zonas con mayor edad y en azul zonas con menor edad.

Caracterización de la mortalidad de abeto

De un primer análisis exploratorio de las relaciones entre variables fisiográficas, AB_T y edad de la masa y la mortalidad, se obtuvieron las diferencias de medias entre zonas con abetos con y sin mortalidad (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de los valores medios de las variables auxiliares estudiadas en zonas con abetos con y sin mortalidad.

| | Altitud media (m) | \cos_{OR} media | Pendiente media (%) | AB_T media (m^2/ha) | Edad (años) |
|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|-------------|
| Abetos con mortalidad | 1470 | -0,68 | 27 | 51 | 103 |
| Abetos sin mortalidad | 1400 | 0,50 | 29 | 61 | 105 |

Del análisis del modelo lineal generalizado obtuvimos que el modelo con menor AIC fue aquel que consideraba las variables AB_T , edad, altitud y \cos_{OR} (AIC = 36.9) quedándose fuera del modelo la pendiente y la interacción $AB_T - \cos_{OR}$ y edad - \cos_{OR} . Los parámetros del modelo seleccionado se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros del modelo glm obtenido.

| | Altitud | \cos_{OR} | Pendiente media | AB_T media | Edad |
|----------------------|---------|-------------|-----------------|--------------|---------|
| Coefficiente β | 0,022 | - 4,825 | - | - 0,035 | - 0,058 |
| p | 0,00017 | 1,42e-09 | - | 0,0761 | 0,0012 |

Como se puede observar en la figura 6 la mortalidad de los abetos se concentra en las zonas más altas.

Cabe destacar la diferencia de orientaciones entre una y otra clase, disponiéndose las parcelas sin mortalidad en orientación predominantemente norte (coseno de la orientación positivo) y las zonas con mortalidad de abeto en orientaciones que tienden al sur (coseno de la orientación negativo), es decir, en zonas con mayor evapotranspiración (Tabla 4 y Figura 6).

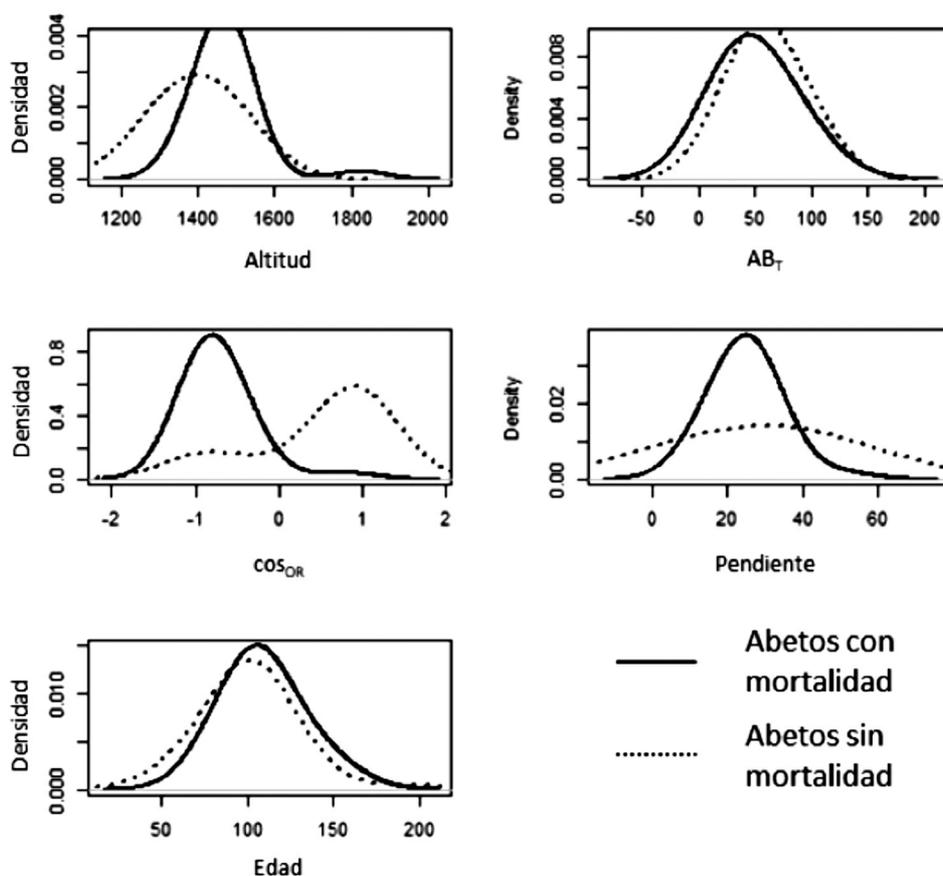


Figura 6. Gráfico de densidad de probabilidad. En línea continua los abetos con mortalidad y en línea punteada los abetos sin mortalidad.

Como indica el nivel de significación (p) mostrado en la tabla 5, el área basimétrica no fue significativamente distinta en los píxeles con o sin mortalidad. Se observa una diferencia positiva de edad en aquellos árboles con mortalidad (Figura 6), posiblemente por la mayor edad de los abetos muestreados en Cotatuero, donde la intensidad de decaimiento es notable.

4. Discusión

Los bosques maduros nos proporcionan multitud de servicios ecosistémicos y son muchos los esfuerzos que se están haciendo a nivel europeo para proteger, conservar y estudiar la gran biodiversidad que albergan y su capacidad de crecer y acumular biomasa (Molina-Valero *et al.*, 2021; LIFE RedBosques, 2018). En este trabajo se analizan los factores que desencadenan el decaimiento del abeto en zonas con estructuras similares a bosques maduros del valle de Ordesa, cerca del límite meridional del área de distribución de esta especie en Europa, mediante la combinación de mediciones de densidad y edad tomadas en campo e imágenes de teledetección.

Los resultados apuntan a las condiciones más xéricas de las laderas con orientación sur como el factor más relevante que está limitando la resiliencia de las poblaciones de abeto del PNOMP. Todo ello podría indicar que en laderas donde los efectos de la sequía son más acusados, la resiliencia del abeto puede verse comprometida y por otra parte, al ser una especie de sombra, se podría estar viendo favorecida en las umbrías frente a otras especies como el haya o el pino silvestre (Sánchez de Dios *et al.*, 2016). Esto podría ser debido a la localización del abeto en su límite de distribución, haciéndolo más sensible a cambios de temperatura y precipitación (Sánchez-Salguero *et al.*, 2017a) y a hongos patógenos de raíces como *Heterobasidion annosum* (Oliva y Colinas 2010). De esta forma es posible esperar un aumento del decaimiento en el PNOMP en poblaciones a mayor altitud y en laderas sur de Cotatuero, donde las condiciones son más extremas y una menor incidencia en la umbría de Turieto.

Por otra parte se ha observado que la altitud está positivamente relacionada con el decaimiento de la especie. En el gráfico de densidad de probabilidad (Figura 6) se observa que las poblaciones con mayor signo de mortalidad ocupan zonas más altas que las poblaciones sin mortalidad, situándose el pico de mayor mortalidad en torno a los 1500 m. El hecho de encontrar mejor vigor a menor altitud puede explicarse porque los abetares en el fondo de valle crecen sobre suelos más húmedos y fértiles que aquellos situados en pendientes rocosas y pronunciadas como las que dominan en el PNOMP, lo que explicaría la aparente

contradicción con los resultados de Camarero *et al.* (2011) y Hernández *et al.* (2019) en los que encontraron que las poblaciones de abeto situadas a bajas altitudes son más vulnerables a la sequía y por lo tanto cabría esperar más signos de decaimiento en estas zonas. Dentro del PNOMP las altitudes más bajas están ocupadas por bosques mixtos más o menos densos situados en el fondo de valle y en condiciones húmedas que también pueden deberse a situaciones de inversión térmica dado lo encajonado del valle de Ordesa. Las zonas con mayor humedad edáfica de fondo de valle pueden mostrar una dinámica de huecos en el dosel en las que se podría producir un reemplazo de pinos y abetos por haya.

En cuanto a la edad, existe una pequeña diferencia en la edad de los abetos en zonas con mortalidad en comparación con aquellos en zonas sin mortalidad. A pesar de ello, la mayor edad de la masa en Cotatuero, donde se concentran los principales focos de decaimiento, hace difícil discriminar el efecto de la edad de los efectos de la orientación y la altitud. Se ha visto en otros estudios que la tendencia en el crecimiento del árbol se podría ver afectada por la edad en especies como el haya y el roble (Rubio-Cuadrado *et al.*, 2018). Parece razonable que los abetos con mayor edad sean más propensos a sufrir decaimiento aunque eso no signifique que el decaimiento esté asociado a un envejecimiento excesivo de los individuos, ya que esta especie puede alcanzar edades mayores que las observadas en el valle de Ordesa.

Gazol *et al.*, 2020 señalan la interacción manejo histórico-cambio climático como principales causantes del decaimiento del abeto en la zona. A su vez, Camarero *et al.* (2011) concluyen que la alteración del régimen de precipitación ocasionada por el cambio climático puede estar promoviendo el decaimiento del abeto en los Pirineos. Un análisis más exhaustivo, considerando una serie temporal Landsat que cubriese desde el 1989 hasta la fecha sería interesante para poder hacer un seguimiento de la evolución del decaimiento en la zona a nivel de paisaje. Así como comparar estos datos con las series climáticas locales o con datos históricos de uso y gestión del suelo y evaluar el efecto de estos en la dinámica de estos bosques.

5. Bibliografía

AULLÓ-MAESTRO I., C. GÓMEZ, E. MARINO, M. CABRERA, A. VÁZQUEZ DE LA CUEVA y F. MONTES (2021). «Integration of field sampling and LiDAR data in forest inventories: comparison of area-based approach and (lognormal) universal kriging». *Annals of Forest Science* 78: 39.

- BARTON, K. (2020). *MuMin: Multi-Model inference*.
- BURRASCANO, S., W. KEETON, M. SABATINI y C. BLASI (2013). «Commonality and variability in the structural attributes of moist temperate old-growth forests: A global review». *Forest Ecology and Management*. 291: 458-479.
- CAMARERO, J., C. BIGLER, J. LINARES y E. GIL-PELEGRÍN (2011). Synergistic effects of past historical logging and drought on the decline of Pyrenean silver fir forests. *Forest Ecology and Management*. 262: 759-769.
- DI FILIPPO, A., F. BIONDI, G. PIOVESAN y E. ZIACO (2017). «Tree ring-based metrics for assessing old-growth forest naturalness». *Journal of Applied Ecology* 54: 737-749.
- FRANKLIN, J. y T. SPIES (1991). «Ecological definitions of old-growth Douglas-fir forests». En: *Wildlife and Vegetation of Unmanaged Douglas-Fir Forests*. Report PNW-GTR-285, Portland, USDA, For. Serv, pp. 61-69.
- GAZOL, A., G. SANGÜESA-BARREDA, J. J. CAMARERO (2020). *Forecasting Forest Vulnerability to Drought in Pyrenean Silver Fir Forests Showing Dieback*. *Front. For. Glob. Chang.* 3: 1-13.
- HERNÁNDEZ, L., J. J. CAMARERO, E. GIL-PEREGRÍN, M. Á. SAZ SÁNCHEZ, I. CAÑELLAS y F. MONTES (2019). «Biotic factors and increasing aridity shape the altitudinal shifts of marginal Pyrenean silver fir populations in Europe». *Forest Ecology and Management* 432: 558-567.
- JUCKER, T., O. BOURIAUD, D. AVACARITEI y D. COOMES (2014). «Stabilizing effects of diversity on aboveground wood production in forest ecosystems: linking patterns and processes». *Ecology Letters* 17: 1560-1569.
- KITADINIS, P. (1983). «Statistical estimation of polynomial generalized covariance functions and hydrologic applications». *Water Resources Research* 19: 909-921.
- LINARES, J. C. y J. J. CAMARERO (2012). *Silver Fir Defoliation Likelihood Is Related to Negative Growth Trends and High Warming Sensitivity at Their Southernmost Distribution Limit*. ISRN For. 2012, pp. 1-8.
- MOLINA-VALERO, J.A., J. J. CAMARERO, J. G. ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, M. CERIONI, A. HEVIA, R. SÁNCHEZ-SALGUERO, D. MARTIN-BENITO, C. PÉREZ-CRUZADO (2021). «Mature forests hold maximum live biomass stocks». *Forest Ecology and Management* 480: 118635.
- MOSSELER, A., J. LYND y J. MAJOR (2003). «Old-growth forests of the Acadian Forest Region». *Environmental Reviews* 11: S47-S77.

- OLIVA, J. y C. COLINAS (2010). «Epidemiology of *Heterobasidion abietinum* and *Viscum album* on silver fir (*Abies alba*) stands of the Pyrenees». *Forest Pathology* 40: 19-32.
- PETERKEN, G. (1996). *Natural woodland: ecology and conservation in Northern Temperate Regions*. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- R CORE TEAM (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- REDBOSQUES, L., 2018. *Manual de campo para la identificación de rodales de referencia. Fase II: Identificación mediante parcelas*, Fundación. ed.
- RUBIO-CUADRADO, Á., J. J. CAMARERO, M. DEL RÍO, Sánchez-González, M., Ruiz-Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., Gil, L., Montes, F., 2018. Drought modifies tree competitiveness in an oak-beech temperate forest. *For. Ecol. Manage.* 429: 7-17.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M., M. CABRERA, P. J. HERRERA, R. VALLEJO, I. CAÑELLAS, F. MONTES (2016). «Basal Area and Diameter Distribution Estimation Using Stereoscopic Hemispherical Images». *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 82: 605-616.
- SÁNCHEZ-SALGUERO, R., J. J. CAMARERO, M. CARRER, E. GUTIÉRREZ, A. Q. ALLA, L. ANDREU-HAYLES, A. HEVIA, A. KOUTAVAS, E. MARTÍNEZ-SANCHO, P. NOLA, A. PAPADOPOULOS, E. PASHO, E. TOROMANI, J. A. CARREIRA y J. C. LINARES (2017a). «Climate extremes and predicted warming threaten Mediterranean Holocene fir forests refugia». *Proceedings of the National Academy of Sciences U. S. A.* 114: E10142-E10150.
- SÁNCHEZ-SALGUERO, R., J. J. CAMARERO, E. GUTIÉRREZ, F. GONZÁLEZ ROU-CO, A. GAZOL, G. SANGÜESA-BARREDA, L. ANDREU-HAYLES, J. C. LINARES y K. SEFTIGEN (2017b). «Assessing forest vulnerability to climate warming using a process-based model of tree growth: bad prospects for rear-edges». *Global Change Biology* 23: 2705-2719.
- SÁNCHEZ DE DIOS, R., L. HERNÁNDEZ, F. MONTES, H. SAINZ-OLLERO e I. CAÑELLAS (2016.) «Tracking the leading edge of *Fagus sylvatica* in North-Western Iberia: Holocene migration inertia, forest succession and recent global change». *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 20: 11-21.
- SANGÜESA-BARREDA, G., J. ESPER, U. BÜNTGEN, J. J. CAMARERO, A. DI FILIPPO, M. BALIVA y G. PIOVESAN (2020). «Climate-human interactions contributed to historical forest recruitment dynamics in Mediterranean subalpine ecosystems». *Global Change Biology* 26: 4988-4997.

- VALLEJO-BOMBÍN, R. (2005). «El mapa forestal de España escala 1:50.000 (MFE50) como base del tercer inventario forestal nacional». *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 19: 205-210.
- VICENTE-SERRANO, S., J. CAMARERO, J. ZABALZA, G. SANGÜESA-BARREDA, J. LÓPEZ-MORENO y C. TAGUE (2015). «Evapotranspiration deficit controls net primary production and growth of silver fir: Implications for Circum-Mediterranean forests under forecasted warmer and drier conditions». *Agricultural and Forest Meteorology* 206: 45-54.
- WIRTH, C., G. GLEIXNER y M. HEIMANN (2009). «Old-growth forests: function, fate and value —an overview». En WIRTH, C., G. GLEIXNER y M. HEIMANN (Eds.), *Old-Growth Forests*: 3-10.
- YACHI, S. y M. LOREAU (1999). «Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis». *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 96: 57-64.

3. Resultados de la cría campestre de quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido 1995-2021

Juan Antonio Gil
Gerardo Báguena
Óscar Díez

Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos (FCQ)



Resumen: Entre 1995 y 2021 se realiza un proceso de adaptación al medio natural de cría campestre o “*hacking*” de 49 pollos quebrantahuesos en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP). Gracias a ello se incorporan 39 pollos con éxito al medio natural en la Cordillera Cantábrica para el proyecto de reintroducción de la especie en el Parque Nacional de Picos de Europa (PNPE) y otros 10 pollos en la cordillera pirenaica.

1. Introducción

El Plan de Recuperación del Quebrantahuesos en Aragón (Decreto 45/2003) contempla la aplicación de medidas de manejo para el rescate de puestas de huevos y pollos en aquellas unidades reproductoras (UR) en los que se concluya que la adopción de otras medidas preventivas no permitan su éxito reproductor. En 2010 el Grupo de Trabajo del Quebrantahuesos coordinado por el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITERD) aprobó las bases para el desarrollo del programa de conservación ex situ del quebrantahuesos en España. Ese mismo año el Gobierno de Aragón (GA) elaboró los criterios orientadores para la extracción del medio natural de ejemplares de quebrantahuesos en el marco de la estrategia nacional de la especie, en el que se establecieron actuaciones no programables (intervención de una puesta abandonada o de puestas y pollos con alto riesgo de pérdida) y programables (intervenciones de puestas con historial de alto riesgo de pérdida). Bajo dichos criterios el GA analiza anual y estadísticamente los datos referidos al éxito reproductor, permitiendo establecer qué UR podrían ser consideradas de

baja calidad o inviables en la reproducción y por tanto susceptibles de ser intervenidas de manera programada. Fruto de la aplicación de estas medidas de manejo se han rescatado (puestas o pollos), incubado, criado en cautividad y reincorporado con éxito al medio natural pollos de quebrantahuesos, que han formado parte del proyecto de reintroducción de la especie en el Parque Nacional de Picos de Europa (PNPE), promovido y desarrollado por la Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos (FCQ) y gracias al apoyo del MITERD, Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN), GA, Principado de Asturias, Junta de Castilla y León, Gobierno de Cantabria y Unión Europea (fondos LIFE). Este proceso precisa de un primer periodo de adaptación de los quebrantahuesos al medio natural mediante la técnica de crianza campestre, que se desarrolla en una instalación del GA, localizada en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP), gestionada y mantenida por la FCQ, mediante un protocolo de funcionamiento aprobado en 2019.



Foto 1. Rescate de una puesta de huevos de quebrantahuesos en el Pirineo aragonés por miembros del Grupo de Intervención en Altura (GIA)-Agentes para la Protección de la Naturaleza (APN) del Gobierno de Aragón (GA).

2. Material y métodos

En 2010 se construye la plataforma de cría campestre cuyas dimensiones son de 15x6 metros, con capacidad para siete nidales (dos nuevos construidos en 2018) y diversas instalaciones y equipamientos aportados por la FCQ. El método de cría campestre y liberación se basa en la técnica “hacking” (Evans *et al.*, 1994). Consistente en la liberación controlada de ejemplares volantones, desde los primeros vuelos hasta su independencia, para conseguir una primera aclimatación al hábitat (Barclay, 1987). En el caso del “hacking” realizado por la FCQ en el PNOMP, se desarrolla un primer proceso de percepción ambiental, en el que los pollos ya son conscientes de todo lo que les rodea. De esta forma obtienen información esencial sobre comportamiento intra e interespecífico de manera directa con diferentes aves necrófagas, que visitan el Punto de Alimentación Suplementaria (PAS) de quebrantahuesos existente junto a las instalaciones de cría campestre, mantenido por personal del PNOMP durante los meses del “hacking” (abril-junio). Este contacto visual es fundamental para el aprendizaje conductual, imprescindible para desarrollar adecuadamente su actividad en libertad. Lo novedoso de este sistema reside en que la crianza campestre es más larga, de unos 80 días, con un primer lugar de aclimatación en el PNOMP y un segundo lugar de aclimatación en su lugar de liberación en el PNPE. Además el proceso de cría de los pollos es realizado en aislamiento humano por técnicos de la FCQ, para lo cual se utilizan como referente parental marionetas o títeres de quebrantahuesos. En los primeros “hacking” experimentales realizados en el PNOMP con los pollos “Silvano” (1995), “Ramiro” (1999), “Esperanza” (2003) y “Félix” (2006), la crianza en sus primeros 90 días se realizaba en un centro o zoo especializado con adultos reproductores, para posteriormente realizar la aclimatación in situ los últimos 30 días en su lugar de liberación (Llopis & Frey, 2005; Gil, 2011).



Foto 2. Plataforma de cría campestre o “hacking” de quebrantahuesos situada en el PNOMP.



Foto 3. Aportes del personal del PNOMP en el PAS junto a la plataforma de cría campestre.

3. Resultados

Entre 2008 y 2021 se han realizado 52 intervenciones de huevos y pollos en 28 UR del Pirineo aragonés, rescatándose 70 huevos (36 puestas simples y 17 dobles), de los cuales 51 fueron fértiles (72%), 17 infértiles y dos aparecieron rotos en el nido. Una vez rescatados se aplicó el protocolo de incubación y manejo diseñado por la FCQ (Gil et al. 2019). El 98% de los huevos fértiles eclosionaron en el Centro de Rescate y Cría en Aislamiento Humano (CRIAH) de Quebrantahuesos de la Alfranca-Pastriz (Zaragoza), gestionado y mantenido por la FCQ mediante convenio de colaboración firmado en 2007 con el GA. El 92% de los que eclosionaron superaron la fase de crianza. En el CRIAH se atiende a los pollos en aislamiento visual y acústico. A los 15 días se trasladan de las necedoras al aviario exterior del CRIAH y se instalan en un nido que reproduce fielmente las características de uno natural. Allí pasan una serie de etapas de crecimiento y un desarrollo cognitivo adecuado con la ayuda del manejo de una marioneta, que es una fiel reproducción de un parental. El uso de marionetas es una práctica habitual y contrastada, usada en numerosos proyectos de conservación ex situ (Wallace et al., 2007). Tras permanecer en el CRIAH entre 40 o 50 días son trasladados a las instalaciones de cría campestre del PNOMP. A los 90 o 100 días de edad son marcados con anillas, bandas alares y emisores satélites y tras su chequeo veterinario son trasladados a su lugar de liberación en el PNPE. Entre 1995 y 2021 se ha realizado cría campestre de 49 pollos de quebrantahuesos en el PNOMP. De estos pollos 39 se ha liberado en la cordillera Cantábrica (29 siguen vivos, el 74%) y 10 en Pirineos (cinco siguen vivos, uno de ellos cautivo “Secundino”). De los 45 pollos liberados entre 2008 y 2021 (39 liberados en el PNPE y seis en PNOMP), cinco (el 11%) no superan el primer año de vida en libertad (“Ventura”, “Gueña”, “Chloe”, “Maro” y “Hugo”) y ocho (el 17%) mueren con más de un año de vida (“Leoncia”, “María”, “Quebrantina”, “Esperanza”, “Julia”, “Carlota”, “Angonés” y “Sidney”). Gracias al proyecto de reintroducción en el PNPE en 2020 nace y vuela el primer pollo en libertad en la cordillera Cantábrica de la UR constituida en 2015 por “Deva” (hembra liberada en 2010) y un ejemplar de posible procedencia pirenaica (denominado “Casanova”) (Báguena et al, 2020). Además existen otros tres territorios todos constituidos en 2019: “Biciele” (macho liberado en 2014) y otro ejemplar de posible procedencia pirenaica; “Cares” (macho liberado en 2016) y “Covadonga” (hembra liberada en 2018) y “Jana” (hembra liberada en 2016) y Centeneria” (hembra liberada en 2017).



Foto 4. Incubación de huevos rescatados en el CRIAH.



Foto 5. Marioneta interactuando con pollo.



Foto 6. Técnico de la FCQ con marioneta de quebrantahuesos en las instalaciones de “hacking” del PNOMP.



Foto 7. Pollo en la plataforma de cría campestre PNOMP.

Foto 8. Pollo “Lucía” tras el marcaje en el PNOMP antes de su traslado al PNPE.



Foto 9. Equipo FCQ y PNOMP el día del traslado de los pollos al PNPE.

4. Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas y entidades que han colaborado en el desarrollo de estos trabajos y especialmente a todo el personal de la FCQ, PNOMP y PNPE que ha participado durante estos años. Así como al MITERD, OAPN, GA, Principado de Asturias, Junta de Castilla y León, Gobierno de Cantabria, UE (fondos LIFE), Ayuntamiento Puértolas, Land Rover, Trango, Grupo Cooperativo Pastores, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) e Instituto de Investigación de Recursos Cinegéticos (IREC).

5. Bibliografía

- BÁGUENA, G., GONZÁLEZ, J. y GÁLVEZ, C. (2020). “Ha nacido el primer quebrantahuesos de Picos de Europa”. *Quercus* 411.
- BARCLAY, J.H. (1987). “Augmenting wild populations”. En: GIRON, B.A., MILLSAP, B.A., CLINE, K.W. y BIRD, D.M. (Eds.). *Raptor Management Techniques Manual*, pp. 239-247. Natl. Wildl. Fed., Washinton, D.C.
- GIL, J.A. (2011). “Primer quebrantahuesos criado en cautividad se reproduce en libertad en los Pirineos”. *Quercus* 309: 44-45.
- GIL, J. A., DÍEZ, Ó. y BÁGUENA, G. 2019. El quebrantahuesos y sus montañas: biología y conservación. Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos (FCQ) y Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón (CPNA). Zaragoza.
- EVANS, I.M., LOVE, J. A. GALBRAITH, C.A. y PIENKOWSKI, M.W. (1994). “Population and range restoration of threatened raptors in the United Kingdom”. En: MEYBURG, B.-U. y CHANCELLOR, R. D. (Eds.). *Raptor Conservation Today* 447-457. WWGBP/The Pica Press.
- LLOPIS, A. y FREY, H. (2005). “La cría en cautividad del Quebrantahuesos y su problemática”. En MARGALIDA, A. y R. HEREDIA (Ed.). *Biología de la Conservación del Quebrantahuesos (Gypaetus barbatus) en España*, pp. 279-304. Madrid. Organismo Autónomo de Parques Nacionales.
- WALLACE, M. P., CLARK, M., J. VARGAS, J. y PORRAS, C. (2007). “Release of puppet reared California Condors in Baja California: Evaluation of a modified rearing technique”. Pp. 227-242 en *California Condors in the 21st Century* (A. Mee and L.S. Hall, Eds.). Series in Ornithology, no. 2. American Ornithologists’ Union and Nuttall Ornithological Club, Washington, D.C.

4. Las avispas portasierra *Hymenoptera - Symphyta* en el PNOMP: unas pinceladas sobre su biología y distribución



Luis Óscar Aguado Martín
Especialista en el estudio de polinizadores
y educador ambiental

TEXTO NO DISPONIBLE

5. MICROORDESA: Biodiversidad microbiana y viral en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

Sergio Sánchez Carrillo

Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, CSIC (Madrid)

Rafael González Serrano

Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, CSIC (Madrid)

Alberto Rastrojo

Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, CSIC (Madrid)

María del Carmen Fernández Moyano

Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, CSIC (Madrid)

Miguel Bartolomé

Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC (Madrid)

Alejandra Vicente de Vera

Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC (Zaragoza)

Ana Moreno

Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC (Zaragoza)

Bias Valero

Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC (Zaragoza)

Juan Ignacio López Moreno

Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC (Zaragoza)

Antonio Alcamí

Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, CSIC (Madrid)



1. Introducción

Los microorganismos están presentes en grandes cantidades en todos los ecosistemas naturales y juegan un papel muy importante en la producción y descomposición de materia orgánica (Graham 2016; Hall 2018). Por ejemplo, los microorganismos influyen en el retorno del carbono orgánico presente en las hojas de los árboles caídas o restos de troncos, y en el intercambio metabólico. También se han relacionado con procesos biogeoquímicos, como el ciclo del nitrógeno, que puede influir en la calidad del agua superficial y de las concentraciones de gases en la atmósfera (Falkowski 2008, Long 2016). Los microorganismos son la base de las cadenas tróficas y por tanto juegan un papel muy relevante en mantener un ecosistema saludable, que es necesario para que la fauna y la flora puedan sobrevivir en los ambientes naturales. Los virus son las entidades biológicas más abundantes y diversas descritas, y se han identificado miles de millones de partículas virales en un litro de agua de mar o cientos de millones de virus en un gramo de tierra (Rohwer 2009). Los virus infectan todos los seres vivos del ecosistema, incluyendo microorganismos, plantas y animales. Las infecciones virales tienen un papel importante en la supervivencia de los microorganismos, y por este motivo se piensa que los virus controlan los ecosistemas y tienen un efecto relevante en estos ecosistemas naturales (Cobián Güemes 2016).

El cambio climático va a tener un impacto importante en la supervivencia de la flora y la fauna, y los primeros efectos del calentamiento global que estamos experimentando se verán reflejados en los microorganismos y virus que habitan estos sistemas (Bisset 2013). Por lo tanto, el conocimiento de los microbios presentes en los ecosistemas y el estudio de su evolución servirá como sensor para detectar los cambios tempranos derivados del cambio climático que ocurren en los ecosistemas.

Los estudios sobre microorganismos celulares en ecosistemas naturales de los Pirineos son escasos. Hay que destacar estudios realizados recientemente en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido: en muestras de suelo del valle de Escuaín, (Lanzen 2016), en muestras de suelo del macizo del Monte Perdido (Jiménez 2019) y en muestras de hielo de diferentes edades del glaciar del Monte Perdido (García-López 2021). Las comunidades de virus presentes en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido no se han descrito hasta el momento

El proyecto MICROORDESA propone realizar un estudio global de todos los microorganismos y virus presentes en los sistemas de agua del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Para ello aprovecharemos los nuevos métodos de secuenciación masiva, desarrollados inicialmente para la secuenciación del genoma humano. La metagenómica ha representado una revolución en biología ya que nos ofrece una oportunidad sin precedentes para identificar genéticamente las comunidades complejas de microorganismos y virus que habitan en un ecosistema, sin necesidad de aislarlos en el laboratorio y cultivarlos (Rastrojo 2017). Estudios metagenómicos realizados en ambientes naturales han identificado miles de nuevos microorganismos y virus que eran desconocidos para el ser humano.

2. Objetivos del proyecto

El proyecto MICROORDESA estudia la composición microbiana y viral de muestras de agua de diferentes áreas del Parque Nacional, con objeto de identificar diferentes nichos ecológicos (Fig.1, Fig.2). Las muestras que se están analizando incluyen una variedad de sitios que nos ofrecerá diferentes tipos de información:

- 1) Los ríos del Parque Nacional nos darán información de los microorganismos y virus presentes en los principales valles del Parque: río Arazas (Ordesa), río Bellós (Añisclo), río Yaga (Escuaín) y río Cinca (Pineta). Un estudio más detallado de diferentes torrentes que alimentan el río Cinca nos ofrecerá información del aporte de diferentes cuencas (lago Marboré en el Balcón de Pineta, torrente del río del glaciar del Monte Perdido y Llanos de La Larri).

- 2) El sistema cárstico del Parque Nacional es único y genera una serie de microambientes subterráneos donde circula el agua, que en ocasiones recorre desniveles superiores a 1000 m. El estudio de la surgencia del Yaga, la fuente de la Gradas de Soaso y la surgencia de la Fuen Blanca nos dará información de los microorganismos y virus presentes en las aguas subterráneas del Parque Nacional.
- 3) Las cuevas heladas del Parque Nacional son también de interés porque mantienen congelados microorganismos y virus que estuvieron presentes en el pasado.
- 4) Los ibones del Parque Nacional (Marboré, Arrablo y Mallo Tormosa) son ecosistemas alpinos de gran interés que nos permitirá averiguar si los microorganismos y virus adaptados a estos nichos ecológicos comparten propiedades con los microorganismos y virus identificados en lagos de zonas polares (Antártida y Ártico), que probablemente tienen propiedades únicas que les permiten sobrevivir en estos ambientes extremos (Rastrojo 2018).
- 5) El glaciar del Monte Perdido tiene un interés muy especial ya que los microorganismos y virus retenidos en el glaciar a lo largo de miles de años nos pueden dar información de las comunidades microbiana y vírica que habitaban estos parajes en el pasado. Estudios recientes han datado la edad del hielo acumulado en el glaciar que se extiende 2000 años en el pasado (Moreno 2021), y se han

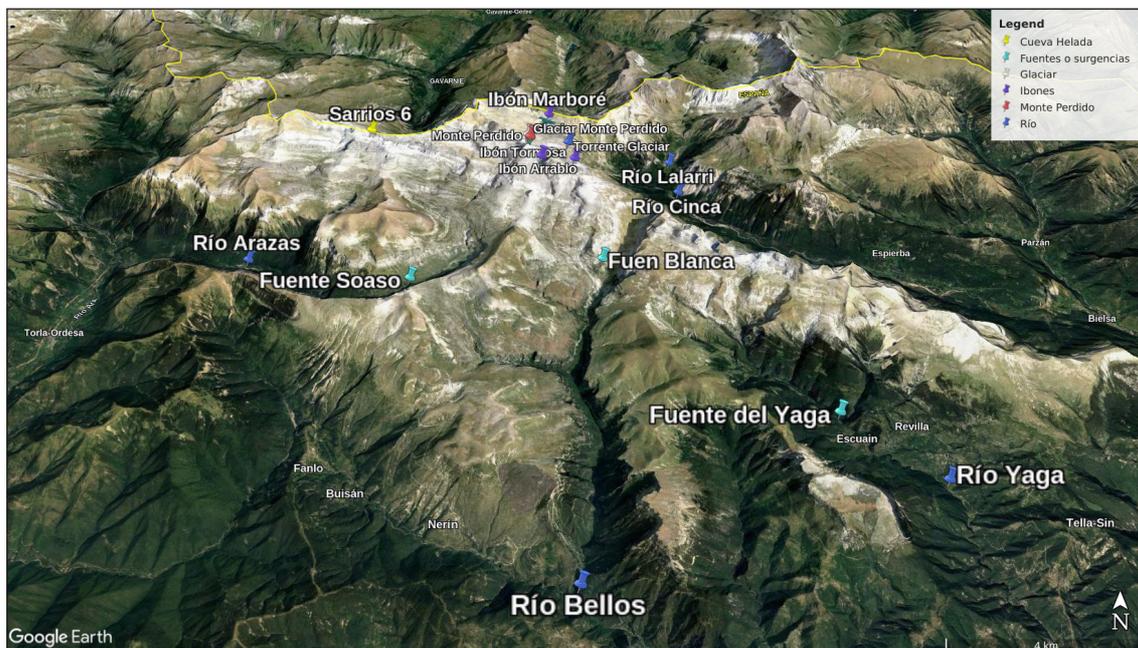


Figura 1. Sitios de muestreo en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

identificado mediante metagenómica bacterias y microeucariotas presentes en hielo glaciar de diferentes épocas (García-López 2021).

- 6) Las muestras de suelo de la cima del Monte Perdido (3348 m), lugar emblemático del Parque Nacional, nos dará información de los microorganismos y virus capaces de sobrevivir las condiciones extremas presentes a esta altitud.

Se llevará a cabo un estudio metagenómico de estas muestras para identificar las complejas comunidades y diversidad de bacterias, eucariotas (algas, hongos) y virus. Por una parte, secuenciaremos amplicones de regiones hipervariables de genes ribosómicos 16S (procariotas), 18S (eucariotas) e ITS (hongos y plantas) que están conservados en todos los microorganismos y nos permite secuenciar miles de microorganismos y clasificarlos taxonómicamente en base a las variaciones de secuencia de cada especie. Los virus carecen de estos genes conservados y para estudiarlos se necesita aislar las partículas virales del resto de los microorganismos celulares y realizar una secuenciación completa de sus genomas, un método conocido como metagenómica de virus. La secuenciación masiva de estas muestras nos permitirá identificar las comunidades complejas de microorganismos y virus presentes en estos ecosistemas. Además, realizaremos estudios de microscopía electrónica para demostrar la presencia de virus y conocer su morfología.



Figura 2. Localización de las muestras tomadas en la cima del Monte Perdido, el glaciar del Monte Perdido y el Balcón de Pineta (Ibón de Marboré y torrente glaciar).

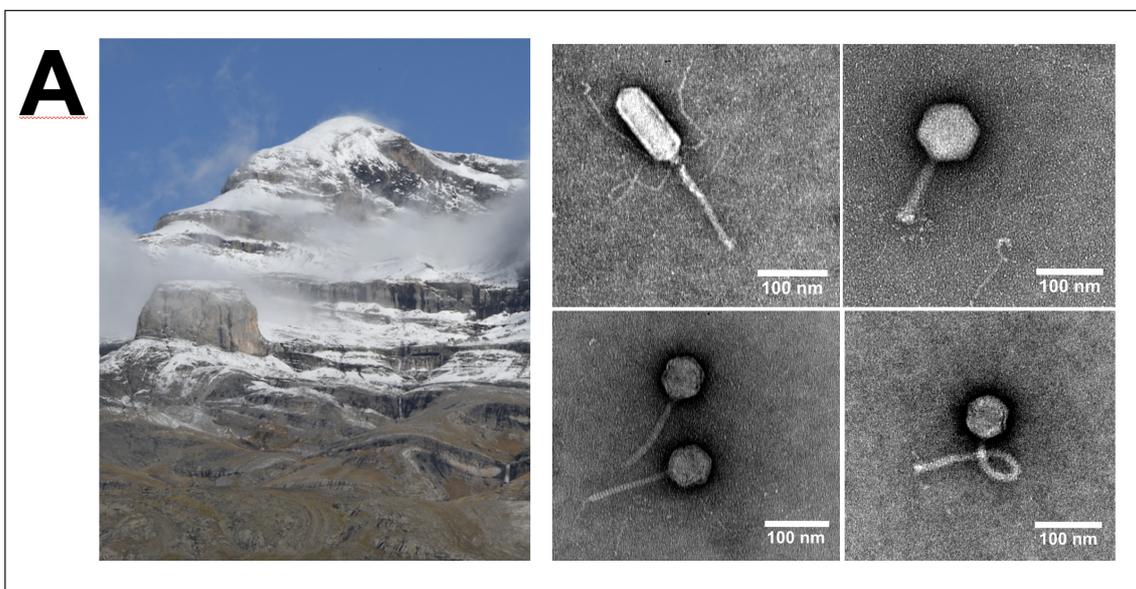
3. Resultados preliminares

Identificación de virus en zonas de clima extremo del Parque Nacional

Los primeros estudios han consistido en la identificación de partículas virales en diferentes muestras mediante microscopía electrónica. Los virus son demasiado pequeños para poder identificarlos mediante microscopía óptica convencional. Las primeras muestras analizadas corresponden a zonas donde posiblemente se encuentran las condiciones ambientales más extremas del Parque Nacional: la cima del Monte Perdido, el glaciar del Monte Perdido y cuevas heladas.

Las muestras de suelo que hemos tomado en la cima del Monte Perdido han mostrado la presencia de diversos virus por microscopía electrónica (Fig.3A), que corresponden probablemente a virus que infectan bacterias que habitan en este lugar tan remoto. Esto ilustra el hecho de que los virus están en todos los rincones del Parque Nacional, incluso en un enclave con condiciones ambientales extremas como es la cima del Monte Perdido.

En el glaciar del Monte Perdido hemos recogido testigos de hielo de medio metro de profundidad en diferentes zonas del glaciar, correspondiente a hielo de diferentes épocas, hasta 2000 años de antigüedad estimada (Fig.3B). Los análisis iniciales por microscopía electrónica han mostrado la presencia de partículas virales y microorganismos celulares, que podrían corresponder a bacterias y microeucariotas como algas unicelulares, retenidos en el hielo glaciar (Fig.3C). Estamos optimizando la metodología para limpiar el exterior de los testigos de hielo y poder estar seguros de que los virus y microorganismos que secuenciaremos estaban capturados dentro del hielo antiguo y no corresponde a virus y microorganismos actuales que han contaminado la superficie de estas muestras.



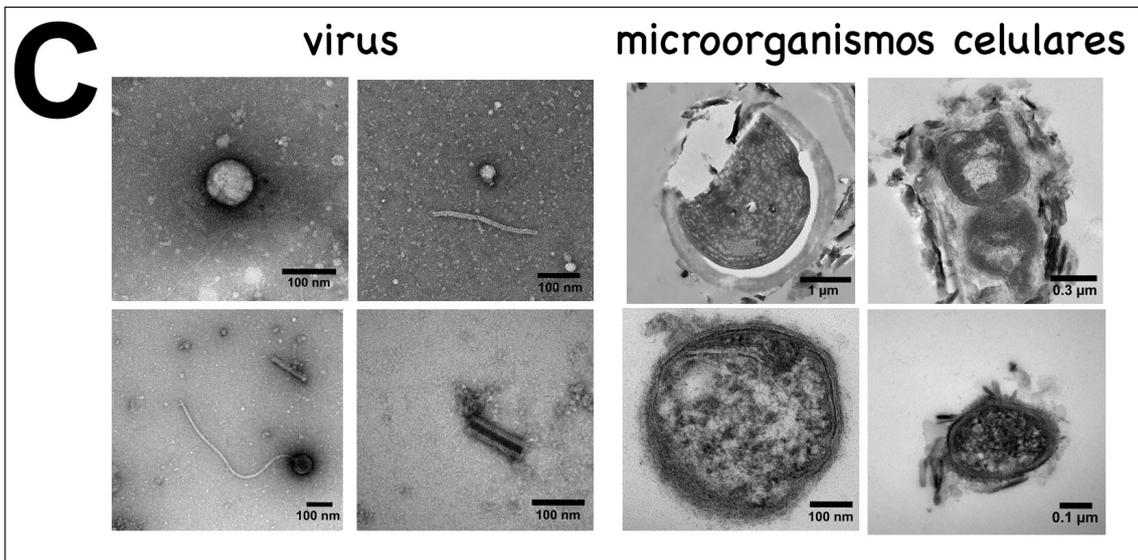


Figura 3. Identificación de virus en la cima y glaciar del Monte Perdido.

(A) Micrografías electrónicas de partículas virales aisladas de muestras de suelo de la cima del Monte Perdido.

(B) Toma de muestras de hielo en el glaciar del Monte Perdido.

(C) Micrografías electrónicas de partículas virales y microorganismos celulares (bacterias y microeucariotas) en el hielo del glaciar del Monte Perdido.

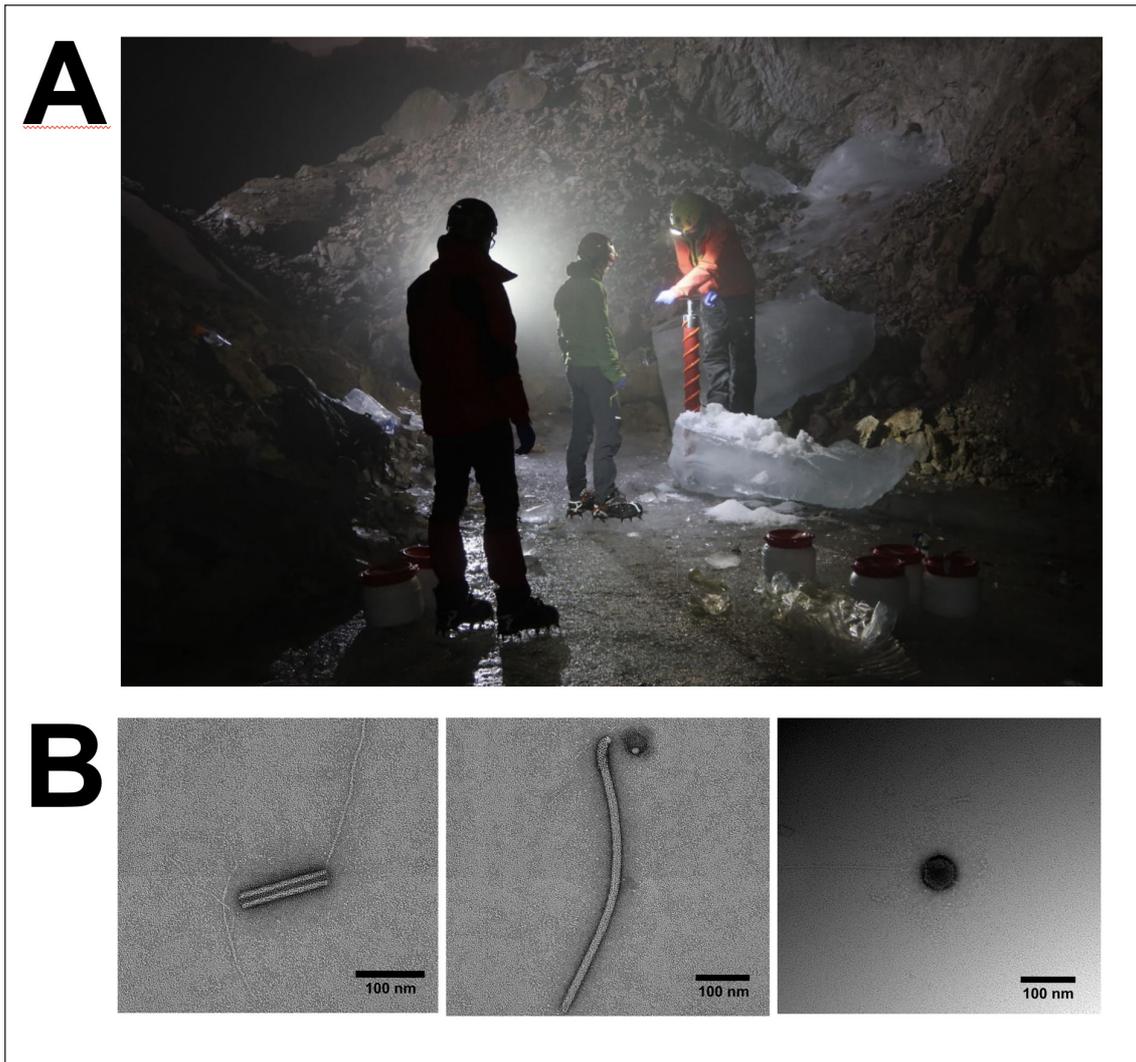


Figura 4. Muestreo en la cueva Sarriés 6. (A) Toma de muestras de hielo estacional en la cueva. (B) Identificación de virus en hielo por microscopía electrónica.

En el muestreo inicial de hielo estacional, formado en el último invierno, en la cueva de Sarriés 6 hemos detectado la presencia de partículas virales que corresponden por su morfología a virus de bacterias o bacteriófagos (Fig.4). En el futuro tomaremos muestras de hielo acumulado en estas cuevas durante décadas o incluso siglos, y lo procesaremos del mismo modo que el hielo del glaciar para evitar contaminaciones con microorganismos y virus presentes actualmente en estas cuevas.

Estudios metagenómicos para identificar virus en el Balcón de Pineta (ibón de Marboré y torrente glaciario)

Las dos muestras que hemos analizado con más detalle corresponden a aguas del Ibón de Marboré y del torrente del glaciario del Monte Perdido (Fig.2). Hemos detectado la presencia de virus en estas muestras mediante microscopía electrónica. Las variadas morfologías de estas partículas virales sugieren una diversidad de virus en estos ambientes y la presencia de virus de bacterias (bacteriófagos) y virus de organismos eucariotas.

Los primeros análisis metagenómicos se han realizado en estas muestras (Fig.5A). Tras purificar partículas virales, separándolas de los microorganismos celulares, hemos purificado el material genético presente en el interior de estas partículas virales. Los genomas virales se han fragmentado y se ha procedido a su secuenciación mediante la tecnología Illumina. Esta tecnología permite la generación de un gran número de secuencias: 5.3 millones de secuencias del ibón de Marboré y 3.4 millones de secuencias del torrente glaciario. El siguiente paso en el proceso es realizar un análisis bioinformático de estas secuencias para reconstruir genomas virales completos o regiones grandes de estos genomas, lo que se denomina *contigs*. Los análisis computacionales han podido ensamblar 64.748 *contigs* en las muestras del ibón de Marboré y 385.389 *contigs* en la muestra del torrente glaciario. Estos datos ilustran la enorme diversidad de virus que podemos encontrar en estos ambientes naturales. La identificación de un mayor número de *contigs* en el torrente glaciario, a pesar de tener un menor número de secuencias generadas, sugiere que la diversidad de virus en el torrente glaciario es muy superior a la diversidad que encontramos en el ibón de Marboré. Este dato es interesante y puede reflejar que el ecosistema del ibón de Marboré es más homogéneo, mientras que el torrente glaciario recoge agua de diferentes nichos ecológicos y una mayor diversidad biológica.

El análisis de estos *contigs*, correspondientes a regiones de genomas virales o genomas virales completos, muestra que la gran mayoría de estos genomas virales no están relacionados con virus conocidos hasta el momento, y pone de manifiesto la inmensa diversidad de virus que existe y que desconocemos (Fig.5B). Entre el pequeño porcentaje de virus relacionados con virus conocidos, encontramos muchos virus de ADN de cadena doble (dsDNA) relacionados con virus de bacterias (dsDNAphage) y virus de gran tamaño que infectan células eucariotas (NCLDV). También encontramos gran número de virus ADN de cadena sencilla (ssDNA), que son virus que también abundan en lagos de la Antártida y el Ártico (López-Bueno 2007, Aguirre de Cárcer 2015), y que posiblemente se han adaptado a vivir en estos ambientes alpinos extremos que, como las regiones polares, sufren bajas temperaturas en invierno.

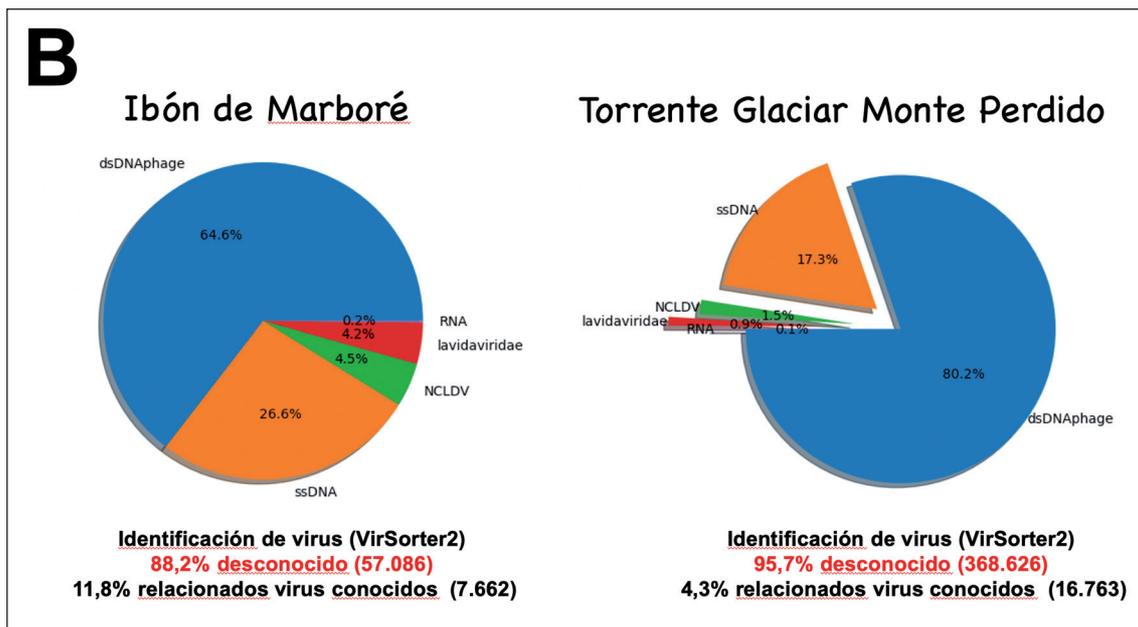
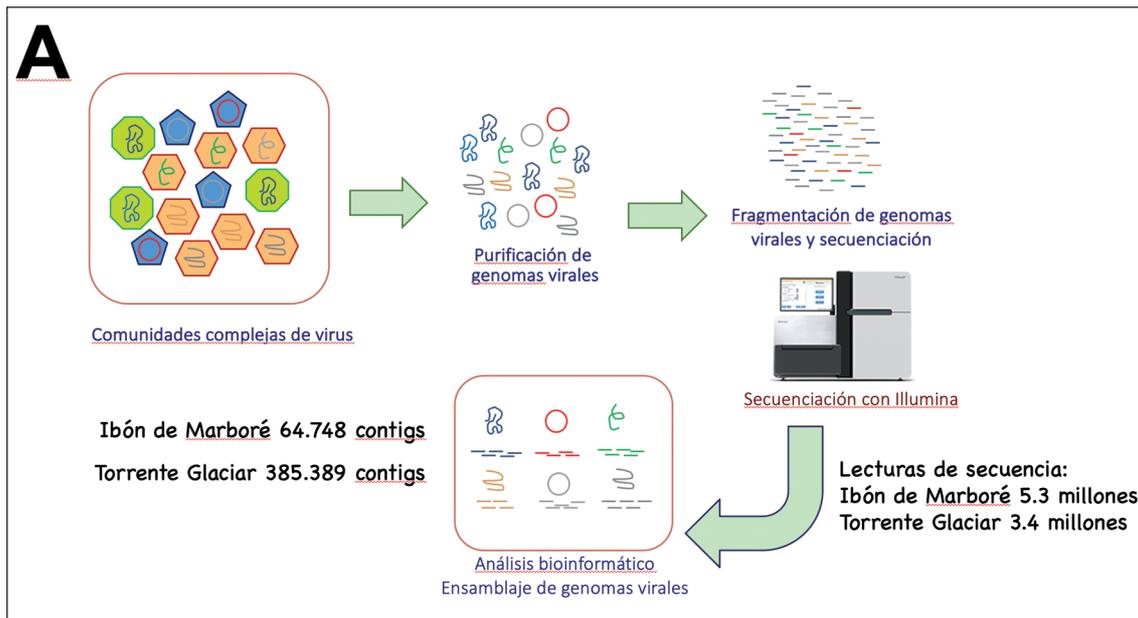


Figura 5. Diversidad de virus en muestras del Balcón de Pineta: ibón de Marboré y torrente glaciar. (A) Metodología seguida para metagenómica de virus: (i) purificación de partículas virales; (ii) extracción de material genético de las partículas virales; (iii) fragmentación del material genético viral y secuenciación mediante la tecnología Illumina, indicando los millones de lecturas generados; (iv) análisis bioinformático para ensamblar genomas completos o regiones de genomas virales (contigs), indicando el número de contigs generados. (B) Análisis de los contigs virales identificados. Se indica el porcentaje de contigs relacionados con virus conocidos y los contigs que representan virus nuevos. El porcentaje de contigs relacionados con diferentes virus conocidos se indica en las representaciones.

4. Conclusiones

Los resultados iniciales obtenidos son consistentes con la presencia de virus en todos los lugares del Parque Nacional, incluso en la cima del Monte Perdido, sitio emblemático del Parque Nacional y que sufre condiciones climáticas extremas.

Uno de los aspectos más novedosos de este proyecto son los estudios de paleovirología en el glaciar del Monte Perdido. Este es un campo prácticamente inexplorado pero que está despertando mucho interés (García-López 2021), con un único estudio publicado hasta el momento sobre virus retenidos en hielo glaciar (Zhong 2021). Esperamos identificar virus depositados hace cientos o miles de años en el glaciar del Monte Perdido. Los resultados preliminares demuestran por microscopía electrónica la presencia células (bacterias y microeucariotas) en el hielo del glaciar del Monte Perdido, consistente con estudios recientes (García-López 2021). La identificación genética de comunidades complejas de virus en el glaciar tiene un gran interés científico ya que nos puede dar información de procesos históricos de colonización de este ecosistema por virus.

Los estudios iniciales muestran una gran diversidad de virus en el Balcón de Pineta, y han identificado miles de virus desconocidos hasta el momento. Hemos identificado virus de bacterias y virus de gran tamaño que infectan eucariotas. También hemos encontrado numerosos virus de pequeño tamaño y genoma circular. Aunque estos virus pequeños no son idénticos en secuencia a los virus de la Antártida y el Ártico, estas familias de virus pequeños con genomas circulares son frecuentes en lagos polares y sugiere que están bien adaptados a zonas de clima extremo que experimentan bajas temperaturas. Este resultado muestra cierta conectividad entre lagos presentes en diferentes regiones de la criosfera, donde se encuentra agua helada, como la Antártida, el Ártico y las zonas alpinas. La identificación de una mayor diversidad de virus en el torrente glaciar que en el ibón de Marboré puede ser debido a que el torrente glaciar recoge una mayor variedad de nichos ecológicos, incluyendo el agua que proviene del glaciar y otras zonas del Balcón de Pineta. Los virus encontrados en el torrente glaciar también podrían corresponder a virus retenidos en el hielo glaciar que se están liberando al ecosistema por la descongelación del glaciar, como resultado del calentamiento global. Es posible que algunos de estos virus estuvieran presentes en este ecosistema hace cientos o miles de años, y se estén introduciendo de nuevo en el ecosistema actual del Parque Nacional.

La cantidad de datos de secuenciación que planeamos obtener en este proyecto, estimada en cientos de millones de lecturas de secuencia, nos ofrecerá una información sin precedente de este ecosistema y una visión global de la diversidad microbiana y viral. Esperamos

identificar comunidades microbianas y virales que habitan en ambientes específicos y las posibles conexiones existentes entre diferentes nichos ecológicos dentro del Parque Nacional.

5. Agradecimientos

Este proyecto de investigación está financiado por la Fundación BBVA. Agradecemos al Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y a todo el personal por la atención y apoyo que nos están prestando para realizar este proyecto. También agradecemos a Alejandro Alcamí la toma de muestra de la cima del Monte Perdido.

6. Bibliografía

- AGUIRRE DE CÁRCER, D., LÓPEZ-BUENO, A., PEARCE, D. y ALCAMI, A. (2015). "Biodiversity and distribution of Polar freshwater viruses". *Science Advances* 1: e1400127.
- BARBERÁN, A. y CASAMAYOR, E.O. (2014). "A phylogenetic perspective on species diversity, β -diversity and biogeography for the microbial world". *Molecular ecology* 23(23): 5868-5876.
- BISSETT, A., BROWN, M.V., SICILIANO, S.D. y THRALL, P.H. (2013). Microbial community responses to anthropogenically induced environmental change: towards a systems approach. *Ecology Letters*, Suppl. 1: 128-139.
- COBIÁN GÜEMES, A.G., YOULE, M., CANTÚ, V.A., FELTS, B., NULTON, J. y ROHWER, F. (2016). "Viruses as winners in the game of life". *Annu. Rev. Virol.* 3(1): 197-214.
- FALKOWSKI, P.G., FENCHEL, T., DELONG, E.F. (2008). "The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles". *Science* 320: 1034-1039.
- GARCÍA-LÓPEZ, E., MORENO, A., BARTOLOMÉ, M., LEUNDA, M., SANCHO, C. y CID, C. (2021). "Glacial ice age shapes microbiome composition in a receding southern european glacier". *Frontiers in Microbiology* 12: 714537.
- GRAHAM, E.B. *et al.* (2016). "Microbes as engines of ecosystem function: When does community structure enhance predictions of ecosystem processes?". *Frontiers in Microbiology* 7: 214.
- HALL, E.K., BERNHARDT, E.S., BIER, R.L., BRADFORD, M.A., BOOT, C.M., COTNER, J.B., DEL GIORGIO, P.A., EVANS, S.E., GRAHAM, E.B., JONES, S.E.,

- LENNON, J.T., LOCEY, K.J., NEMERGUT, D., OSBORNE, B.B., ROCCA, J.D., SCHIMEL, J.P., WALDROP, M.P. y WALLENSTEIN, M.D. (2018). “Understanding how microbiomes influence the systems they inhabit”. *Nature Microbiology* 3(9): 977-982.
- JIMÉNEZ, J.J., IGUAL, J.M., VILLAR, L., BENITO-ALONSO, J.L. y ABADÍAS-ULLOD, J. (2019). “Hierarchical drivers of soil microbial community structure variability in ‘Monte Perdido’ Massif (Central Pyrenees)”. *Scientific reports* 9(1): 8768.
- LANZEN, A., EPELDE, L., BLANCO, F., MARTÍN, I., ARTETXE, U. y GARBISU, C. (2016). “Multi-targeted metagenetic analysis of the influence of climate and environmental parameters on soil microbial communities along an elevational gradient”. *Scientific Reports* 6: 28257.
- LONG, P.E., WILLIAMS, K.H., HUBBARD, S.S. y BANFIELD, J.F. (2016). “Microbial metagenomics reveals climate-relevant subsurface biogeochemical processes”. *Trends in microbiology* 24(8): 600-610.
- LÓPEZ-BUENO, A., TAMAMES, J., VELAZQUEZ, D., MOYA, A., QUESADA, A. y ALCAMI, A. (2009). “High diversity of the viral community from an Antarctic lake”. *Science* 326: 858-861.
- MORENO, A., BARTOLOMÉ, M., LÓPEZ-MORENO, J.I., PEY, J., CORELLA, J.P., GARCÍA-ORELLANA, J., SANCHO, C., LEUNDA, M., GIL-ROMERA, G., GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P., PÉREZ-MEJÍAS, C., NAVARRO, F., OTERO-GARCÍA, J., LAPAZARAN, J., ALONSO-GONZÁLEZ, E., CID, C., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., OLIVA-URCIA, B., FARIA, S.H., SIERRA, M.J., MILLÁN, R., QUEROL, X., ALASTUEY, A. y GARCÍA-RUÍZ, J.M. (2021). “The case of a southern European glacier which survived Roman and medieval warm periods but is disappearing under recent warming”. *Cryosphere* 15: 1157–1172.
- RASTROJO, A. y ALCAMÍ A. (2017). “Aquatic viral metagenomics: Lights and shadows”. *Virus Research* 239: 87-96.
- _____ (2018). “Viruses in polar lake and soil ecosystems”. *Advances in Virus Research* 101: 39-54.
- ROHWER, F. y THURBER, R.V. (2009). “Viruses manipulate the marine environment”. *Nature* 459: 207-212.
- ZHONG, Z.P., TIAN, F., ROUX, S., GAZITÚA, M.C., SOLONENKO, N.E., LI, Y.F., DAVIS, M.E., VAN ETTEN, J.L., MOSLEY-THOMPSON, E., RICH, V.I., SULLIVAN, M.B. y THOMPSON, L.G. (2021). “Glacier ice archives nearly 15.000-year-old microbes and phages”. *Microbiome* 9(1): 160.

6. Efecto de los antiparasitarios del ganado en el estado de salud de la comunidad coprófaga del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

José R. Verdú

I.U.I. CIBIO, Universidad de Alicante

Vieyle Cortez

I.U.I. CIBIO, Universidad de Alicante

Rocío Rosa García

Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias (SERIDA)

Urcesino García Prieto

Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias (SERIDA)

Antonio J. Ortiz

Universidad de Jaén

Jean-Pierre Lumaret

Université Paul-Valéry Montpellier III (Francia)

Francisco Sánchez Piñero

Universidad de Granada

Jorge M. Lobo

Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC (Madrid)

Carmelo García Romero

Sociedad española de Agroecología (SEAE)

Catherine Numa

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), Delegación España

Estela González Rodríguez

I.U.I. CIBIO, Universidad de Alicante

Rosa Menéndez

Lancaster Environment Centre, Lancaster (Reino Unido)



1. Introducción

Se han detectado residuos de medicamentos veterinarios (VMP) para tratar el ganado en suelos, aguas superficiales y aguas subterráneas en todo el mundo. Se sabe que varios VMP son dañinos para las especies de invertebrados, hongos, e incluso vertebrados, por lo que su presencia puede tener un impacto negativo en los sistemas biológicos (Boxall 2018). Estudios de todo el mundo, pero especialmente del hemisferio norte, informan que la disminución tanto de la abundancia como de la diversidad de especies de insectos es alarmante, especialmente en algunos taxones como los escarabajos coprófagos (Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019). Los principales factores relacionados con esta disminución de la biodiversidad son la contaminación química (por pesticidas que afectan

a especies no objetivo), la degradación del hábitat (por ejemplo, prácticas intensivas en el sector ganadero) y el cambio climático (Wagner 2018).

Si bien las prácticas tradicionales de pastoreo ganadero constituyen importantes agentes diversificadores (Rosa-García & Fraser 2019) necesarios para mantener paisajes en mosaico y evitar la pérdida de biodiversidad en los agrosistemas, los cambios en los sistemas de producción y manejo ganadero, como el uso masivo de VMP y la intensificación ganadera, requiere una implementación prioritaria y urgente de nuevas estrategias que permitan una gestión más sostenible. Un requisito fundamental para esta gestión sostenible en el sector ganadero extensivo es mantener la diversidad de insectos descomponedores de estiércol, ya que la disminución de su actividad ecológica es responsable del aumento de los gases de efecto invernadero (Penttilä *et al.* 2013, Verdú *et al.* 2019) y una disminución del secuestro de carbono en el suelo (Menéndez *et al.* 2016, Verdú *et al.* 2018).

Entre los agentes biológicos de la compleja “red trófica del excremento”, los escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae, Geotrupidae y Aphodiidae) son uno de los grupos de insectos dominantes y altamente efectivos en la descomposición de los excrementos del ganado. Las poblaciones de coleópteros coprófagos juegan un papel clave para el mantenimiento de los agroecosistemas, contribuyendo significativamente en procesos ecológicos clave como la descomposición de los excrementos, el reciclaje de nutrientes, la bioturbación y aireación del suelo, el control de parásitos, el crecimiento de las plantas, la dispersión de semillas y el cambio de las comunidades microbianas del suelo (Bornemissza & Williams 1970, Milotic *et al.* 2019). A pesar de su importancia ecológica y económica crucial, la diversidad de escarabajos coprófagos está disminuyendo y la composición de sus ensamblajes está cambiando progresivamente como resultado de varios factores, entre ellos: a) el uso intensivo de VMP, b) cambios en la intensificación y el tipo de ganado, c) cambios en el uso del suelo y la estructura del hábitat, y d) cambios en las condiciones climáticas. Efectivamente, los resultados de proyectos anteriores (OAPN_762/2012, CGL2015-68207R) destacaron los efectos negativos de la ivermectina (uno de los VMP más utilizados en todo el mundo) que alteran las poblaciones de escarabajos coprófagos, las propiedades del suelo y el funcionamiento del ecosistema (Verdú *et al.* 2018). Además, recientemente hemos demostrado el efecto significativo de los escarabajos coprófagos en la reducción de las emisiones de GEI (CH₄ y CO₂) de las heces del ganado en áreas con ganadería ecológica en comparación con la ganadería convencional en condiciones mediterráneas (Verdú *et al.* 2019). Desde un punto de vista experimental, demostramos trastornos subletales causados por la ivermectina en los sistemas sensorial

y locomotor del coleóptero coprófago *Ateuchetus cicatricosus* (Lucas, 1846), impidiéndoles realizar actividades biológicas básicas (Verdú *et al.* 2015). Además, recientemente se demostró que la ivermectina se bioacumula en los tejidos de escarabajos coprófagos adultos (Verdú *et al.* 2020).

A pesar del cúmulo de evidencias sobre los efectos negativos de los antiparasitarios sobre el medio ambiente y la biodiversidad no se han resuelto aún dilemas de gran calado, algunos de los cuales se abordarán en este proyecto. Para contextualizar el efecto de los antiparasitarios en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, se abordarán, desde una perspectiva multidisciplinar, los efectos a largo plazo del uso de diferentes medicamentos antiparasitarios sobre la biota coprófaga (incluyendo escarabajos y nemátodos parásitos). A través una batería de estudios en campo y laboratorio, se mejorará el conocimiento de estas complejas redes tróficas y su relación con servicios ecosistémicos clave como la degradación de las heces y el control parasitario.

2. Material y métodos

Diseño de muestreo

Para el estudio desarrollado en julio-septiembre de 2021, se seleccionó el área de Plana Canal y San Vicenda. Se estudiaron los patrones temporales de colonización del excremento por coleópteros coprófagos, la dispersión de estiércol y las emisiones de GEI examinando diez boñigas artificiales (1,2 kg de peso fresco) en siete diferentes períodos desde la colocación del excremento: 0 (a las 8 AM), 6, 24, 48, 72, 360 y 720 horas después de la colocación del estiércol en el suelo (Fig. 1A). El excremento utilizado como cebo se recolectó en la misma zona de estudio durante las primeras horas de la mañana para evitar la colonización y minimizar los cambios físico-químicos en el mismo. Además, diez boñigas artificiales, del mismo peso y forma, colocadas en la misma área se utilizaron como controles para prevenir la colonización de estiércol mediante el uso de una malla de recubrimiento de nailon de 1 mm, capaz de preservar las muestras sin colonizar (Fig. 1B). Los periodos de tiempo se determinaron con base en las tasas de disgregación de estiércol y las emisiones de GEI obtenidas en estudios previos (Verdú *et al.* 2018, 2019). Las unidades de muestreo se separaron 15 m de distancia para minimizar la posible interferencia entre ellas.

Diversidad, abundancia y biomasa de coleópteros coprófagos

Para cada unidad de muestreo, se contó el número de coleópteros de cada especie y se midió la riqueza de especies (S), la abundancia total (N) y la biomasa total (B, g de masa fresca). Todos los coleópteros se determinaban en campo *in vivo*, únicamente aquellas especies que requerían una identificación taxonómica precisa en el laboratorio se conservaron en etanol al 70%.

Medición de flujos de GEI

Las emisiones de GEI se cuantificaron utilizando una técnica OA-ICOS (Fig. 1C y D) que, no solo permite mediciones en tiempo real *in situ*, sino que también proporciona estimaciones de GEI corregidas al considerar las emisiones de CO₂ generadas por la respiración de las especies objetivo (Verdú et al., 2019). Específicamente, nuestro objetivo principal es determinar los efectos de los ensamblajes de coleópteros coprófagos en la evolución de los flujos de CO₂ y CH₄ de los excrementos comparando diferentes tiempos de exposición y colonización de la fauna coprófaga. Para asegurar el correcto desempeño del diseño de la cámara, se midió la presión, la temperatura y la humedad relativa dentro de la cámara de suelo utilizando una microestación meteorológica (Windoo 3, JDC Electronic SA, Suiza).

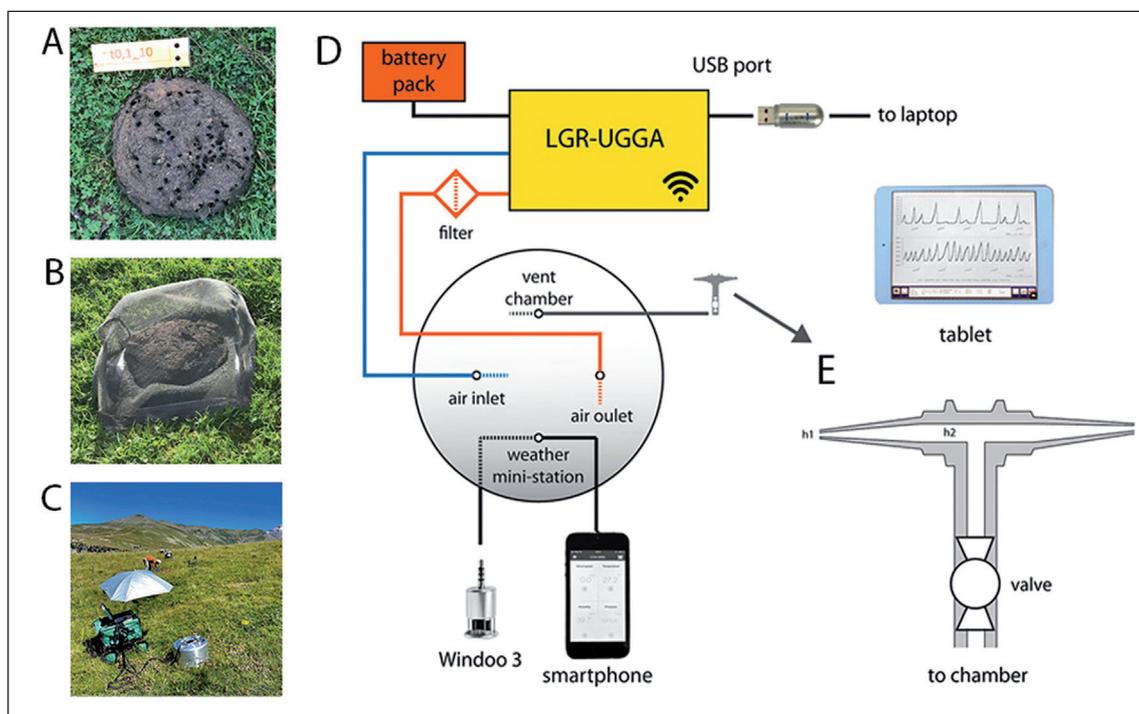


Figura 1. Diseño de muestreo: A) Boñiga artificial de excremento vacuno expuesto a la colonización de coleópteros coprófagos; B) boñiga de excremento cubiertas con malla de nailon como “controles”; C) medición del flujo de GEI emitidos por los excrementos usando un LGR-UGGA portátil; D y E) Diseño esquemático del equipo de medición de flujo de GEI.

3. Resultados y discusión

Diversidad y abundancia de coleópteros coprófagos

El número de especies de escarabeidos coprófagos fue muy baja ($S = 11$ especies) y con unas abundancias extremadamente bajas. Algunas especies como *Geotrupes stercorearius* y *Trypocopris pyrennaeus*, que son las de mayor biomasa y por lo tanto las de mayor capacidad de enterramiento del excremento, presentan unas poblaciones prácticamente diezmadas si las comparamos con áreas similares donde el uso de ivermectina no es tan frecuente o incluso es nulo. Por lo general, en una sola boñiga en condiciones normales, deberíamos encontrar fácilmente de 5 a 20 individuos de estas especies, sin embargo, en todo el muestreo ($n = 40$ boñigas) únicamente se han encontrado 5 individuos. Este resultado pone de manifiesto que la comunidad de coleópteros encargados de disgregar y enterrar el excremento del ganado está afectada por el uso de antiparasitarios del ganado de manera rutinaria y preventiva, tal y como se viene utilizando en el PNOMP desde hace más de 20 años. El resto de especies encontradas igualmente se encuentran en un estado poblacional muy preocupante, incluso las especies que presentan estrategias reproductoras con puestas numerosas y cuantiosas (e.g. *Esymus pusillus*, *Otophorus haemorrhoidalis*, *Bodilopsis rufa*, *Coprimorphus scrutator* y *Aphodius foetens*). Del mismo modo, especies como *Onthophagus ovatus* y *O. fracticornis*, en lugares donde la comunidad coprófaga se encuentra en buen estado de salud, suelen encontrarse en una misma boñiga en gran número, llegando incluso a varias decenas o incluso más de una centena por especie. Sin embargo, en todo el muestreo realizado, el número total de individuos pertenecientes a estas especies fue de 20 individuos. Estos resultados muestran un estado deficiente y preocupante de la biodiversidad de este grupo de insectos y por tanto del estado de salud del ecosistema como veremos a continuación.

Degradación del excremento del ganado

Partiendo de los datos obtenidos de biodiversidad de escarabeidos coprófagos se explica que la degradación de los excrementos del ganado en el área estudiada haya sido prácticamente nula. Los análisis de pérdida de peso del excremento muestran que los excrementos quedaron intactos en un 82% lo que representa una cantidad extremadamente elevada que conlleva necesariamente una acumulación en el tiempo de excrementos en superficie. Desde el punto de vista del papel que desempeñan los escarabeidos coprófagos se entiende este resultado ya que considerando las abundancias y diversidad de especies observada, la comunidad coprófaga actual no puede descomponer la gran cantidad

de excrementos producidos por el ganado. En otras palabras, en la situación actual del PNOMP un solo individuo de coleóptero debería procesar entre 100 y 150 g de excremento por boñiga. Si tenemos en cuenta que el peso medio de un individuo es de 0.05 g, la cantidad de excremento que un individuo debería procesar sería equivalente a 500 veces el peso de su cuerpo. Estos resultados son muy negativos ya que muestra que la mayor parte del excremento del ganado permanece intacto en superficie lo que conlleva una serie de perjuicios al ecosistema difíciles de solucionar si no se toman medidas urgentes.

Tabla 1. Relación de especies y su abundancia presentes en el área de Plana Canal durante el experimento de campo.

| Especies | N |
|----------------------------------|----------|
| APHODIIDAE | |
| <i>Aphodius foetens</i> | 44 |
| <i>Bodilopsis rufa</i> | 7 |
| <i>Colobopterus erraticus</i> | 22 |
| <i>Coprimorphus scrutator</i> | 1 |
| <i>Esymus pusillus</i> | 12 |
| <i>Otophorus haemorrhoidalis</i> | 24 |
| GEOTRUPIDAE | |
| <i>Anoplotrupes stercorosus</i> | 1 |
| <i>Geotrupes stercorarius</i> | 4 |
| <i>Trypocopris pyrennaeus</i> | 1 |
| SCARABAEIDAE | |
| <i>Onthophagus fracticornis</i> | 4 |
| <i>Onthophagus ovatus</i> | 16 |

Emisión de gases de efecto invernadero por los excrementos del ganado

Partiendo de los resultados anteriores se explica que la emisión de metano y dióxido de carbono por los excrementos haya sido muy elevada si la comparamos con otros lugares donde la comunidad coprófaga realiza su papel disgregando el excremento y

favoreciendo el secuestro de carbono en el suelo y la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero.

Efectivamente, en el área de Plana Canal se obtuvieron emisiones de metano y de dióxido de carbono por parte de las boñigas expuestas a la colonización de escarabeidos coprófagos similares a las emisiones obtenidas por las boñigas control (Fig. 2). Por lo tanto, es evidente que el efecto de la colonización por parte de la depauperada comunidad coprófaga no fue suficiente para disminuir al menos las emisiones de metano que en condiciones normales debería haberse visto disminuida por la acción de este grupo de insectos tal y como se ha podido comprobar en otros lugares estudiados (Verdú *et al.* 2020).

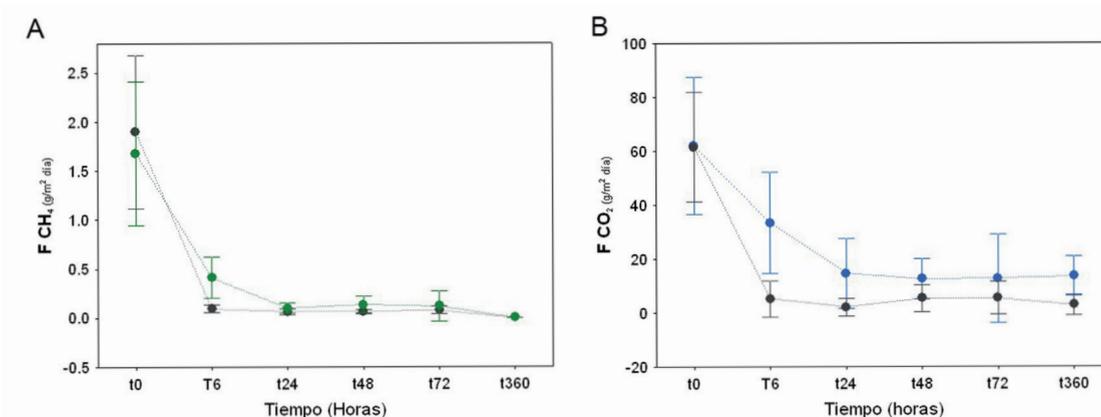


Figura 2. Emisión de gases de efecto invernadero por excrementos del ganado en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. A) Emisión de metano (puntos verdes); B) Emisión de dióxido de carbono (puntos azules). En negro aparecen las emisiones de los excrementos control.

Teniendo en cuenta las emisiones totales de metano y dióxido de carbono de los excrementos expuestos a la colonización y degradación del mismo por parte de la comunidad coprófaga podemos considerar que en el área estudiada las emisiones fueron notablemente elevadas dada la situación actual de empobrecimiento y pérdida de biodiversidad que presenta el Parque Nacional. Si comparamos estas emisiones con las observadas en otras áreas geográficas el resultado es preocupante, siendo en estos momentos uno de los lugares donde hemos cuantificado mayores emisiones de ambos gases de efecto invernadero, incluso en algunas partes del PN de Picos de Europa como la zona entre Sotres y Tresviso que presenta una comunidad coprófaga prácticamente similar en composición de especies y condiciones ambientales muy parecidas (Fig. 3).

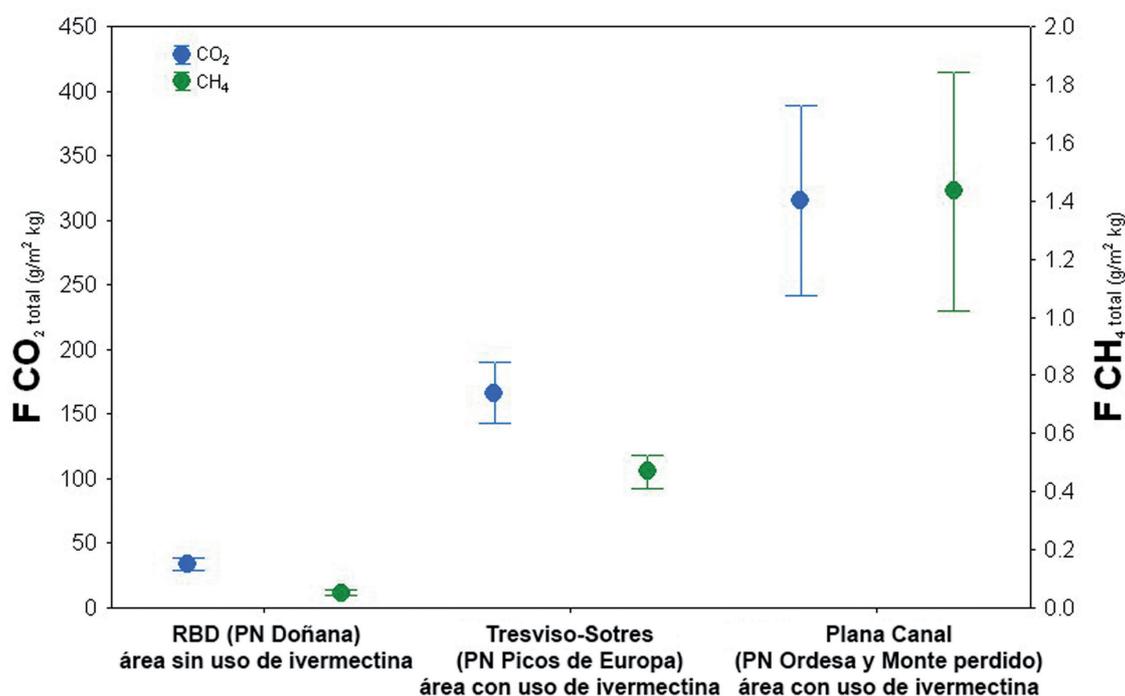


Figura 3. Emisión total de metano y dióxido de carbono en excrementos de ganado en diversas áreas geográficas.

En conclusión, la situación actual de la diversidad de escarabeidos coprófagos así como de los procesos ecosistémicos que desempeñan en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido es preocupante. El descenso de las poblaciones debido al efecto tóxico de los residuos de los antiparasitarios del ganado era evidente incluso antes de hacer los estudios, observando la gran cantidad de excrementos momificados así como la observación *in situ* de numerosos individuos de diversas especies muertos en los excrementos del ganado que había sido tratado recientemente. Estas observaciones realizadas *a priori* fueron corroboradas mediante experimentos de campo cuyos resultados evidencian la necesidad de tomar medidas urgentes en la gestión sanitaria del ganado dentro del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Futuros estudios sobre nuevos protocolos de saneamiento del ganado, en tiempo y espacio, así como el uso de antiparasitarios alternativos no tóxicos para la fauna coprófaga deben ser considerados de manera urgente con el fin de evitar que esta pérdida de biodiversidad siga produciéndose y en medida de lo posible revertir la situación recuperando las poblaciones de insectos que hace tan solo 30 años mantenían la salud de los pastizales de montaña en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

4. Referencias

- BORNEMISSZA, G.F. y WILLIAMS, C.H. (1970), "An effect of dung beetle activity on plant yield". *Pedobiologia* 10: 1-7.
- BOXALL, A. (2019), "Contamination From the Agricultural Use of Growth Promoters and Medicines". *Encyclopedia of the Anthropocene* 5: 257-262.
- MENÉNDEZ MARTÍNEZ, M.R., WEBB, P. y ORWIN, K.H. (2016), "Complementarity of dung beetle species with different functional behaviours influence dung-soil carbon cycling". *Soil Biology and Biochemistry* 92: 142-148.
- MILOTI, T., BALTZINGER, C., EICHBERG, C. *et al.* (2019). "Functionally richer communities improve ecosystem functioning: Dung removal and secondary seed dispersal by dung beetles in the Western Palearctic". *Journal of Biogeography* 46: 70-82.
- ROSA GARCÍA, R. y FRASER, M.D. (2019). "Impact of management on foliage-dwelling arthropods and dynamics within permanent pastures". *Scientific Reports* 9: 11090.
- PENTTILÄ, A., SLADE, E.M., SIMOJOKI, A., RIUTTA, T., MINKKINEN, K. y ROSLIN, T. (2013). "Quantifying Beetle-Mediated Effects on Gas Fluxes from Dung Pats". *PLoS ONE* 8(8): e71454.
- SÁNCHEZ-BAYO, F. y WYCKHUYS, K.A.G. (2019). "Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers". *Biological Conservation* 232: 8-27.
- VERDÚ, J.R., CORTEZ, V., ORTIZ, A.J., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, E., MARTINEZ-PINNA, J., LUMARET, J.P., LOBO, J.M., NUMA, C. y SÁNCHEZ-PIÑERO, F. (2015). "Low doses of ivermectin cause sensory and locomotor disorders in dung beetles". *Scientific Reports* 5: 13912.
- VERDÚ, J.R., LOBO, J.M., SÁNCHEZ-PIÑERO, F., GALLEGO, B., NUMA, C., LUMARET, J.P., CORTEZ, V., ORTIZ, A.J., TONELLI, M., GARCÍA-TEBA, J.P., REY, A., RODRÍGUEZ, A. y DURÁN, J. (2018). "Ivermectin residues disrupt dung beetle diversity, soil properties and ecosystem functioning: an interdisciplinary field study". *Science of the Total Environment* 618: 219-228.
- VERDÚ, J.R., SÁNCHEZ-PIÑERO, F., LOBO, J.M. y CORTEZ, V. (2019). "Evaluating long-term ivermectin use and the role of dung beetles in reducing short-term CH₄ and CO₂ emissions from livestock faeces: a mesocosm design under Mediterranean conditions". *Ecological Entomology* DOI: 10.1111/een.12777.
- VERDÚ, J.R., CORTEZ, V., ORTIZ, A.J., LUMARET, J.P., LOBO, J.M. y SÁNCHEZ-PIÑERO, F. (2020). "Biomagnification and body distribution of ivermectin in dung beetles". *Scientific Reports* 10: 9073
- WAGNER, D.L. (2019). "Trends in Biodiversity: Insects". *Encyclopedia of the Anthropocene* 3: 131-143.

7. Polvo sahariano en el PNOMP: estudiando el presente para conocer el pasado



J. Pey

Fundación Aragonesa para la Investigación y el Desarrollo
Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC

B. L. Valero-Garcés

Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC

P. Salvador

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

M. Galofré

Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC

I. de la Parra

Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC

K. Jungkeit

Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC

M.P. Mata

Geological Survey of Spain-CSIC

B. Oliva

Autonomous University of Madrid

J. Santos

Universidad de León

R.B. González

Universidad de León

J.C. Larrasoña

Geological Survey of Spain-CSIC

J. Reyes⁴

Geological Survey of Spain-CSIC



Resumen: El polvo sahariano que se emite a la atmósfera en diversas zonas del Norte de África viaja a lo largo del planeta, y acaba formando parte, nuevamente, del registro geológico. La atmósfera de los países del Sur de Europa se ve frecuentemente afectada por la irrupción de polvo sahariano, siendo España uno de los países europeos más frecuentemente impactados por este fenómeno. El estudio del polvo sahariano se justifica por la afección a la salud de la población, sus impactos en el sistema climático terrestre y las afecciones diversas a los ecosistemas terrestres y acuáticos. Estudiar este fenómeno en el presente es crucial, y reconstruirlo a lo largo de la historia geológica más reciente nos va a proveer de información clave para entender cómo ha sido su fenomenología en el pasado. Nuestra investigación muestra que el fenómeno de transporte de polvo sahariano sobre España está en una tendencia creciente, al menos desde 1948. El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido nos ofrece la posibilidad de monitorizar el polvo sahariano en la actualidad, y además aunar presente y pasado nos debería situar en una posición ventajosa para afrontar algunos de los embates que el Cambio Global nos tiene preparados.

Palabras clave: Aerosoles, clima, ecosistemas, geología, registros sedimentarios, salud.

1. Introducción

A diario, los vientos que atraviesan el corredor Sáhara-Sahel desplazan miles de toneladas de polvo mineral alrededor del mundo. En aquellas zonas que actúan como áreas fuente los suelos se van perdiendo y se empobrecen cada vez más. Sin embargo, en otras zonas la llegada del polvo sahariano es fuente de vida. España se sitúa justo enfrente de la región del planeta que emite mayor cantidad de partículas de origen mineral a la atmósfera. Teniendo en cuenta que la superficie de nuestro planeta está cubierta al 80% por océanos y mares, y son responsables del 60% del total de partículas atmosféricas en forma de sales (principalmente cloruro sódico, NaCl), mientras que el 30% de las partículas en suspensión de toda la atmósfera de la Tierra son de origen mineral (Gieré y Querol, 2010) y más de la mitad de las mismas se emiten frente a nosotros (Shao et al., 2011), en el corredor Sáhara-Sahel (Figura 1), podemos hacernos a la idea de la magnitud de la fuente de aerosoles que tenemos frente a nuestro país. Por suerte para nosotros, casi todo el polvo sahariano que se emite en el Norte de África acaba depositándose en el océano Atlántico y en el continente americano (Shao et al., 2011). Y esto se debe a que, principalmente, la circulación general de la atmósfera envía de forma casi permanente el aire desde el Norte de África en dirección Suroeste, es decir, rumbo a Centro y Suramérica (Figura 1). Pero esta es la pauta general, que obviamente se quiebra de vez en cuando, y veremos si acaba quebrándose con mucha mayor frecuencia en el futuro. Vemos, por tanto, que la

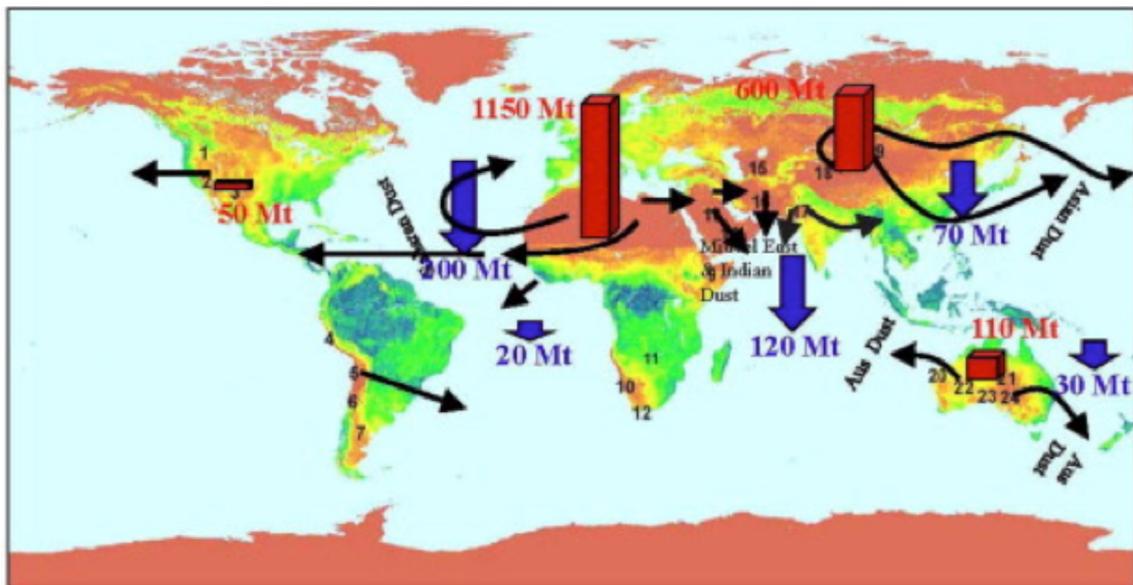


Figura 1. Emisiones de polvo mineral a nivel global (barras rojas), rutas de transporte preferentes (flechas negras) y estimaciones de su deposición en los océanos (flechas azules) (Shao et al., 2011).

Mt: millones de toneladas. Se recomienda consultar la versión digital.

presencia de polvo sahariano y su deposición son mucho más habituales de lo que a priori podríamos pensar. Una de las preguntas que nos hacemos, no obstante, en relación a la intensidad de estos fenómenos es: ¿están siendo cada vez más intensos? ¿Qué podemos esperar de cara a las próximas décadas?

En España, la deposición de polvo sahariano acontece de manera episódica, a veces en grandes cantidades. Los últimos ejemplos de este fenómeno extremo se produjeron en febrero y marzo de 2021 y fueron noticia durante varias semanas en los medios de comunicación. Para muchos ciudadanos parecía un fenómeno nuevo; sin embargo, la presencia de polvo mineral de origen africano es relativamente frecuente en la península ibérica: entre un 10-35% de los días del año (Pey et al., 2013). Más allá de lo anecdótico del fenómeno en sí, la deposición de grandes cantidades de polvo mineral puede acelerar la fusión de las masas de nieve y hielo (Painter et al., 2007, 2010; Qu et al., 2014); nutre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Lenes et al. 2001; Mahowald et al., 2009; Yu et al., 2015), al contener cantidades significativas de hierro y fósforo; y acaba formando parte del registro sedimentario en las zonas proclives a su preservación en ambientes marinos (López-González et al., 2019) y continentales (Bacardit y Camarero 2009, 2010a,b). Además, ha de considerarse que junto con las plumas de polvo sahariano viajan ciertos “mensajeros” que nos suministran información sobre el origen y/o zona de tránsito de esas plumas de polvo (Morales-Baquero et al., 2013; Scheuven et al., 2013). Por ejemplo, las relaciones isotópicas de Sr y Pb se han

relacionado con distintas áreas fuente en África (Han et al., 2018) y la presencia de isótopos radiactivos de ^{137}Cs en algunas plumas de polvo sahariano se relacionan con pruebas nucleares que realizó Francia en el Sáhara argelino en los años 60 del siglo pasado (Menut et al., 2009), y por tanto su detección nos permite discriminar en parte el origen de aquellas partículas. También proporcionan datos sobre el área fuente la presencia de microorganismos específicos como diatomeas del género *Aulacoseira* (Moreno et al., 2006).

Los PPNN albergan ecosistemas únicos que, en demasiados casos, están en una situación de vulnerabilidad, amenazados por la presión humana creciente, por el cambio en el clima o por las diferentes formas de contaminación. La caracterización de los aportes atmosféricos, la identificación de las fuentes que los originan y la evaluación de algunos de los efectos potenciales merecen nuestra atención en esta propuesta. Nuestros PPNN son entornos dinámicos que están en continua evolución y responden a mayor o menor velocidad a los diferentes cambios ambientales a los que se enfrentan. Los cambios geoquímicos de la atmósfera se están produciendo, y en algunos casos lo están haciendo a gran velocidad. El seguimiento a largo plazo nos permitirá entender cómo afecta el cambio climático al transporte de contaminantes naturales (como por ejemplo el polvo sahariano). Además, la disminución de contaminantes de origen antrópico como consecuencia de la descarbonización y transición energética de nuestra sociedad está alterando los ciclos biogeoquímicos de algunas sustancias, especialmente nitratos y sulfatos (Ávila et al., 2020). Los resultados en red que hemos generado en el contexto del proyecto DONAIRE (Pey et al., 2020 a,b) ponen de relieve la existencia de zonas preferenciales para la deposición de polvo sahariano, que se magnifica en algunos sistemas montañosos durante ciertos eventos meteorológicos (Figura 1). Los episodios de polvo sahariano de febrero y marzo de 2021 han puesto de manifiesto que la magnitud del fenómeno puede ser extraordinaria, y la variabilidad espacial de los aportes atmosféricos muy dispar. Hemos medido concentraciones depositadas de polvo sahariano próximas a los 40 g/m^2 en la zona de los Pirineos, con zonas relativamente próximas que registraron concentraciones 10 veces inferiores. Estos eventos sin duda van a tener consecuencias directas a corto y medio plazo, por ejemplo acelerando la fusión de la nieve y de los pocos glaciares que resisten los embates del Cambio Global, pero también suministrando toneladas de nutrientes a los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Además, dado que las zonas remotas son consideradas como las “centinelas” del planeta, el programa de monitorización a largo plazo que estamos implementando en varios de los PPNN, incluido el PNOMP nos ayudará a realizar el seguimiento de los flujos de nutrientes y contaminantes, además de poder evaluar la repercusión derivada de la implementación

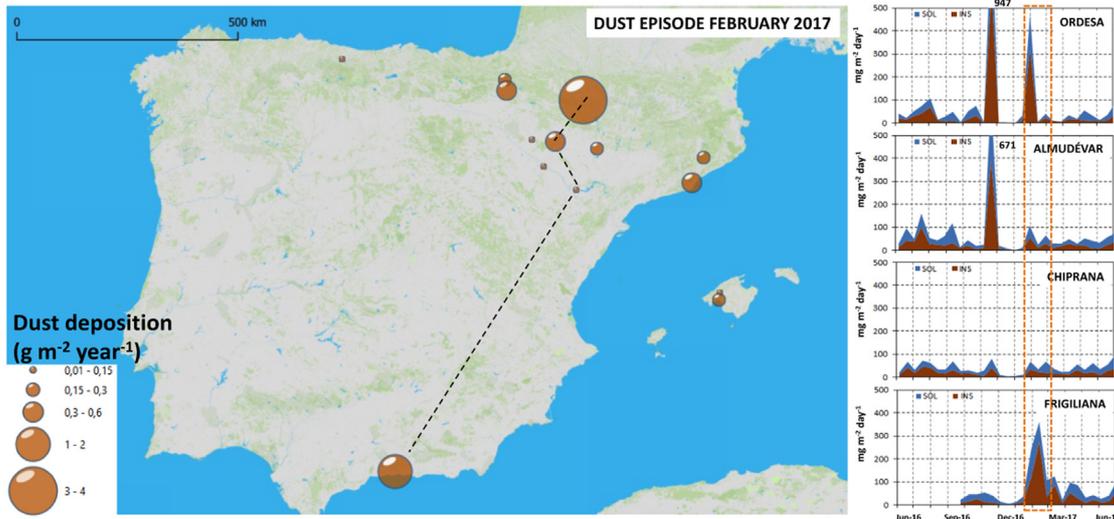


Figura 2. Polvo sahariano depositado durante un evento acontecido en Febrero de 2017. Véase la magnificación del mismo en la zona del Pirineo Central. (Pey et al., 2020a).

de medidas de mitigación de la contaminación a escala regional y suprarregional; o poder estudiar el impacto de eventos singulares o aerosoles emergentes (fugas industriales, accidentes nucleares, incendios forestales extensos, erupciones volcánicas, etc).

Desde un punto de vista más aplicado, y centrados en el PNOMP, nuestras actuaciones pueden servir para:

- Conocer la magnitud y composición química de las transferencias de aerosoles atmosféricos a entornos sedimentarios actuales altamente sensibles, como son los lagos de alta montaña. Se podrá así, cuantificar los flujos de nutrientes (Fe, N, P) aportados por deposición atmosférica para poder evaluar sus impactos en la dinámica sedimentaria y la biota.
- Reconstruir la intensidad y el impacto de la deposición atmosférica en el pasado en los ibones del PNOMP.
- Cuantificar el impacto del polvo atmosférico en la fusión de la nieve y los glaciares y la estacionalidad de la escorrentía asociada.

En este trabajo combinamos parte de la investigación precedente de dos proyectos de investigación que lideramos en la actualidad. El proyecto de investigación POSAHPI pretende reconstruir la historia de las oleadas de polvo sahariano que han llegado a la península ibérica y las islas Baleares durante el periodo Holoceno (últimos 11.700 años). Pretendemos averiguar qué ha ocurrido en los diferentes momentos cálidos y fríos de esta etapa reciente

para poder vaticinar qué ocurrirá en los próximos años, dado que estamos inmersos en un contexto de Cambio Global en el que muchas de las piezas del puzle climático se están moviendo hacia posiciones que desconocemos, con consecuencias difíciles de predecir. Por otra parte, el proyecto ASAH-AS pretende conocer en detalle la fenomenología, composición química, y las fuentes de aerosoles que controlan la deposición atmosférica en cuatro Parques Nacionales de España, prestando un énfasis especial al aerosol sahariano. En ASAH-AS se pretenden estudiar algunas de las conexiones entre el sistema atmosférico y otros sistemas del planeta: comunidades liquénicas, magnitud de los aportes atmosféricos en el cómputo sedimentario de las zonas lacustres, o impacto en la fusión nival.

2. Metodología

Para cumplir los objetivos que nos proponemos en este trabajo integramos tres tipos de aproximaciones metodológicas diferentes: una de monitorización de la deposición de aerosoles en la actualidad con sus correspondientes análisis químicos completos; otra basada en el análisis meteorológico desde 1948 hasta 2020; y una tercera basada en el análisis de sondeos lacustres a través de los cuales reconstruir la historia climática, sedimentaria y de aportes atmosféricos de las cuencas en las que han sido tomados.

2.1. Monitorización de la deposición atmosférica en el PNOMP

Monitorización mensual de la deposición atmosférica. Desde 2016 se está realizando la toma de muestras de aerosoles depositados en el antiguo parador del PNOMP, en el municipio de Torla (Huesca). El colector de deposición, de fabricación propia, consta de tres elementos principales: una superficie de captación tipo embudo, con un diámetro de 26 cm; un tanque opaco de almacenamiento donde se emplaza un bidón de 10 L de capacidad; y un tubo de silicona interconectando embudo y bidón. Las pérdidas de muestra por evaporación son mínimas tal y como ha demostrado la operatividad de la red DONAIRE desde el año 2016 (Pey *et al.*, 2020a). La superficie de captación se localizará siempre a una elevación mínima de 2 metros con respecto al suelo para minimizar la influencia de la resuspensión local.

Todas las muestras se toman en las mismas condiciones, y en la medida de lo posible, en las mismas fechas (entre los dos últimos días de cada mes y los dos primeros del mes siguiente) con el objetivo de afianzar un programa de monitorización regular. El

contenedor de 10L se sustituye por uno limpio, y la muestra recogida se lleva a una nevera para ser almacenada a 4°C hasta la fase posterior.

Laboratorio de muestras atmosféricas

Las muestras mensuales obtenidas se gestionan en los laboratorios del Instituto Pirenaico de Ecología. Se cuantifican los volúmenes y se procede al filtrado de las mismas sobre filtros de fibra de cuarzo de 47 mm utilizando para ello una rampa de filtración. Se obtienen al menos 2 filtros con el material insoluble de cada una de las muestras. Previa y posteriormente al muestreo los filtros son tarados en una microbalanza de precisión (0,0001 mg). Teniendo en cuenta la masa determinada en los filtros, el tiempo de integración y la superficie de captación se calcula el flujo de deposición atmosférica de partículas insolubles (en masa superficie⁻¹ mes⁻¹). En la fracción soluble se determinan las concentraciones de aniones (entre ellos nitratos y fosfatos) y cationes en disolución (en los laboratorios del IPE-CSIC), y diferentes metales pesados, incluyendo el hierro soluble (en los laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España, en Tres Cantos). La suma de las concentraciones de dichos componentes resulta en el flujo de deposición de la fracción soluble. La deposición atmosférica total será el resultado de la deposición de componentes solubles y componentes insolubles. Con estas determinaciones, además, obtenemos los flujos de nutrientes (compuestos de nitrógeno, fósforo, hierro y azufre).

$\frac{3}{4}$ de uno de los filtros de cada muestra mensual se destina a la determinación de elementos mayoritarios y traza por ICP-AES e ICP-MS, previa digestión en medio ácido (HNO₃:HF:HClO₄) siguiendo el protocolo analítico consolidado que aparece descrito en Querol *et al.* (2007). Este proceso se realiza en los laboratorios del IGME. A partir de estos resultados tenemos información fundamental para evaluar la incidencia de diferentes fuentes de polución atmosférica: elementos traza como Cu o Sb indicarán con gran probabilidad la influencia del tráfico rodado (Amato *et al.*, 2009); V y Ni, y el ratio entre estos dos elementos (V/Ni entre 2.5 y 3.5 es indicativo de combustión de fuel-oil) informarán acerca del impacto del tráfico marítimo (Pandolfi *et al.*, 2011); Pb, Zn, As, Se, Cr podrán ser indicativos de fuentes diversas (Querol *et al.*, 2007) como industrias, combustión de carbón, etc, que tendrán que evaluarse en cada emplazamiento y/o para cada periodo de muestreo; Al, Ti, Ca, Fe, Sr, Rb, etc serán los trazadores que reflejarán la contribución mineral (a partir del estudio de ratios entre ellos se intentará discriminar entre fuentes potenciales, tanto endógenas como exógenas). Por otra parte, una sección del filtro restante se destina a la determinación de carbono orgánico (OC), cuyas fuentes son muy diversas, y carbono elemental (EC), que principalmente se relaciona con procesos de combustión tanto de biomasa como de combustibles fósiles. Estos dos componentes se

determinan gracias a un analizador termo-óptico SUNSET, instrumento que se encuentra en el Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (CSIC) en Barcelona. Con la suma de todas estas determinaciones conseguiremos reconstruir la práctica totalidad de la masa de partículas captada.

Estudio de las fuentes de aerosoles depositados

A partir de los resultados geoquímicos, tanto de filtros como de alícuotas, se realiza el análisis de contribución de fuentes usando el modelo PMF 5.0 (Positive Matrix Factorization) de la US-EPA (United States Environmental Protection Agency). Ello permite identificar asociaciones geoquímicas diversas que se atribuyen a fuentes de emisión o a mezclas de fuentes cuando no es posible separar algunas de ellas. El modelo receptor PMF (Paatero y Tapper, 1994) es una de las técnicas más usadas para la identificación de las fuentes de emisión a partir de una base de datos geoquímicos con un número elevado de variables geoquímicas (generalmente entre 15-40) y un número también elevado de casos-muestras. Para la ejecución del modelo son necesarias tanto las concentraciones de las diferentes especies geoquímicas como sus incertidumbres asociadas. Este tipo de tratamiento estadístico de los datos permite averiguar las fuentes principales y sus contribuciones absolutas a los flujos de deposición atmosférica.

2.2. Análisis meteorológico 1948-2020 de escenarios de transporte de polvo hasta el PNOMP

Una de las incertidumbres asociadas al escenario de Cambio Global actual está relacionada con la previsible mayor frecuencia de eventos extremos, entre los que pueden incluirse las oleadas de polvo sahariano (que en muchos casos están unidos a olas de calor). En este proyecto planteamos realizar un análisis de series temporales de variables meteorológicas disponibles desde 1948 hasta la actualidad, con el objetivo de evaluar la evolución a lo largo de los últimos 70 años de los principales factores sinópticos causantes de estos eventos en la península ibérica. Para ello nos centraremos en algunos parámetros termodinámicos que se obtienen a partir de los datos medios diarios de temperatura y altura geopotencial de la base de campos globales de variables meteorológicas de re-análisis de NCEP/NCAR. Para cada día se obtendrán los valores medios de espesor de geopotencial en el estrato 1000-500 hPa, temperatura potencial media entre 925 y 700 hPa, y anomalías de temperatura en el nivel de 850 hPa respecto del periodo climatológico 1981-2010.

Estudios previos (Sousa et al., 2019) han identificado intrusiones de aire africano (y olas de calor en verano en zonas de la Península) con valores elevados de estos parámetros, ya que indican la presencia de masas de aire cálidas, estables y secas. Es decir, con un origen probable en zonas desérticas del norte de África. Además analizaremos los campos de re-análisis de NCEP/NCAR de altura geopotencial en el nivel de 850 hPa, para identificar todos los días desde 1948 en que se produjeron patrones conocidos de circulación atmosférica, que dan lugar al transporte de masas de aire desde el Norte de África hasta el sector occidental de la cuenca mediterránea (Salvador et al., 2014). A continuación se aplicarán técnicas de análisis estadístico para evaluar la existencia de tendencias estadísticamente significativas en relación con las condiciones dinámicas (patrones de circulación) y termodinámicas que a escala sinóptica favorecen las intrusiones de polvo africano. Los resultados así obtenidos nos permitirán conocer en qué tipo de escenario nos encontramos (estable, creciente, decreciente) en relación con el desarrollo de estos eventos. Relacionaremos lo que acontezca durante el periodo activo del proyecto con respecto a lo acontecido en los últimos 70 años.

2.3. Estudio en sondeos sedimentarios en lagos del PNOMP

Sondeos sedimentarios han sido recuperados de los ibones de Marboré y Arrablo con un sondeador Uwitec y analizados siguiendo las metodologías descritas en Leunda et al. (2017) y Oliva-Urcía et al. (2018). En el caso de Arrablo, durante la campaña de trabajo de campo llevada a cabo en octubre de 2021 se realizó una batimetría con una sonda de profundidad GARMIN Echomap UHD. Se obtuvieron seis sondeos de sedimentos en las dos cubetas más profundas mediante un sondeador de gravedad UWITEC. El espesor máximo de sedimentos recuperado fue de 22 cm. El sondeo ARB-21-1B fue seleccionado para realizar análisis composicionales y magnéticos en el CoreLab de la Universidad de Barcelona. Estos incluyeron fotografía de alta resolución, susceptibilidad magnética en sondeo cerrado y abierto con un GEOTEK y medidas con un scanner de Fluorescencia de Rayos X a intervalos de 5 mm que permiten mediciones semi-cuantitativas del contenido del sedimento en varios elementos. En el caso del sondeo de Marboré se seleccionaron muestras discretas para analizarse con ICP-OES.

3. Resultados

3.1. Flujos de deposición insoluble, fuentes de aerosoles y su relación con las oleadas de polvo sahariano en el PNOMP

La serie de datos de la que disponemos comienza en junio de 2016, y muestra una variabilidad importante en las concentraciones de partículas insolubles depositadas. Para esta sección hemos normalizado los flujos de deposición episódicos por el número de días de cada periodo de muestreo, obteniendo así el flujo de deposición en $\text{mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (Figura 3). Lo más destacable es la baja carga de partículas depositadas durante los meses invernales (diciembre y enero), siempre por debajo de $5 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, que contrasta con intensos picos de deposición en meses de noviembre o febrero, siempre asociados a lluvias o nevadas de barro, que han llegado a superar los $400\text{-}500 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, que suponen en el cómputo anual entre $4,5$ y $11,9 \text{ g m}^{-2}$ de partículas insolubles. A veces los episodios de deposición de polvo sahariano de gran intensidad se observan en primavera (abril 2018), que en varias horas depositó hasta $10,6 \text{ g m}^{-2}$ de partículas insolubles. En general la concentración de partículas insolubles depositadas es mayor durante los meses cálidos, aunque durante estos periodos no se observan eventos extremos como los que acontecen en otros periodos. Estos resultados contrastan con la frecuencia de los eventos de polvo sahariano en la zona del PNOMP, que es claramente mayor durante el periodo estival. Sin embargo, los episodios de verano están pobremente asociados a eventos de precipitación,

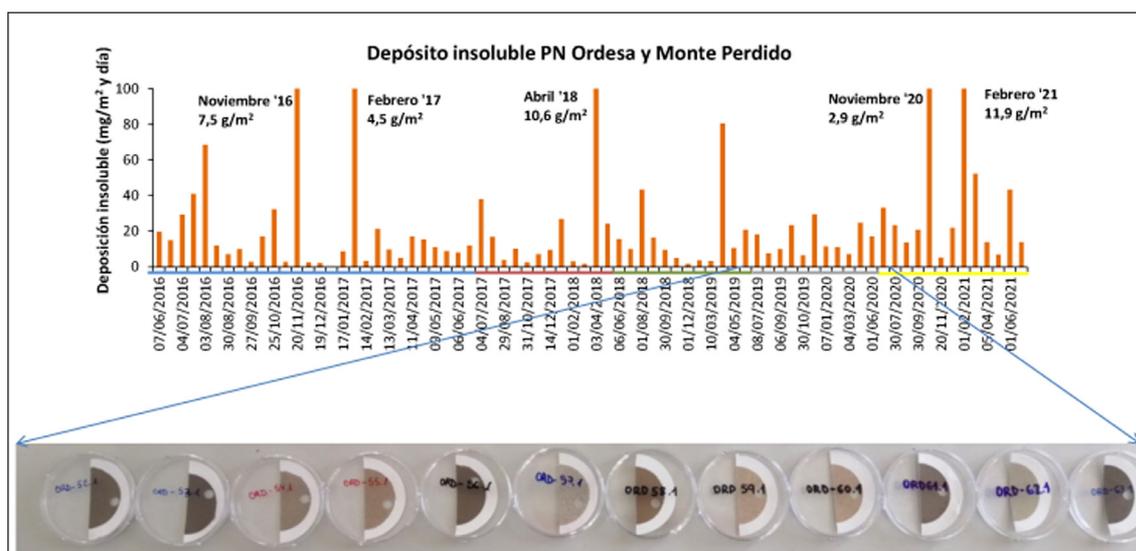


Figura 3. Flujos de deposición de partículas insolubles ($\text{mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) registrados en el PNOMP entre junio de 2016 y junio de 2021.

mientras que los escasos episodios que acontecen fuera del verano son mucho más intensos y vienen acompañados de precipitación.

Uno de los aspectos más interesantes del estudio de los aerosoles atmosféricos es conocer su origen. Para este trabajo hemos seleccionado únicamente las muestras que, entre 2016 y 2018 (3 años de monitorización), han estado afectadas en mayor o menor medida por deposición de polvo sahariano. Con ellas hemos corrido el modelo PMF v5.0 y hemos obtenido una serie de factores que hemos interpretado como fuentes de aerosoles. En conjunto obtuvimos una solución óptima con 10 fuentes, de entre ellas 2 de tipo industrial, una de tráfico de vehículos, una de aerosoles marinos, una de contaminación regional, una de combustión de fuel-oil, una de polvo regional, y 3 fuentes distintas dentro del polvo sahariano, una de ellas con cierto grado de contaminación antrópica en su composición (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química de cada uno de los factores/fuentes obtenidos (en $\mu\text{g/g}$).

| | AF-1 | AF-2 | RE-DU | MAR | TRA | REG-POL | HO_CO | IND-1 | IND-2 | AF-3 |
|--------|--------|--------|--------|--------|------|---------|-------|-------|-------|-------|
| PM | 320990 | 166680 | 226910 | 140740 | 5268 | 77506 | 36239 | 35963 | 46647 | 58869 |
| Al (s) | 0,00 | 38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,7 | 1,5 | 20 | 9,3 | 300 |
| Al (i) | 20234 | 25382 | 1994 | 575 | 164 | 209 | 1141 | 2326 | 19 | 2364 |
| Fe (s) | 6,8 | 0,00 | 0,00 | 1,8 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,2 | 2,8 |
| Fe (i) | 12319 | 14297 | 1054 | 375 | 848 | 395 | 470 | 1109 | 9,2 | 1008 |
| Na (s) | 0,00 | 4645 | 271 | 33947 | 1220 | 4506 | 0,00 | 3107 | 3708 | 501 |
| Na (i) | 1248 | 911 | 94 | 39 | 99 | 35 | 70 | 58 | 15 | 28 |
| K (s) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 425 | 541 | 4526 | 0,00 | 0,00 | 108 | 2648 |
| K (i) | 4183 | 6469 | 612 | 15 | 107 | 0,00 | 195 | 551 | 39 | 884 |
| Ca (s) | 44023 | 0,00 | 60313 | 6386 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7481 |
| Ca (i) | 4824 | 1323 | 333 | 154 | 1527 | 255 | 149 | 146 | 75 | 187 |
| Mg (s) | 6502 | 0,00 | 0,00 | 913 | 0,00 | 0,00 | 23863 | 848 | 0,00 | 1301 |
| Mg (i) | 5549 | 4579 | 269 | 185 | 542 | 139 | 139 | 403 | 0,00 | 387 |
| Cl- | 545 | 6644 | 0,00 | 50706 | 1427 | 3757 | 451 | 4417 | 5282 | 0,00 |
| SO42- | 8378 | 0,00 | 12299 | 7572 | 0,00 | 13947 | 2520 | 5180 | 0,00 | 0,00 |
| NO3- | 0,00 | 8743 | 18035 | 0,00 | 98 | 26981 | 1691 | 8228 | 0,00 | 0,00 |
| NH4+ | 14 | 27 | 12 | 77 | 105 | 38 | 0,00 | 9 | 159 | 5 |

| | AF-1 | AF-2 | RE-DU | MAR | TRA | REG-POL | HO_CO | IND-1 | IND-2 | AF-3 |
|--------|------|------|-------|------|------|---------|-------|-------|-------|------|
| PO43- | 67 | 0,00 | 0,00 | 36 | 158 | 207 | 1,8 | 9 | 119 | 0,00 |
| Ag (i) | 0,04 | 0,15 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| As (s) | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,21 | 0,12 | 0,08 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| As (i) | 2,3 | 4,1 | 0,54 | 0,02 | 0,05 | 0,12 | 0,02 | 0,32 | 0,11 | 0,32 |
| Ba (s) | 18 | 14 | 38 | 7,1 | 20 | 17 | 22 | 8,8 | 13 | 14 |
| Ba (i) | 143 | 144 | 14 | 1,5 | 15 | 1,3 | 5,1 | 14 | 0,00 | 12 |
| Cd (i) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Co (i) | 0,00 | 5,2 | 0,00 | 0,03 | 0,65 | 0,44 | 0,37 | 0,00 | 0,02 | 0,81 |
| Cr (s) | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,00 |
| Cr (i) | 23 | 30 | 1,99 | 0,00 | 7,1 | 1,1 | 1,2 | 3,3 | 0,17 | 2,9 |
| Cu (s) | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,00 | 5,8 | 15 | 0,00 | 0,14 | 13 | 6,6 |
| Cu (i) | 15 | 9,6 | 0,00 | 0,67 | 36 | 4,7 | 6,1 | 0,79 | 1,3 | 3,8 |
| Mn (s) | 0,48 | 1,6 | 0,03 | 2,2 | 0,00 | 1,0 | 0,75 | 0,21 | 81 | 0,00 |
| Mn (i) | 364 | 32 | 96 | 0,00 | 16 | 14 | 25 | 13 | 6,5 | 0,00 |
| Ni (i) | 14 | 18 | 1,5 | 0,00 | 2,9 | 0,36 | 1,2 | 3,0 | 0,11 | 0,31 |
| Pb (s) | 0,05 | 0,05 | 0,00 | 0,05 | 0,15 | 0,19 | 0,04 | 0,02 | 0,09 | 0,00 |
| Pb (i) | 10 | 19 | 5,4 | 0,86 | 11 | 1,6 | 1,6 | 2,2 | 3,9 | 1,0 |
| Sb (s) | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,55 | 0,05 | 2,0 | 0,00 | 0,04 | 0,00 |
| Sb (i) | 0,44 | 0,27 | 0,11 | 0,00 | 2,5 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,10 | 0,00 |
| Tl (s) | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,12 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| V (s) | 1,9 | 0,85 | 4,0 | 0,00 | 0,22 | 0,60 | 3,0 | 3,6 | 0,63 | 0,25 |
| V (i) | 29 | 38 | 1,3 | 0,49 | 1,3 | 0,76 | 1,2 | 3,6 | 0,01 | 3,5 |
| Zn (s) | 8,8 | 0,00 | 0,00 | 15 | 21 | 0,00 | 0,00 | 354 | 156 | 0,00 |
| Zn (i) | 129 | 114 | 2,4 | 6,9 | 72 | 13 | 0,00 | 52 | 7,7 | 18 |
| Be (i) | 0,60 | 0,48 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Se (i) | 0,17 | 0,05 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Sr (i) | 37 | 30 | 4,5 | 0,88 | 3,3 | 0,00 | 1,6 | 3,1 | 0,22 | 1,9 |
| Th (i) | 2,6 | 4,3 | 0,50 | 0,09 | 0,00 | 0,04 | 0,11 | 0,30 | 0,00 | 0,00 |
| Ti (i) | 529 | 1140 | 31 | 18 | 112 | 108 | 0,00 | 0,00 | 34 | 70 |
| U (i) | 0,33 | 0,82 | 0,23 | 0,01 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,01 | 0,04 |

Con los diferentes factores obtenidos y tras realizar la regresión multilinear con respecto a la masa de partículas depositadas obtuvimos sus contribuciones para cada una de las muestras afectadas por el polvo sahariano. Lo que puede observarse en la Figura 4 es que los grandes eventos de deposición de polvo sahariano del periodo 2016-2018 (nov 16, feb 17 y abr 18) están dominados claramente por alguna de las 3 fuentes de polvo sahariano identificadas (entre el 55 y el 85%). Mientras que los episodios de noviembre y febrero están claramente condicionados por la fuente 1 (originada sobre todo en la zona del Sáhara occidental y Marruecos), mientras que el episodio de abril de 2018 corresponde a masas de polvo sahariano procedentes de Libia, que están acompañadas por una carga de contaminación de origen antrópico significativa. Vemos también en esta Figura 4 que el polvo sahariano en el resto de muestras que no han sido afectadas por un evento extremo aparece como una fuente más, cuya contribución no supera el 15 o el 20% del total de partículas registradas en ese periodo.

Con estos resultados obtenemos una información muy valiosa de cara a las etapas posteriores que se desarrollan en este trabajo y que se abordarán en los proyectos PO-SAHPI y ASAH-AS. Hay fuentes de polvo sahariano que dominan sobre otras, y de todas ellas podemos extraer las diferentes relaciones elementales (de la Tabla 1), que serán las que utilizaremos para buscar, a través de la geoquímica, el polvo sahariano atrapado en los registros sedimentarios.

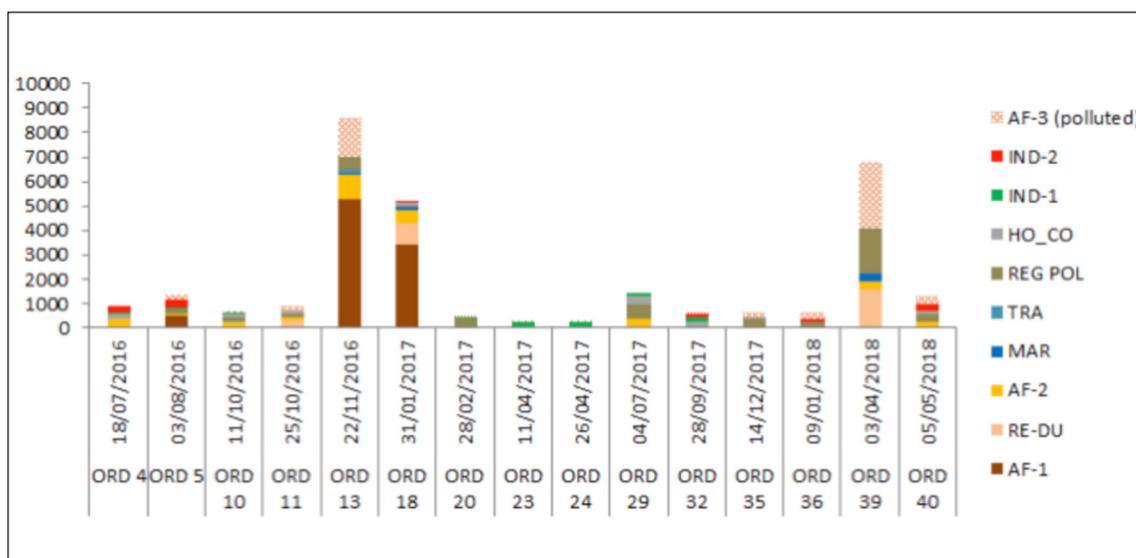


Figura 4. Contribución de las diferentes fuentes de aerosoles identificadas en las muestras con impacto del polvo sahariano ($\text{mg m}^{-2} \text{mes}^{-1}$) registrados en el PNOMP entre junio de 2016 y junio de 2018.

3.2. Tendencias en el transporte de polvo sahariano 1948-2020

Se obtuvieron los campos diarios de altura geopotencial en el nivel de 850 hPa a las 12 UTC para el periodo 1948-2020 de la base de datos de reanálisis de NCEP/NCAR. Se compararon con los patrones de circulación más característicos que han generado intrusioniones de polvo africano en los distintos sectores peninsulares en el periodo 2001-2019, periodo durante el cual existe un estudio exhaustivo de este fenómeno enfocado en valorar el impacto que causa en los niveles de fondo regional de concentración de PM10 en superficie. Finalmente se obtuvieron 6 patrones diferentes (Figura 5A), muy similares a las obtenidas en los estudios previos aunque con pequeñas diferencias entre ellos en algunos casos, y 5 patrones de circulación que no daban lugar a intrusioniones de polvo africano (Figura 5B).

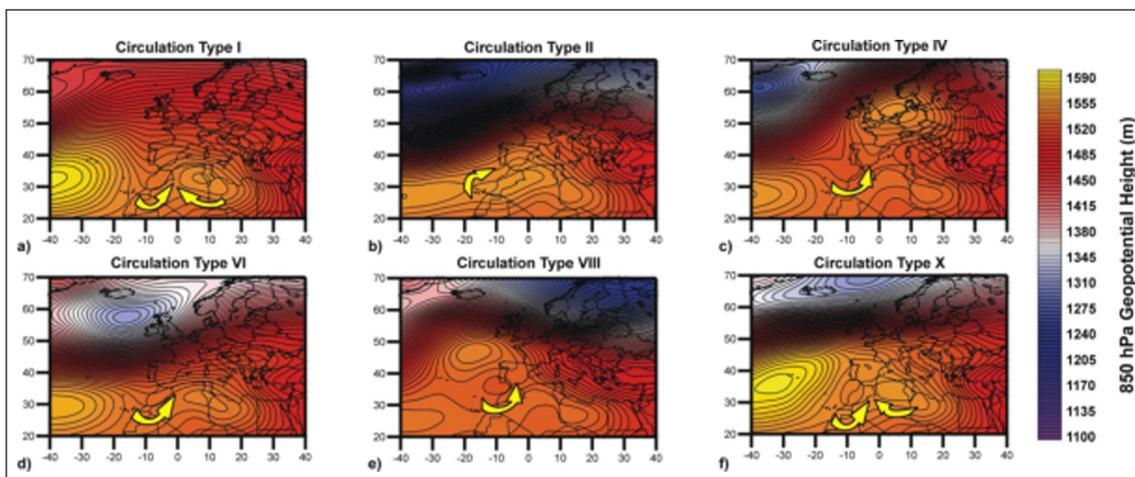


Figura 5A. Patrones medios de circulación que dan lugar a intrusioniones africanas sobre la Península y/o las islas Baleares.

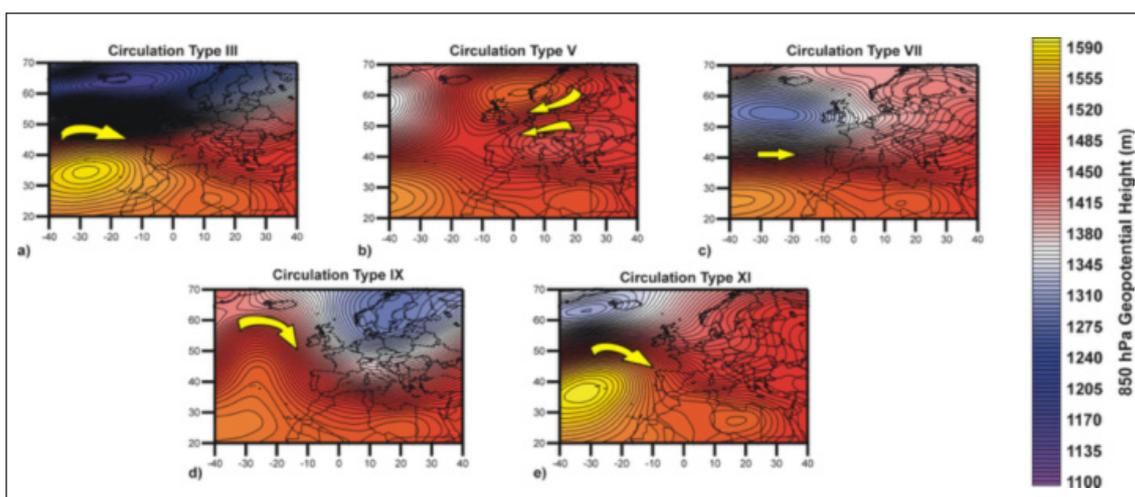


Figura 5B. Patrones medios de circulación que no dan lugar a intrusioniones africanas sobre la Península y/o las islas Baleares.

Sumando los días mensuales en los que se producen cualquiera de los 6 patrones de transporte de polvo africano se ha calculado un análisis de tendencias tipo Theil-Sen y lo que se obtiene es una tendencia positiva estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 95%. La estimación de la tendencia es de un aumento de días episódicos africanos de 0.05 días al mes por año en el periodo 1948-2020 (Figura 6), que equivale a un aumento de 0,77 días al año. El gráfico suavizado de la evolución de la serie muestra claramente un leve descenso desde el inicio del periodo hasta principios de los años 60 y a partir de ahí la tendencia es claramente creciente.

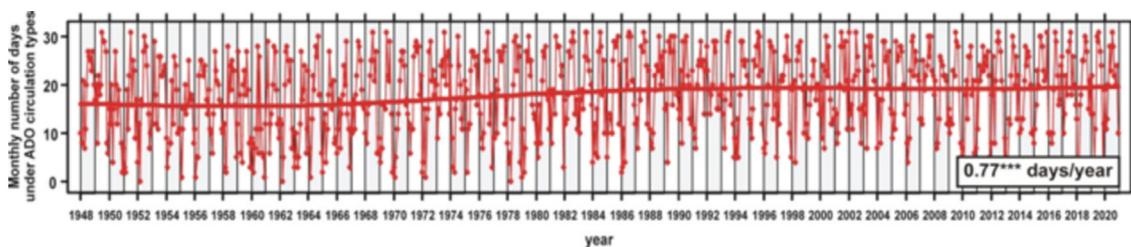


Figura 6. Evolución y línea de tendencia suavizada de la serie temporal del número mensual de días en los que se produce un patrón meteorológico sinóptico asociado al transporte de masas de aire africano en el periodo 1948-2020.

3.3. Buscando el registro del polvo sahariano en el PNOMP

La red DONAIRE ha mostrado la intensidad de la acumulación de polvo sahariano en los Pirineos, y en particular en el PNOMP, durante los recientes eventos como el de Febrero de 2021. Otra vertiente de la investigación de POSAHPI es la identificación del registro de ese polvo sahariano depositado en el PNOMP en el pasado, utilizando como archivos, las secuencias sedimentarias de los ibones del parque. El polvo sahariano ha sido caracterizado por su mineralogía (enriquecimiento en paligorskita y otros minerales de la arcilla, así como hematites y otros óxidos de hierro), química elemental (valores elevados de las relaciones Fe/Ti, Fe/Mg debido al enriquecimiento en minerales de hierro) y rangos específicos de algunas relaciones isotópicas (Sr, Nb y otros elementos). A escala milenaria, en los Pirineos esperamos encontrar una evolución similar a la de otras zonas del Mediterráneo occidental: un etapa de estabilidad en el Holoceno temprano (entre 11.7 y 7 ka BP) y un aumento de la carga de polvo sahariano a partir del final del Periodo Húmedo Africano (entre 7 y 4.5 ka BP (Le Roux et al., 2012, Martínez-Cortizas *et al.*, 2019). A escala de siglos, los registros y modelos existentes no son concluyentes, con ejemplos de aumento del input de polvo en periodos: i) de mayor frecuencia de tormentas en el

NW de Iberia (Martínez-Cortizas *et al.*, 2019), ii) más áridos como durante la Anomalía Climática medieval en lagos del sistema central (Sanchez-López *et al.*, 2016) y iii) fases más frías (4.4-3.8, 2.9-2.4 and 1.8-1.4 ka BP) en un registro de espeleotemas (Cruz *et al.*, 2021).

En una primera aproximación estamos investigando las relaciones elevadas de Fe/Ti como indicador de exceso de minerales férricos asociados con polvo sahariano. En el caso del ibón de Marboré (Figura 7), la secuencia sedimentaria recuperada en 2011 ha sido estudiada desde un punto de vista multidisciplinar (Leunda *et al.*, 2017; Oliva-Urcia *et al.*, 2018) y permitido la identificación de cambios en la evolución de la sedimentación en el ibón durante los últimos 14.000 años relacionados con la variabilidad climática.

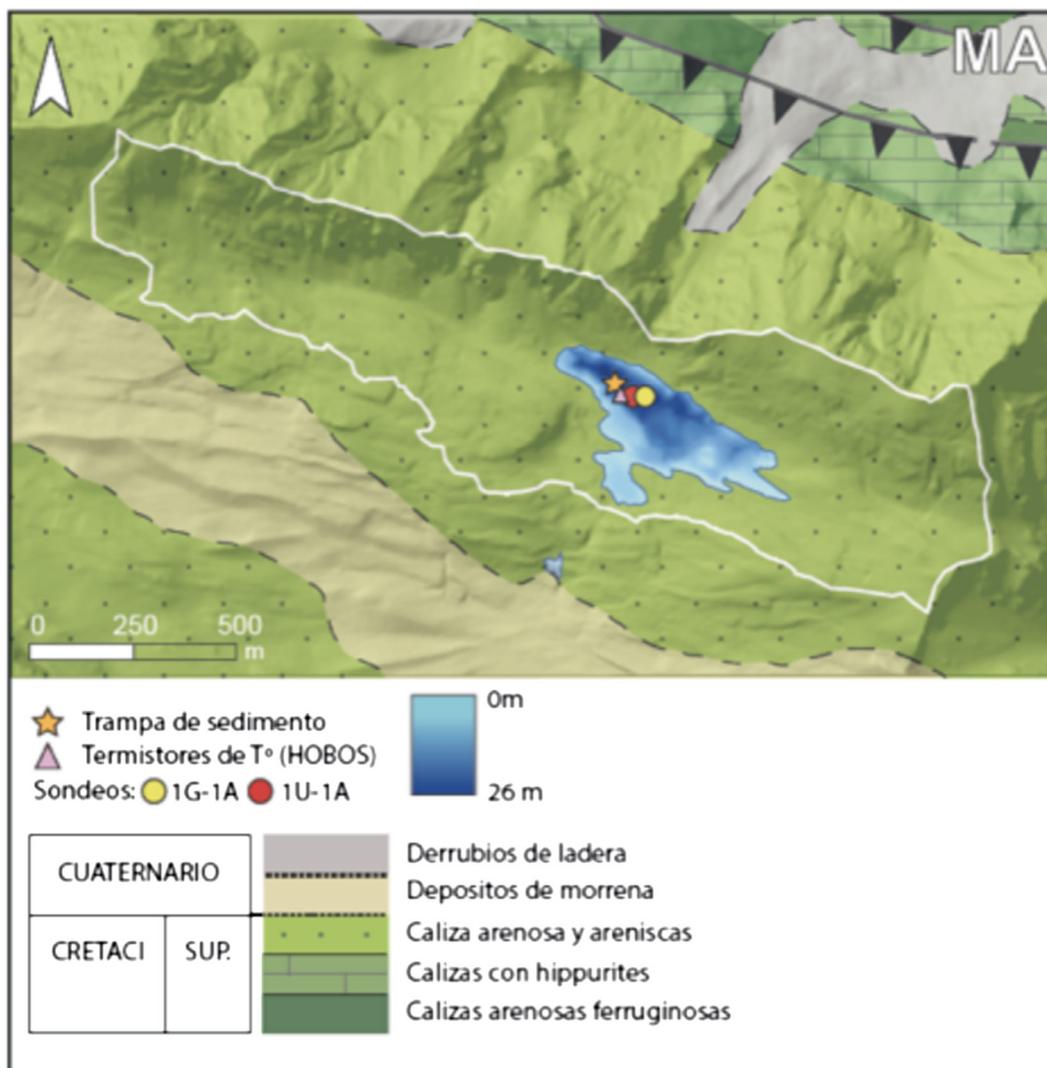


Figura 7. Geología de la cuenca de sedimentación del ibón de Marboré y localización de las trampas de sedimento, puntos de monitorización de temperatura y sondeos.

La relación Fe/Ti obtenida en esta secuencia a partir de los datos del escáner de fluorescencia de rayos X a una resolución de 4 mm (Figura 8, izquierda) ha permitido identificar varios intervalos caracterizados por valores más elevados que podrían indicar periodos de mayores aportes de polvo sahariano: el comienzo del Holoceno (hace 11.700-11.000 años), el Holoceno medio (7500-6500 BP), y desde hace unos 3500 años. Este incremento del aporte de polvo a las latitudes medias desde el norte de África durante los últimos milenios es coherente con lo documentado en otros registros del Mediterráneo Occidental (Le Roux *et al.*, 2012).

Dado que los datos de XRF son semi-cuantitativos, hemos procedido a analizar a menor resolución temporal muestras con ICP (Figura 8, derecha) que abarcan los últimos 3000 años. A esta resolución temporal se observa que los valores de Fe/Ti son mayores durante periodos que, a escala de la península ibérica y del Mediterráneo Occidental (Giralt *et al.*, 2017), se han caracterizado como de transición entre más otros claramente más cálidos/húmedos y más fríos/secos: en particular el inicio y el final del periodo húmedo ibero – romano (500 BCE-400 CE), el comienzo de la Anomalía Climática Medieval (900 CE), la transición a la Pequeña Edad del Hielo (1200 CE) y el final de la misma, partir de 1850 CE. De acuerdo con estos datos preliminares, los periodos transicionales entre las fases climáticas serían los más pulverulentos de los últimos 3000 años, además del actual periodo de cambio climático.

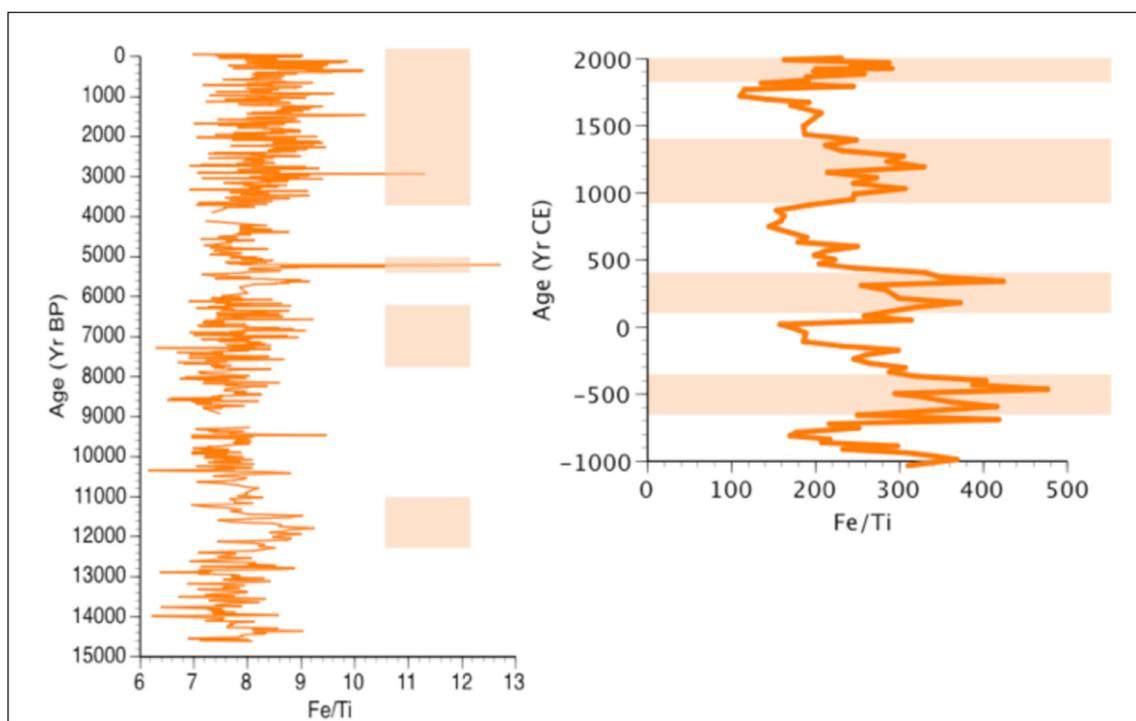


Figura 8. Relación Fe/Ti en la secuencia sedimentaria de Marboré a partir de medidas semicuantitativas de XRF (izquierda) y de medias cuantitativas (ICP) (derecha).

El otro punto de estudio dentro del PNOMP han sido los ibones de Arrablo, localizados en la vertiente sur del macizo de Monte Perdido entre las cimas de Monte Perdido y Añisclo y seleccionados para estudiar la evolución de los lagos de reciente formación en áreas de rápida retirada de los glaciares/neveros en el PNOMP. En este caso, pretendemos estudiar la deposición de polvo sahariano en los lagos de reciente creación en el Pirineo tras la retirada de glaciares y la desaparición de neveros. Las fotos aéreas de 1956-57, 1977, 2000, 2006 y 2018 permiten observar la evolución de la cubeta de Arrablo, completamente cubierta por hielo y nieve hasta mediados de los 1970s y la aparición de un lago en verano a partir de finales del siglo pasado. Las observaciones de los montañeros sugieren que en torno a 1989 el ibón inferior de Arrablo tenía ya unas dimensiones similares a las actuales. La profundidad máxima medida en la campaña de 2021 es de 4.82 m y presenta dos cubetas al norte y sur y una zona menos profunda hacia el este. La morfología irregular del fondo es probablemente un reflejo de la presencia de bloques y till depositados por el glaciar (Figura 9).

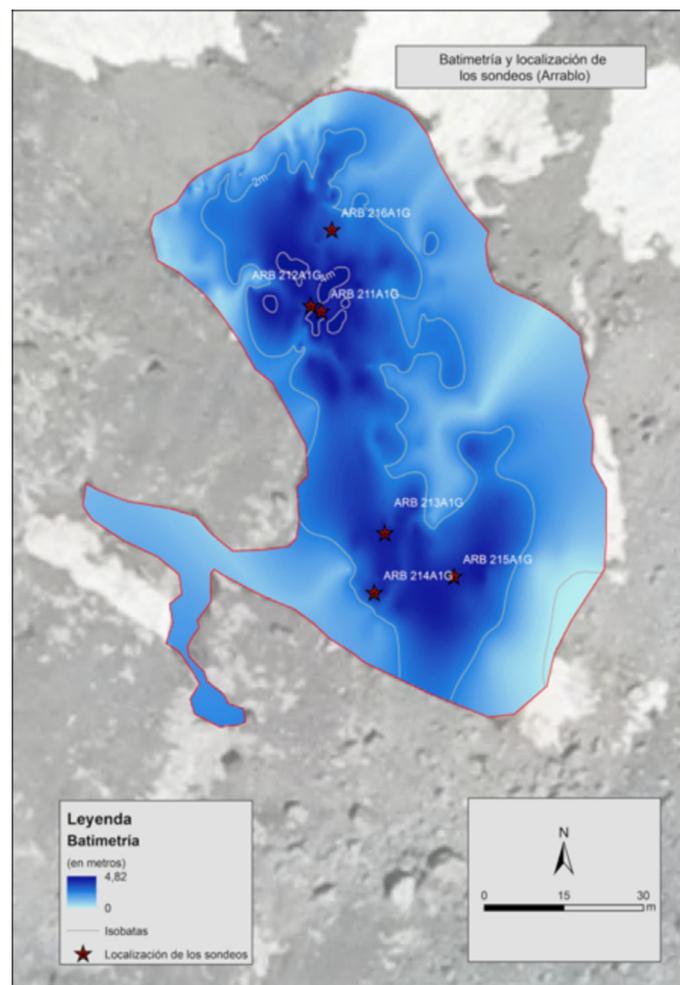


Figura 9. Batimetría del ibón de Arrablo y localización de los sondeos obtenidos en la campaña de 2021.

Dado que las mediciones del scanner de XRF son semicuantitativas (en cuentas por segundo) se utilizan ratios, normalizadas por el valor del Ti como indicadores más ilustrativos: Br/Ti del contenido en materia orgánica, Ca/Ti, y Al/Ti de la naturaleza silicatada o carbonatada del sedimento, Br/Ti de los cambios en el contenido de la materia orgánica; Fe/Ti del exceso de Fe que podría estar asociado a aportes de polvo sahariano y Pb/Ti de la deposición atmosférica de metales pesados (Figura 10).

La composición del sondeo ARB-21-1B muestra cuatro unidades, de base a techo: 1. unidad basal (220-120 mm) de limos masivos con escasa variabilidad; 2. una capa (120-98 mm) de limos de colores claros, granulometría granodecreciente y con mayores valores de minerales silicatos y menores de carbonatos que sugiere una mayor presencia de arcillas hacia techo; 3. limos laminados (98-30 mm), con alternancias de capas más carbonatadas y más silíceas y con mayor contenido en materia orgánica (mayores valores de Br/Ti) y 4. A techo (30-0 mm), limos más masivos con mayor contenido en minerales silíceos y un descenso del contenido en materia orgánica. Los valores de Pb/Ti sugieren un periodo de mayor deposición de metales pesados durante la unidad 3.

La secuencia muestra un cambio entre las dos unidades basales (masivas, poca variabilidad composicional) y las dos superiores, que puede interpretarse como una transición a condiciones de sedimentación ligeramente más profundas o como el mayor desarrollo del periodo estival sin cubierta de hielo. Esta segunda fase (98 mm superiores) se caracterizaría por mayor variabilidad de facies, aumento de los aportes carbonatados, mayor productividad orgánica en el lago y picos en Fe/Ti que sugieren mayor aporte de

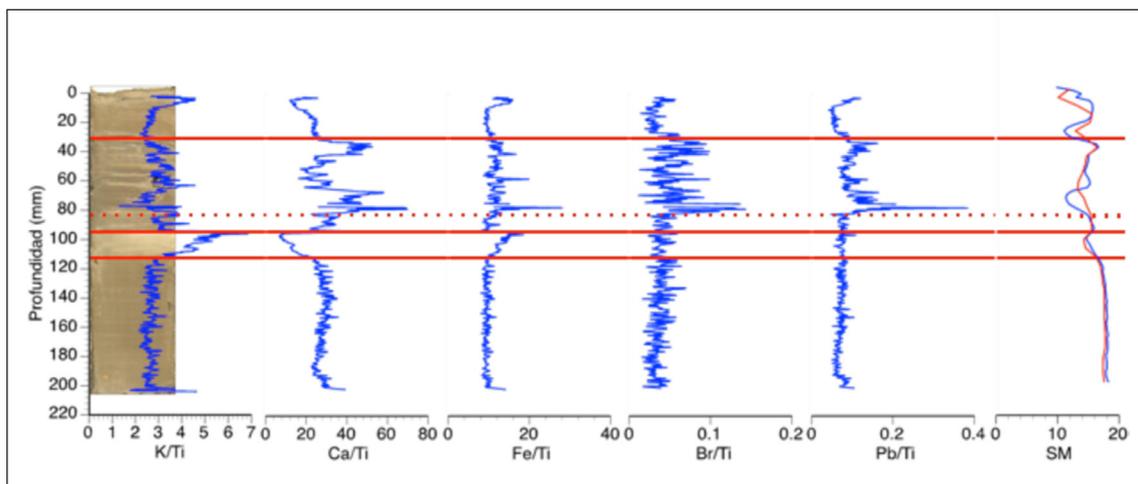


Figura 10. Resumen de los datos del sondeo sedimentario ARB-21-1B obtenido en el ibón de Arrablo: fotografía, principales indicadores geoquímicos a partir de datos de escáner de XRF y susceptibilidad magnética. La relación Fe/Ti sugiere mayores aportes de polvo sahariano durante la unidad 3 (98-30 mm) y en el periodo más reciente (techo de la secuencia).

polvo sahariano (unidad 3). La unidad 2 parece representar un evento rápido de sedimentación. La unidad superior marca un descenso de la productividad en el lago y de los aportes atmosféricos. Un modelo de edad para la secuencia permitirá precisar la cronología de estas unidades y los eventos asociados.

4. Conclusiones

En este trabajo hemos mostrado como el PNOMP recibe las mayores tasas de deposición de polvo sahariano de la península ibérica, al menos a falta de medir en algunos sistemas montañosos bien expuestos al transporte y deposición de este tipo de aerosoles.

Los marcadores geoquímicos del polvo están bien delimitados y vamos a usarlos para trabajar con los paleoarchivos, pero nos encontramos con algunas dificultades que necesitamos superar:

- Tenemos que caracterizar las entradas de sedimentos a las cuencas (Marboré y Arrablo) para poder discriminar mejor la señal geoquímica del polvo sahariano en un sedimento mezclado entre aportes locales (mayoritarios) y aportes eólicos.
- Queremos saber cómo se deposita a lo largo del año y qué relación existe entre la deposición atmosférica actual con la sedimentación en la trampa estacional.
- Es muy posible que tengamos que usar proxies complementarios (isótopos, propiedades magnéticas, paleobiomarcadores) para discriminar el polvo atmosférico de los sedimentos procedentes de las cuencas lacustres.
- Vamos a corregir el modelo PMF con los datos químicos de los sondeos. Esto no se ha hecho hasta la fecha pero puede arrojar resultados prometedores.

El estudio preliminar de algunos indicadores geoquímicos en los sondeos de Marboré sugiere un aumento del input del polvo sahariano durante el Holoceno tardío, tras el final del Periodo Húmedo Africano y periodos de mayor intensidad en los últimos 2000 años asociados a los intervalos de cambio entre fases climáticas (Ibero-Romano, Anomalía Climática Medieval y Pequeña Edad del Hielo), así como en las décadas recientes. El registro de Arrablo puede potencialmente permitir reconstruir las tasas de deposición de polvo sahariano durante las últimas décadas.

El análisis de frecuencia de escenarios meteorológicos que transportan polvo sahariano a España muestra un incremento claro en el número de días con polvo sahariano en la atmósfera desde 1948, a razón de 0,77 días/año.

El cambio global que estamos viviendo no solo aumenta las concentraciones de CO₂, que están detrás del incremento de T^a a escala planetaria, sino que produce reacciones en cadena en el sistema atmosférico. El aumento del polvo sahariano presente (y quizá futuro) en España debemos de seguirlo con atención puesto que tiene impactos diversos en la salud, el clima o los ecosistemas.

5. Agradecimientos

Nuestra investigación es posible en estos momentos gracias a la financiación recibida por la Agencia Estatal de Investigación a través del proyecto POSAHPI (PID2019-108101RB-I00) y del Organismo Autónomo de Parques Nacionales a través del proyecto ASAH-AS (OAPN 2021, Ref: 2799/2021), aunque parte de los resultados que mostramos vienen de un proyecto anterior financiado por la Agencia Estatal de Investigación (DONAIRE, CGL2015-68993-R).

6. Bibliografía

- AMATO, F., PANDOLFI, M., ESCRIG, A., QUEROL, X., ALASTUEY, A., PEY, J., PÉREZ, N. y HOPKE P. (2009). “Quantifying road dust resuspension in urban environment by Multilinear Engine: a comparison with PMF2”. *Atmospheric Environment* 43: 2770-2780.
- AVILA, A., MOLOWNY-HORAS, R. y CAMARERO, L. (2020). “Stream chemistry response to changing nitrogen and sulfur deposition in two mountain areas in the Iberian Peninsula”. *Science of The Total Environment* 711: 134697.
- BACARDI, M. y CAMARERO, L. (2009). “Fluxes of Al, Fe, Ti, Mn, Pb, Cd, Zn, Ni, Cu and as in monthly bulk deposition over the Pyrenees (SW Europe): the influence of meteorology on the atmospheric component of the trace element cycles and its implications for high mountain lakes”. *Journal of Geophysical Research, Biogeosciences* 114: G00D02.
- _____. (2010a). “Major and trace elements in soils in the Central Pyrenees: high altitude soils as a cumulative record of background atmospheric contamination over SW Europe”. *Environmental Science and Pollution Research* 9: 1606-1621.

- _____ (2010b). “Atmospherically deposited major and trace elements in the winter snowpack along a gradient of altitude in the Central Pyrenees: the seasonal record of long-range fluxes over SW Europe”. *Atmospheric Environment* 44: 582-595.
- CRUZ, J.A., MCDERMOTT, F., TURRERO, M.J., EDWARDS, R.L. y MARTÍN-CHI-VELET, J. (2021). “Strong links between Saharan dust fluxes, monsoon strength, and North Atlantic climate during the last 5000 years”. *Scientific Advances*, 7(26) :eabe6102. DOI: 10.1126/sciadv.abe6102.
- GIERÉ, R. y QUEROL, X. (2010). “Solid Particulate Matter in the Atmosphere”. *Elements* 6(4): 215-222.
- GIRALT, S., MORENO, A., CACHO, I. y VALERO-GARCÉS, B.L. (2017). “Una breve síntesis de la evolución climática de la península ibérica durante los últimos 2000 años”. *CLIVAR Exchanges* 73: 5-10. <https://doi.org/10.31978/639-18-002-5.02>
- HAN, C., DO HUR, S., HAN, Y. *et al.* (2018). “High-resolution isotopic evidence for a potential Saharan provenance of Greenland glacial dust”. *Scientific Reports* 8: 15582. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33859-0>
- LE ROUX, G., FAGEL, N., DE VLEESCHOUWER, F., KRACHLER, M., DEBAILLE, V., STILLE, P., MATTIELLI, N., VAN DER KNAAP, W.O., VAN LEEUWEN, J.F.N. y SHOTYK, W. (2012). “Volcano- and climate-driven changes in atmospheric dust sources and fluxes since the Late Glacial in Central Europe”. *Geology* 2012 40 (4): 335–338. <https://doi.org/10.1130/G32586.1>
- LENES, J.M., DARROW, B.P., CATTRALL, C., HEIL, C.A., CALLAHAN, M., VARGO, G.A., BYRNE, R.H., PROSPERO, J.M., BATES, D.E., FANNING, K.A. y WALSH, J.J. (2001). “Iron fertilization and the Trichodesmium response on the West Florida shelf”. *Limnology and Oceanography* 46: 1261-1277. <https://doi.org/10.4319/lo.2001.46.6.1261>.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, N., ALONSO, B., JUAN, C., ERCILLA, G., BOZZANO, G. *et al.* (2019). “133,000 years of sedimentary record in a contourite drift in the western Alboran sea: Sediment sources and paleocurrent reconstruction”. *Geosciences* 9(8): p. 345.
- MAHOWALD, N.M., ENGELSTAEDTER, S., LUO, C., SEALY, A., ARTAXO, P., BENITEZ-NELSON, C., BONNET, S., CHEN, Y., CHUANG, P.Y., COHEN, D.D., DULAC, F., HERUT, B. *et al.* (2009). “Atmospheric iron deposition: global distri-

bution, variability, and human perturbations”, *Annual Review of Marine Science* 1: 245-278, <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163727>.

MARTÍNEZ CORTIZAS, A., LÓPEZ-COSTAS, O., ORME, L. *et al.* (2020). “Holocene atmospheric dust deposition in NW Spain”. *The Holocene*, 30(4),507-518. doi:10.1177/0959683619875193.

MENUT, L., MASSON, O. y BESSAGNET, B. (2009). “Contribution of Saharan dust on radionuclide aerosol activity levels in Europe? The 21-22 February 2004 case study”. *Journal of Geophysical Research* 114: D16202. DOI:10.1029/2009JD011767.

MORALES-BAQUERO, R., PULIDO-VILLENA, E. y RECHE, I. (2006). “Atmospheric inputs of phosphorus and nitrogen to the southwest Mediterranean region: Biogeochemical responses of high mountain lakes”, *Limnology and Oceanography* 51: 830-837.

_____ (2013). “Chemical signature of Saharan dust on dry and wet atmospheric deposition in the south-western Mediterranean region”, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 65: 18720.

MORENO, T., QUEROL, X., CASTILLO, S., ALASTUEY, A., CUEVAS, E., HERRMANN, L., MOUNKAILA, M., ELVIRA, J. y GIBBONS, W. (2006). “Geochemical variations in aeolian mineral particles from the Sahara-Sahel Dust Corridor”. *Chemosphere* 65: 261-270. DOI:10.1016/j.chemosphere.2006.02.052.

LEUNDA, M., GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P., GIL-ROMERA, G., ARANBARRI, J., MORENO, A., OLIVA-URCIA, B. *et al.* (2017). “The Late-Glacial and Holocene Marboré Lake sequence (2612 m asl, Central Pyrenees, Spain): testing high altitude sites sensitivity to millennial scale vegetation and climate variability”. *Global and Planetary Change* 157: 214-231.

OLIVA-URCIA, B., MORENO, A., LEUNDA, M. *et al.* (2018). “Last deglaciation and Holocene environmental change at high altitude in the Pyrenees: the geochemical and paleomagnetic record from Marboré Lake (N Spain)”. *Journal of Paleolimnology* 59: 349-371. <https://doi.org/10.1007/s10933-017-0013-9>.

PAATERO P. y TAPPER U. (1994). “Positive matrix factorization: a nonnegative factor model with optimal utilization of error estimates of data values”. *Environmetrics* 5: 111-126.

PAINTER, T.H., BARRETT, A.P., LANDRY, C.C., NEFF, J.C., CASSIDY, M.P., LAWRENCE, C.R., MCBRIDE, K.E. y FARMER, G.L. (2007). “Impact of dis-

turbed desert soils on duration of mountain snow cover”. *Geophysical Research Letters* 34: L12502. DOI:10.1029/2007GL030284.

- PAINTER, T.H., DEEMS, J.S., BELNAP, J., HAMLET, A.F., LANDRY, C.C. y UDALL, B. (2010). “Response of Colorado River runoff to dust radiative forcing in snow”. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 17125-17130, doi:10.1073/pnas.0913139107.
- PANDOLFI, M., GONZÁLEZ-CASTANEDO, Y., ALASTUEY, A., DE LA ROSA, J.D., MANTILLA, E., SÁNCHEZ DE LA CAMPA, A., QUEROL, X., PEY, J., AMATO, F. y MORENO, T. (2011). “Source Apportionment of PM10 and PM2.5 at Multiple Sites in the Strait of Gibraltar by PMF: Impact of Shipping Emissions”. *Environmental Science and Pollution Research* 18: 260-269.
- PEY, J., QUEROL, X., ALASTUEY, A., FORASTIERE, F. y STAFOGGIA, M. (2013). “African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001-2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology”. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13: 1395-1410.
- PEY, J., LARRASOÑANA, J.C., PÉREZ, N., CERRO, J.C., CASTILLO, S. TOBAR, M.L., DE VERGARA, A., VÁZQUEZ, I., REYES, J., MATA, M.P., MOCHALES, T., ORELLANA, J.M. y CAUSAPÉ J. (2020a). “Phenomenology and geographical gradients of atmospheric deposition in southwestern Europe: results from a multi-site monitoring network”. *Science of the Total Environment* 744: 140745, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140745>.
- PEY, J., REVUELTO, J., MORENO, N., ALONSO-GONZÁLEZ, E., BARTOLOMÉ, M., REYES, J., GASCOIN, S. y LÓPEZ-MORENO, J.I. (2020b). “Snow Impurities in the Central Pyrenees: From Their Geochemical and Mineralogical Composition towards Their Impacts on Snow Albedo”. *Atmosphere* 11(9): 937; <https://doi.org/10.3390/atmos11090937>.
- QU, B., MING, J., KANG, S.-C., ZHANG, G.-S., LI, Y.-W., LI, C.-D., ZHAO, S.-Y., JI, Z.-M. y CAO, J.-J. (2014). “The decreasing albedo of the Zhadang glacier on western Nyainqentanglha and the role of light-absorbing impurities”. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14: 11117-11128.
- QUEROL, X., VIANA, M., ALASTUEY, A., AMATO, F., MORENO, T., CASTILLO, S., PEY, J., DE LA ROSA, J., SÁNCHEZ DE LA CAMPA, A., ARTÍÑANO, B. *et al.*, (2007). “Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain”. *Atmospheric Environment* 41: 7219-7231.

- SALVADOR, P., ALONSO, S., PEY, J., ARTIÑANO, B., DE BUSTOS, J.J., ALASTUEY, A. y QUEROL, X. (2014). “African dust outbreaks over the western Mediterranean basin: 11 year characterization of atmospheric circulation patterns and dust source areas”. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14: 6759-6775.
- SÁNCHEZ-LÓPEZ, G., HERNÁNDEZ, A., PLA-RABES, S., TRIGO, R.M., TORO, M., GRANADOS, I., SÁEZ, A., MASQUÉ, P., PUEYO, J.J., RUBIO-INGLÉS, M.J. y GIRALT, S. (2016). “Climate reconstruction for the last two millennia in central Iberia: The role of East Atlantic (EA), North Atlantic Oscillation (NAO) and their interplay over the Iberian Peninsula”. *Quaternary Science Reviews* 149: 135-150.
- SCHEUVENS, D., SCHÜTZ, L., KANDLER, K., EBERT, M. y WEINBRUCH, S. (2013). “Bulk composition of northern African dust and its source sediments —a compilation”. *Earth Science Reviews* 116: 170-194.
- SHAO, Y., WYRWOLL, K.-H., CHAPPEL, A., HUANG, J., LIN, Z. *et al.* (2011). “Dust cycle: an emerging core theme in earth system science”. *Aeolian Research* 2: 181-204.
- YU, H.C., YUAN, T., BIAN, H., REMER, L.A., PROSPERO, J.M., OMAR, A., WINKER, D., YANG, Y., ZHANG, Y., ZHANG, Z. y ZHAO, C. (2015). “The fertilizing role of African dust in the Amazon rainforest: A first multiyear assessment based on data from Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations”, *Geophysical Research Letters* 42: 1984-1991, <https://doi.org/10.1002/2015GL063040>.

8. Arte rupestre en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Comarca del Sobrarbe (Huesca)

Javier Rey Lanaspá

Facultativo Superior de Patrimonio Cultural
—Arqueólogo— del Gobierno de Aragón

Ermengol Gassiot Ballbè

Departamento de Prehistoria
de la Universidad Autónoma de Barcelona

Ignacio Clemente Conte

Institución Milá y Fontanals del Consejo Superior
de Investigaciones Científicas (CSIC)



Resumen: La comunicación que presentamos a las VII Jornada de Investigación del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido¹ hace referencia a uno de los aspectos del Patrimonio Cultural del Parque Nacional más desconocido hasta este momento. Se trata de una parte del potencial arqueológico que existe en este espacio protegido, que no deja de sorprendernos por su importancia, diversidad y por la antigüedad de los hallazgos.

1. Introducción

Desde el año 2015, que comenzamos a trabajar en el puerto medio de Góriz, han sido catalogados decenas de yacimientos arqueológicos de diferentes características y funcionalidades, pero creemos que la gran mayoría podrían estar relacionados con actividades estacionales ganaderas (fig. 1) (CLEMENTE et al. 2020; DÍAZ et al. 2016). Se trata de parajes, que, por sus características orográficas y geográficas, solamente permiten una relación temporal entre el medio físico y los grupos humanos. Por eso, uno de los objetivos fundamentales de nuestro trabajo es establecer cuál es el origen de esta relación, determinar cuándo comenzaron las actividades ganaderas en este territorio e investigar en profundidad todas las actividades que desarrollaron a esa altitud.

Por esta razón decidimos, desde el Grupo de Arqueología de Alta Montaña (GAAM UAB-CSIC), denominarlo como *Proyecto de Investigación del Pastoralismo en el Bien*

¹ Desde aquí queremos agradecer a Elena Villagrasa, directora del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, y al equipo organizador de la Jornada, en especial a Francisco Villaespesa, por haber contado con nosotros para dar a conocer algunos temas relacionados con las investigaciones que estamos realizando en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

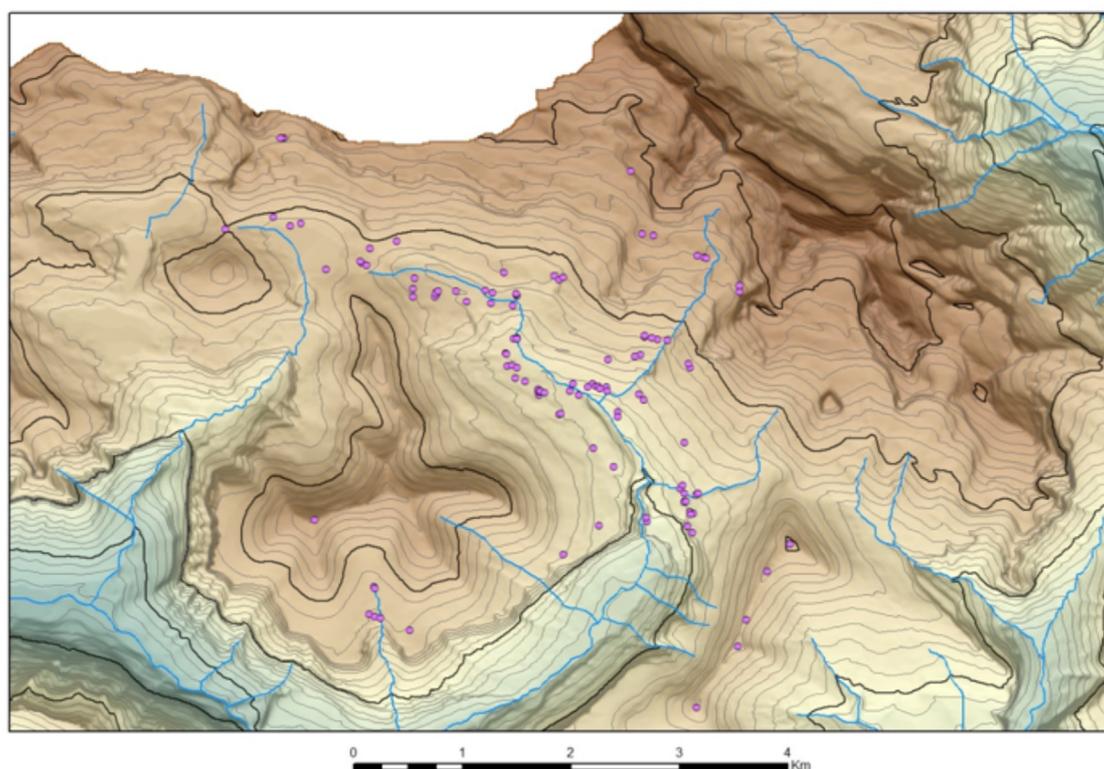


Figura 1. Plano con la ubicación de los lugares catalogados en la zona del Puerto Medio de Góriz.

Pirineos Monte Perdido (PNMP), que está financiado por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, a través de la Comarca del Sobrarbe, el Centro de Estudios del Sobrarbe y los consabidos ayuntamientos de Tella-Sin y Fanlo.

El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido tiene una extensión de 156,1 km² con gran parte de terreno impracticable o de muy difícil acceso, tanto para nosotros como las personas que lo han transitado a lo largo de la historia. Por esto, iniciamos los trabajos de investigación en una de las zonas que nos parecen más apropiadas para las prácticas pastoriles, incluso en nuestros tiempos. En primer lugar, comenzamos la búsqueda de yacimientos en la zona del Rincón dera Balle o circo de Góriz, que se encuentra al oeste del refugio de Góriz, y después fuimos ampliando hacia la Sierra Custodia, Cerro Tobacor y Llanos de Millaris, así como el entorno de la zona de subida a Monte Perdido, como la zona de la Faixa Roya o el lago Helado. Hemos realizado prospecciones en algunos tramos del cañón de Añisclo, desde la ermita de San Úrbez hacia el sur, y en algunas zonas de la parte oriental del Parque y de su zona periférica de protección.

Para la localización de los yacimientos arqueológicos del territorio es necesario recorrerlo, buscar los lugares con restos antrópicos, catalogarlos, documentarlos, realizar una primera valoración sobre su funcionalidad etc. Con posterioridad a estos primeros datos obtenidos durante el trabajo de campo, en aquellos lugares que se consideran más

importantes para obtener una información más en profundidad, se planifican y realizan sondeos o excavaciones arqueológicas para obtener material que nos permita, su datación concreta, así como conocer el uso del espacio, determinando las actividades allí desarrolladas, así como aportar información al conocimiento del medio ambiente que rodeaba al espacio donde se produjo la ocupación humana en cada momento determinado.

2. Cuestiones generales

En la breve comunicación que expusimos en la Jornada de Investigación, nos centramos únicamente en presentar una recopilación y actualización del Arte Rupestre que se conoce en el Parque Nacional. El hallazgo de pinturas rupestres en el ámbito de la alta montaña, consolida todavía más si cabe la importante y estrecha relación que tuvieron los grupos humanos que accedieron a estos lugares durante la prehistoria.

No todas las manifestaciones artísticas tienen el mismo estilo; en el territorio que estudiamos encontramos arte rupestre de tipo levantino y arte esquemático. El primero se relaciona más con el levante peninsular (costa mediterránea con penetraciones hacia el interior), mientras que el esquemático se ubica en prácticamente toda la península. Los lugares donde aparecen estas pinturas suelen ser pequeños abrigos poco profundos, generalmente bien orientados y se pintaba en zonas donde llegaba la luz natural. En cuanto a la temática también existen grandes diferencias entre los dos estilos artísticos, el *levantino* es realista y naturalista con figuras estáticas o en movimiento mientras que el *arte esquemático* es un estilo tendente a la abstracción y carentes de realismo, con un significado en muchas ocasiones difícil comprender porque no estamos acostumbrados a identificar su lenguaje.

El arte rupestre, en general, representa la principal expresión material del mundo de las ideas que tenemos de estos grupos humanos, sobre todo durante la prehistoria. A menudo es difícil de interpretar, comprender o de conocer su significado, representan escenas de la vida cotidiana o de sus actividades económicas, sociales o religiosas y con frecuencia se interpretan como actividades rituales. Están relacionados con grupos de cazadores y recolectores y fundamentalmente con actividades de ganadería y agricultura.

Lo más habitual es que estén pintadas en color rojo o en negro dependiendo del tipo de pigmentos que se utilicen. Según algunos análisis realizados en otros abrigos, para las rojas se han utilizado pigmentos a base de óxidos de hierro, y para las negras carbón, hollín u óxido de manganeso (BALDELLOU et al., 2009).

La cronología es otra de las cuestiones que más controversia generan y aunque hay diversas teorías, lo más frecuente es que se daten entre el final del Epipaleolítico y la Edad de los metales.

3. Lugares con arte rupestre

Teniendo en cuenta las características del medio natural en el que se ubican las pinturas rupestres, nos damos cuenta rápidamente de que los abrigos que estudiamos presentan características muy diferentes a los lugares que se conocían hasta este momento. Estas diferencias se manifiestan, sobre todo, en la altitud a la que se encuentran y, consecuencia de esto, el clima es mucho más frío que en zonas más meridionales. Todos los abrigos que estudiamos en el Parque Nacional o en su zona periférica de protección se encuentran en las cotas más altas conocidas hasta este momento (en algún caso las más altas del continente europeo) y las más septentrionales que se conocen en la península ibérica, ampliando, de esta forma, los mapas de dispersión que se han ido realizando hasta este momento, tanto del arte rupestre levantino como esquemático.

Como se aprecia en el mapa de dispersión de los hallazgos (fig. 2), hasta este momento tenemos siete lugares con manifestaciones artísticas, de los cuales solamente el de O Lomar corresponde con arte de estilo levantino y los demás con arte esquemático.

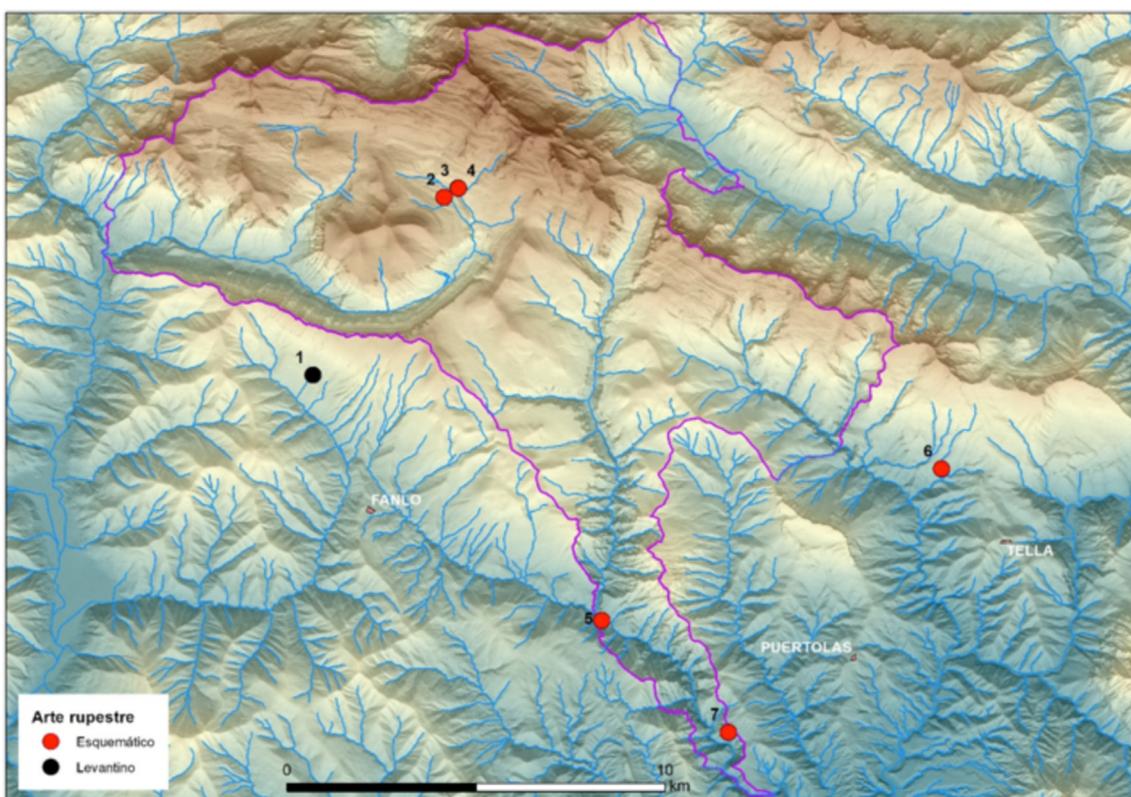


Figura 2. Mapa de dispersión de los abrigos con pinturas rupestres en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido: 1. O Lomar (Fanlo), 2. Mallata de Puértolas (Fanlo), 3-4. Cueva Lucía I y II (Fanlo), 5. San Úrbez (Fanlo), 6. Cueva Biasba (Tella-Sin) y 7. Espluca as Faixas (Puértolas).

Arte Levantino

Las pinturas fueron descubiertas de forma casual en 2014 por D. Jaime Vaz-Romero comunicándolo al Centro de Estudios del Sobrarbe, desde donde se informó a la Diputación General de Aragón. Su ubicación corresponde con la zona periférica de protección del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido en la zona correspondiente a O Lomar de Fanlo.

El acceso se realiza a través de una pista de unos cinco kilómetros de longitud con algunos tramos en no muy buen estado. Esta pista parte desde la carretera que une Fanlo con Nerín y tomamos el desvío muy cerca del núcleo de población de Fanlo. Las pinturas se encuentran en una zona muy antropizada, donde hay una fuente de agua y todavía se conservan abundantes construcciones de paredes y casetas de piedra seca que servían para delimitar pequeñas parcelas que se utilizaban, hasta hace poco, para el cultivo de patatas y forraje.

El soporte utilizado no corresponde con los típicos abrigos que suelen ser en roca caliza, bien orientados y con una visera de mayor o menor tamaño que servía, de alguna manera, para protegerlas de las inclemencias meteorológicas. El lugar elegido es un bloque errático que ha rodado por la ladera desde la sierra Carquera o de las Cutas, donde existe un afloramiento de cuarcitas y calizas que corresponden con el grupo Gallinera del Eoceno (VV.AA., 2018).

Este bloque tiene unos ocho metros de longitud, cuatro de anchura por cuatro de altura y las pinturas se encuentran en su lateral sur y el panel ocupa solamente un metro cuadrado. Se hallan a 1,5 m del suelo y es posible, que el espacio donde se encuentran haya sido retocado intencionadamente de forma previa a la realización de las pinturas, puesto que la superficie de la roca se encuentra muy lisa, sobre todo si la comparamos con el resto del bloque.

La zona que ocupa el panel pintado es completamente vertical y las pinturas no tienen ningún tipo de protección frente a las inclemencias meteorológicas. Es necesario resaltar que el lugar se encuentra a 1650 m de altitud s.n.m., en un contexto de alta montaña, con nieve permanente durante todo el invierno y se hallan expuestas al agua, nieve, sol, hielo, viento etc.

Tal y como se aprecia en la figura 3, que corresponde con una imagen tratada con la aplicación Dstretch, en el panel encontramos cuatro figuras pintadas. La mejor conservada es una gran cierva que se encuentra mirando a la izquierda (hacia el oeste), muy naturalista, con cabeza levantada, actitud serena y estática. Se reconocen las dos orejas y la indicación de la boca, las extremidades se hallan bastante deterioradas. Se encuentra en la zona superior

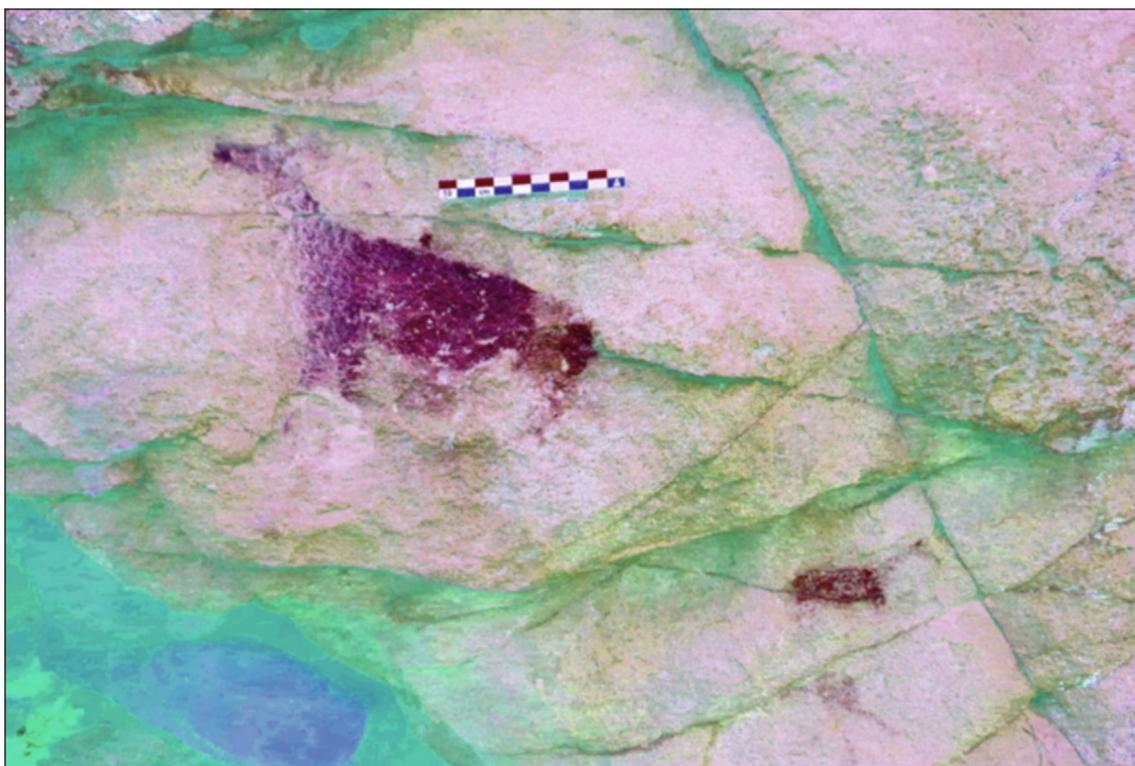


Figura 3. Panel pintado de O Lomar tratado con la aplicación Dstretch.

izquierda del panel y ha sido pintada mediante la aplicación de una tinta plana de color rojo que rellena toda la superficie interior del animal. Hay que destacar, aunque no se aprecia en la imagen tratada, que la zona de los cuartos traseros tiene un color más anaranjado que el resto y pensamos que podría deberse a un repintado antiguo de la misma.

Unos centímetros por debajo se encuentra otra cierva, en este caso de menor tamaño y mirando al este. Tiene las mismas características morfológicas que la anterior, aunque presenta peor estado de conservación sobre todo en las extremidades, que prácticamente han desaparecido.

Debajo de esta segunda cierva y a unos cinco centímetros se conservan los restos de otra figura de muy difícil interpretación que podrían corresponder, con muchas dudas, con la representación de un arquero.

A la derecha de las figuras descritas, en la zona inferior, hay algunos restos dispersos de pigmento rojo que debieron corresponder con alguna otra figura que ahora ya es imposible determinar a qué pudieron representar.

Al pie del panel pintado, junto al bloque, realizamos una cata para comprobar si existían niveles arqueológicos que permitieran relacionarlas con los grupos humanos que las pintaron, pero el resultado fue totalmente negativo.

Arte esquemático

Como se puede apreciar en el mapa de dispersión (Fig. 2), la mayoría de los abrigos contienen figuras de arte esquemático. Esta diferencia hace que el arte levantino sea minoritario, al igual que ocurre en la sierra de Guara que es donde se concentra el mayor número de abrigos y cuevas con arte rupestre en la provincia de Huesca.

Las primeras pinturas rupestres conocidas en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido corresponden a las que se ubican en la cueva donde se encuentra la ermita de San Úrbez en el cañón de Añisclo y fueron publicadas por J. Pallarés y G. Torras (PALLARES, TORRA, 1986-1987).

El acceso es sencillo y se realiza a través de la carretera que parte de Escalona y atraviesa el cañón de Añisclo hasta el parking, desde donde debemos continuar a pie hasta el abrigo de la ermita.

La altitud de esta cueva es de 941 m s.n.m y es el que menos altura tiene de todos los abrigos con pinturas rupestres que incluimos en esta publicación. La boca se abre en la margen izquierda del río Bellos como el de Espluca as Faixas que veremos más adelante, y los dos se abren en los potentes farallones calizos que han sido erosionados por el río a lo largo de millones de años creando un cañón estrecho y profundo.

En la citada publicación se documentan dos motivos pintados que se encuentran a la izquierda de la escalera de acceso a la ermita, a una altura sobre el suelo de unos 3-4 m, aunque hay que tener en cuenta que el suelo actual posiblemente corresponda a un rebaje artificial para el acondicionamiento o construcción del camino que discurre al pie de la ermita.

En el estudio de Pallarés y Torras se incluyen dos motivos pintados en rojo, los dos se encuentran más o menos a la misma altura y si los miramos de frente, el de la izquierda se conserva mejor estado que el de la derecha, que se encuentra bastante afectado por microorganismos y plantas. Ambos están formados por líneas que se entrecruzan formando lo que suele denominarse como tectiformes que, como iremos viendo, se repiten en bastantes ocasiones en los abrigos del Puerto Medio de Góriz.

Durante las prospecciones hemos comprobado que existen otros motivos pintados que se confunden, a veces ,con pinturas modernas. La tonalidad es muy diferente entre los antiguos, que tienen un color más cercano al rojo-vino que los modernos, que tienen un color rojo más vivo e intenso. Estos motivos se encuentran junto a la escalera de acceso a la ermita y junto al altar que preside la explanada. Tenemos previsto realizar, a pesar de

las dificultades que plantea la vegetación existente, una revisión más precisa de todas las paredes del abrigo, para comprobar si existe alguna otra pintura.

Cerca del refugio de Góriz se encuentran los abrigos de Cueva Lucía I y II que también pertenecen al término municipal de Fanlo (Fig. 2). Estos abrigos se abren en los niveles de roca caliza del Eoceno que afloran por toda la zona de Puerto Medio de Góriz, habiéndose formado por la circulación subterránea de agua y tras su desecación han servido de refugio y resguardo de pastores desde la Prehistoria hasta prácticamente la actualidad.

Las Cuevas de Lucía se encuentran a unos 400 m al oeste del refugio de Góriz y a unos 2200 m s.n.m. y la boca tiene una orientación sur. En el farallón donde se abren hay abundantes restos y cuevas relacionados con la actividad ganadera y pastoril quizá de época moderna, pero, aunque se aprecian muchas estructuras, no hemos encontrado materiales arqueológicos relacionados con la prehistoria. Tal y como se ve en el plano (fig. 4) ambas cuevas se encuentran separadas, aunque pudieron estar unidas por el interior a través de una galería que ahora se encuentra cegada. Tienen un desarrollo máximo de unos 97 m de longitud.

En el plano (fig. 4) aparecen representadas las dos cuevas y hemos denominado Cueva Lucía I a la que se ubica a la izquierda y Cueva Lucía II la que se encuentra a la derecha. Cueva Lucía I tiene unos 18 m de abertura y en el extremo este tiene una galería interior de unos 10 m de profundidad. Este espacio esta compartimentado con dos muros,



Figura 4. Planta de las Cuevas de Lucía I y II (según J. Borrás y A. Olomí).

uno exterior, junto a la boca, y otro interior que cerraría la parte más profunda. Entre ambos muros realizamos un sondeo y no encontramos ningún resto arqueológico, en el exterior realizamos un segundo sondeo y apareció alguna cerámica moderna que, evidentemente, no tiene relación con las pinturas rupestres. Aunque está bien ubicada y bien orientada se trata de una cueva, que como en la mallata de Puértolas, donde también hay pinturas rupestres, hay afloramiento de agua y por lo tanto son cuevas bastante húmedas.

El hecho de que se realicen las pinturas en cuevas donde hay manantiales de agua nos parece importante resaltarlo puesto que la presencia de agua los convierte en los abrigos menos apropiados para su aprovechamiento como lugar de habitación; por lo que debió ser otra la razón la que mostro el interés de estos grupos humanos para elegirlos como lugares donde plasmar sus manifestaciones artísticas. También en la ermita de San Úrbez hay una fuente y, aunque no mana en el interior del abrigo, se encuentra a muy pocos metros del mismo.

Las pinturas en las dos cuevas corresponden con motivos completamente esquemáticos con un marcado carácter simbólico. Todos los motivos están pintados en color rojo/anaranjado a excepción de tres trazos que aparecen en negro. Se ubican en la parte exterior de las cuevas y, aunque hemos analizado muy detenidamente las zonas más profundas de las dos, no hemos visto ningún resto o indicio de pintura. Los motivos 4 y 5 del plano (fig. 4) corresponden con los más profundos y se ubican en el estrechamiento que da paso a la galería interior.

En la cueva Lucía I vamos a describir las pinturas siguiendo el plano de la figura 4. En primer lugar, existe una zona con abundantes manchas de pintura en las que no hemos reconocido hasta este momento ningún motivo concreto (n.º 1). Los motivos identificables son un cuadrúpedo que aparece mirando hacia la izquierda (n.º 2) (Fig. 5), que está formado por cuatro líneas verticales que corresponden con las extremidades y el cuerpo; que aparece representado por un trazo un poco inclinado, en lateral izquierdo se bifurca en dos líneas que podrían representar una cornamenta. A continuación, hay un grupo de tres trazos pintados en negro con una orientación ligeramente transversal (n.º 3), un tectiforme formado por rectángulo y una línea en su interior que lo divide en dos compartimentos (n.º 4). En la zona más estrecha del paso hacia la galería interior aparece representada una dedada (n.º 5) y a continuación un gran antropomorfo que en el brazo izquierdo tiene un instrumento que puede representar un arco (n.º 6) (fig. 5), otro antropomorfo rodeado de gran cantidad de dedadas (n.º 7) y en una colada y bastante afectada por una escorrentía de agua, aparece la representación de una probable escena de monta (nº 8)..

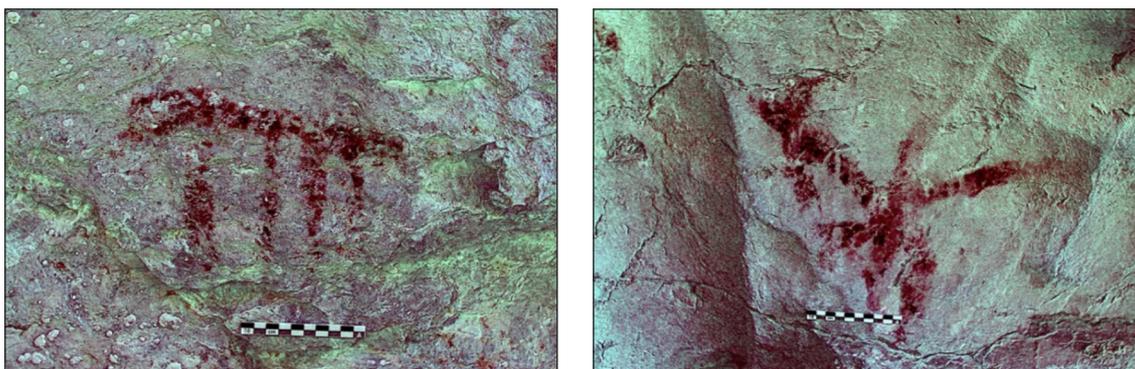


Figura 5. Cuadrúpedo (n.º 2 del plano) y antropomorfo (n.º 6 del plano) tratados con la aplicación Dstretch.

La Cueva Lucía II se encuentra a unos 11 m de la anterior y forma parte de esta misma formación porque y pensamos que ambas debieron estar comunicadas por el interior a través de una galería que hoy en día se encuentra cerrada. La boca tiene unos 8 m de abertura, unos 4 m de altura y 6 m de profundidad. En el centro hay un gran bloque caído del techo que ocupa gran parte de la cueva, dificultando el paso hacia el interior. Detrás de este bloque y cuando el espacio se estrecha también han colocado unas piedras para cerrarlo y posiblemente utilizarlo como pequeño redil. En esta cueva hemos documentado dos motivos pintados, uno a cada lado de la boca. El número 1 se encuentra en una pequeña oquedad y tiene forma ovalada con un trazo que la divide en dos. Está pintado en un rojo anaranjado como el resto de las pinturas. El número 2 se encuentra al otro lado de la boca y en este caso, debido a su deterioro por una escorrentía en la superficie de la roca es de difícil interpretación. Se adivinan trazos que podrían corresponder con alguna figura y/o algún instrumento y un grupo de pequeños y finos trazos pequeños y verticales.

Enfrente de las cuevas de Peña Lucía y en la margen izquierda del río Arazas, se halla la mallata de Puértolas de Vió, donde también encontramos un grupo de pinturas rupestres. Se trata de una mallata que todavía se encuentra en uso y sirve para el refugio de los pastores en la temporada estival, cuando el ganado se encuentra en los alrededores de la misma.

Tiene planta triangular, con 22 m de profundidad y cuatro metros anchura en la boca y una orientación noroeste-sureste. Al fondo de la cueva tiene un pequeño manantial que ha obligado al pastor a construir un suelo enlosado para elevarlo de la superficie de la roca y de esta forma evitar la humedad. También ha sido construido un cierre en forma de “L” con una pared de mampostería de piedra seca para evitar la entrada del frío.

Es una cueva que presenta en los dos laterales restos de pinturas rupestres prehistóricas de estilo esquemático de color anaranjado algo desvaído, muy similar a las de Cueva Lucía I y II. Encontramos algunas pinturas modernas que corresponden a iniciales de nombres de personas y un abecedario.



Figura 6. Tectiformes de la Mallata de Puértolas de Vió.

Respecto a las pinturas prehistóricas hay varias representaciones. Junto a la boca, en la parte superior de la misma y apenas visibles hay dos dedadas, continuando hacia el interior en el mismo lateral y cerca de la entrada encontramos dos tectiformes que se hallan algo deteriorados por el mal estado de conservación de la superficie de la roca. En el lado opuesto se conservan algunas dedadas y líneas que desconocemos a que pueden corresponder. En ambos lados hay manchas de pinturas sin forma.

El último abrigo que ha sido descubierto se encuentra en el término municipal de Puértolas y se denomina Espluca as Faixas. En este trabajo es la primera vez que publicamos estas pinturas, por ello, nos vamos a detener un poco más en su estudio y descripción.

La Espluca as Faixas fue descubierta el 25 de julio de 2020 por Mario Gisbert, Sergio Burguete y Francisco Torrejón del Centro de Espeleología de Aragón. En setiembre del mismo año realizamos una visita al lugar acompañados por Mario Gisbert y Paloma Lanau².

2 Nuestro más sincero agradecimiento a los descubridores por la colaboración prestada y a Mario Gisbert y Paloma Lanau que nos acompañaron al lugar para documentar estas nuevas pinturas.

El acceso se realiza por un camino que parte desde la Pardina d'a Barona, a la que podemos llegar con vehículo por una pista en buen estado con dirección norte que se toma cerca de Puyarruego. Una vez que llegamos a la Pardina Labarona continuamos por un camino o senda que uniría Puértolas y Gallisué, atravesando el río Bellós por el Puente deras Latiallas, pasamos por unas construcciones en ruinas y continuamos por una zona llana hasta comenzar el descenso al cauce del río Bellós.

Además de la espluca con las pinturas rupestres, durante el acceso hemos documentado tres lugares de cronología moderna junto al camino. Conforme vamos descendiendo, en primer lugar, hemos tenido la oportunidad de visitar y documentar la Espluca Mallata de Lardiés, que es una inmensa cueva llena de restos de construcciones para guardar el ganado y vivir los pastores. Tiene orientación sur y en la parte occidental (por donde se accede) hay dos inscripciones realizadas en un bloque de roca natural, se encuentran algo deterioradas y en una hemos podido leer la fecha de 1884 y en la otra Miguel Lardiés, también tienen cruces patadas y las inscripciones están enmarcadas con un recuadro rectangular. Continuando por el sendero llegamos un poco más abajo a un pequeño abrigo, del que no hemos podido conocer hasta este momento el nombre, y que contiene una hornacina natural y otra acondicionada con yeso para posiblemente ubicar alguna imagen religiosa, también hay siete cruces grabadas en la roca y una fecha de 1787. Por último, en el mismo borde del camino y un poco más adelante se encuentran los restos de una caseta adosada a la roca de la que solamente quedan tres piedras grandes, que corresponden a la primera hilada de piedra y posiblemente relacionadas con algún refugio.

Continuamos descendiendo y cada vez estamos más inmersos en el cañón hasta que llegamos al pie de uno de los farallones de caliza que dominan el cauce del río Bellós. A partir de este punto debemos abandonar el camino y continuar monte a través por el pie de dicho farallón por zonas complicadas. Atravesamos un agujero o arco de roca natural y llegamos a una zona en la que existen abundantes abrigos. El que tiene las pinturas es el central de los tres que hay seguidos.

Se trata de un pequeño abrigo con orientación sur que, como se puede apreciar en el plano topográfico tiene una planta más o menos triangular. Se encuentran a 995 m s.n.m., 5,20 m de altura, de unos 11,5 metros de anchura máxima de la boca y unos 9 metros de profundidad máxima.

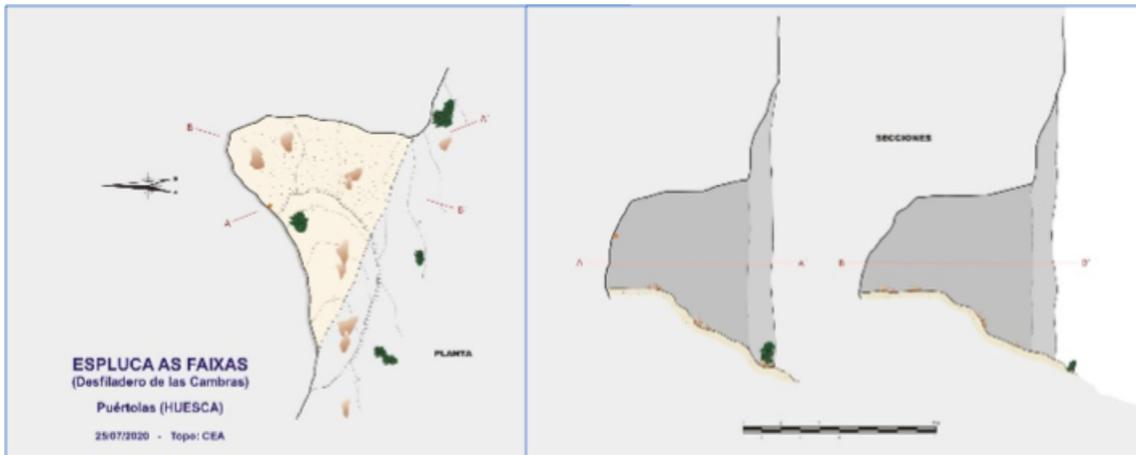


Figura 7. Planta y alzados de la cueva realizados por Mario Gisbert.

Las pinturas se encuentran en la pared oeste a unos tres metros de altura sobre el suelo. A simple vista solamente se aprecian tres figuras de claro estilo esquemático con una tonalidad morada.

En la parte superior izquierda del panel hay una figura que puede corresponder con un antropomorfo con los brazos elevados y tiene un tono más intenso que las otras dos figuras. Debajo de éste se encuentran las otras dos figuras, a la izquierda un serpentiforme formado por una línea sinuosa y a la derecha una figura deteriorada, que posiblemente se halle incompleta, de difícil identificación (fig. 7 izda.).

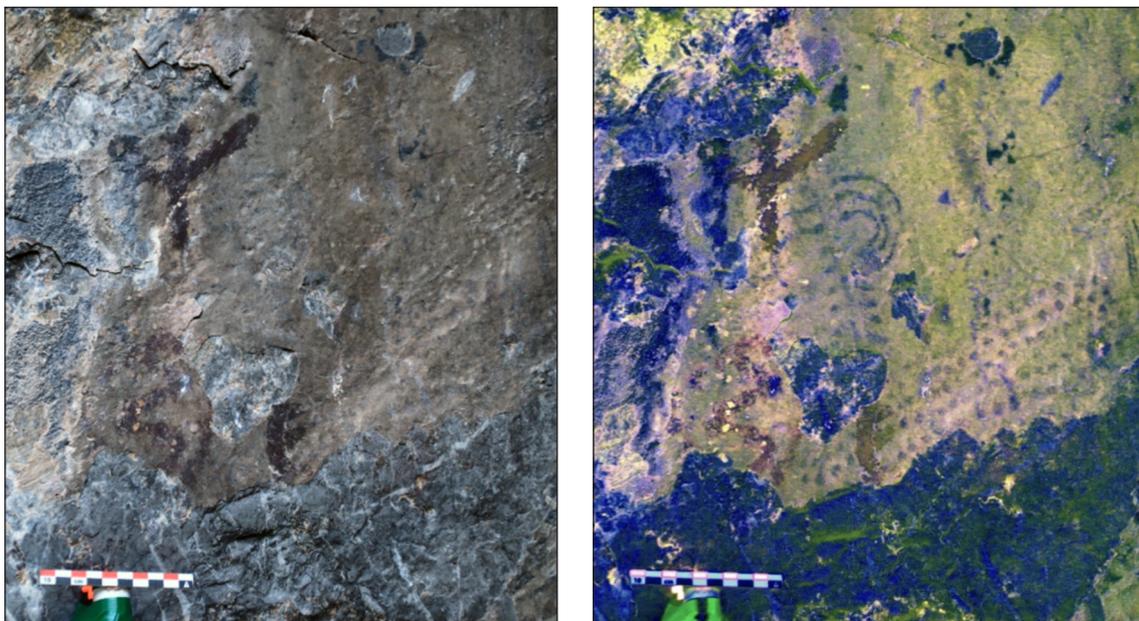


Figura 8. Espluca as Faixas. A la izquierda fotografía sin tratar y a la derecha tratada con la aplicación Dstretch.



Figura 9. Cueva Biasba.

Sin embargo, al pasar la misma imagen por la aplicación Dstretch hemos podido comprobar que existen muchas más pinturas que no se ven a simple vista. En la parte inferior hay una importante agrupación de puntos o dedadas organizadas en cinco líneas y perpendicular a estas hay dos líneas delimitadas también por puntos y tres semicírculos paralelos.

En el lado este del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y cerca del límite de la zona periférica de protección se encuentra la Cueva Biasba, como así la conocen los habitantes de la zona. Pensamos que debe corresponder con la que aparece citada en la bibliografía como Cueva de Revilla y tan solo ha sido citada por V. Baldellou en una síntesis que realizó en 1987 sobre el arte rupestre en el Huesca (BALDELLOU, 1987).

Las dimensiones de la cueva son las siguientes: tiene unos 17 m de longitud en la boca, unos 9 de profundidad y se encuentra a 1200 m s.n.m. Se orienta hacia el oeste y en su interior se conserva una columna de gran tamaño que se ha formado por la unión de una estalagmita con una estalactita. Su boca se abre en la margen izquierda del barranco de Biasba, que es el mismo en el que se encuentra la cueva neolítica de Artiga Beturián pero a la altura donde se abre esta cueva, más cerca de la cabecera del barranco, se llama barranco de Sarrera.

En la cueva solamente hay una representación pictórica en la pared sur y corresponde con lo que podría ser un antropomorfo. Este ha sido pintado en un color rojo intenso, con un trazo grueso y poco cuidado y sobre una colada. Se encuentra a 1,20 m sobre el suelo, aunque hay que tener en cuenta que ahora tiene bastante estiercol. A la derecha de esta pintura hay una cruz grabada que puede significar la cristianización del lugar.

4. Conclusiones

Cuando comenzamos a trabajar en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido solo se conocían los hallazgos de arte rupestre en la Cueva de San Úrbez y nunca pensamos que iban a aparecer los abrigos con arte rupestre que describimos en este trabajo.

La primero que hay que destacar como conclusión es que se ubican en contextos de alta montaña, a unas cotas muy superiores a las pinturas rupestres encontradas hasta este momento. De hecho, los hallazgos de Cueva Lucía I y II corresponden con los más altos del continente europeo para el estilo de arte esquemático y, O Lomar es la pintura de arte levantino que se encuentra a la mayor altitud de las conocidas hasta este momento. Además, son las más septentrionales que se conocen en la península ibérica. Estos hallazgos no son aislados, sino que hay que valorarlos y ponerlos en relación con los lugares de habitación del Neolítico que estamos investigando en los últimos años, Coro Trasito, Cueva Lobrica y Artiga Viturián y que vienen a consolidar el hecho de que la ocupación de la alta montaña fue más antigua de lo que se creía hasta hace pocos años (GASSIOT et al, 2021).

Los grupos humanos prehistóricos acudían a estos lugares en busca de recursos naturales relacionadas con tareas ganaderas y/o pastoriles, que complementarían con la recolección de frutos o la caza y la pesca y lo hacían forma estacional debido a que en invierno el terreno, al menos las zonas más altas, se encuentra cubierto de nieve.

En los abrigos estudiados encontramos representaciones de los dos estilos pictóricos más importantes que se desarrollaron durante el Neolítico: el arte levantino (O Lomar) y el esquemático (Abrigo de San Úrbez, Cueva Lucía I y II, Mallata de Puértolas, Cueva Biasba y Espluca as Faixas). Las representaciones de arte levantino en la provincia de Huesca se concentran en la zona del río Vero: Labarta, Chimiachas, Litonares L, Muriecho L, Arpan L y Regacens (BALDELLOU et al. 2009). Fuera de este grupo se conocen los de La Raja y Monderes, el primero se encuentra de forma aislada mientras

que el segundo se halla rodeado de otros abrigos con pinturas esquemáticas: Les Coves, Santa Ana I-II, Monderes I-IV (LANAU y Bea, 2016). A parte de O Lomar, el resto de los abrigos que incluimos en este estudio, se caracterizan porque el estilo de las pinturas es esquemático. Los motivos aparecen pintados en rojo con una tonalidad muy anaranjada, a excepción de tres barras en Cueva Lucía I que han sido pintadas en negro y que son similares a las que han aparecido en el interior de la cueva de Artiga Vitorián o las que aparecen en rojo en el abrigo del Codronazo en La Fueva (REY, 2014). Tal y como hemos visto, los motivos representados se repiten de forma habitual en el arte esquemático: antropomorfos, zoomorfos, cuadrúpedos, tectiformes y muy frecuentemente puntos o dedadas, además de signos abstractos y manchas que desconocemos, por el momento, a que pueden corresponder. Respecto a la dispersión de otros abrigos por el entorno territorial. Aunque existe una mayor dispersión de este estilo pictórico por todo el territorio del alto Aragón, como ocurre con el Arte levantino la mayor concentración se encuentra en la zona del río Vero.

Respecto a la relación de este grupo de abrigos con las pinturas rupestres del entorno territorial donde se encuentran, se aprecia que siguen quedando muy alejados de las sierras exteriores del Pirineo y sobre todo el Río Vero, que es donde existe la mayor concentración de abrigos con pinturas rupestres. Entre ambos grupos queda un vacío que quizá se vaya rellenando con futuros trabajos de campo.

5. Bibliografía

- BALDELLOU, V. (1987). “Arte Rupestre en la Región Pirenaica”. *Arte Rupestre en España*. Madrid. pp. 66-77.
- BALDELLOU, V., CALVO, M.^a J., JUSTE, M.N. y PARDINILLA, I. (2009). *Arte rupestre en el río Vero*. Huesca.
- CLEMENTE CONTE, I., GASSIOT, E., REY, J., ANTOLÍN, F., OBEA, L., VIÑERTA, A. y SAÑA, M. (2016). “Cueva de Coro Trasito (Tella-Sin, Huesca): un asentamiento pastoril en el Pirineo central con ocupaciones durante el Neolítico antiguo y el Bronce medio”. En: J.I. LORENZO y J. M.^a RODANÉS (Ed.), *Actas del I Congreso de Arqueología y Prehistoria Aragonesa*. Zaragoza, pp. 74-83
- CLEMENTE, I., REY, J. y GASSIOT, E. (2020). “Arqueología y prehistoria en Sobrarbe: Más de una década de colaboraciones”. *Revista Sobrarbe* 18: 9-92.

- DÍAZ BONILLA, S., OBEA GÓMEZ, L., GASSIOT BALLBÈ, E., CLEMENTE CONTE, I., GARCÍA CASAS, D., RODRÍGUEZ ANTÓN, D., QUESADA CARRASCO, M. y REY LANASPA, J. (2016). “Arqueología y Patrimonio en la Alta Montaña. Resultado de las prospecciones en el valle de Góriz (Fanlo, Huesca)”. En J.I. LORENZO y J. M.^a RODANÉS (Ed.), *Actas del I Congreso de Arqueología y Prehistoria Aragonesa*, Zaragoza, pp. 642-650.
- LANAU HERNÁEZ, P. y BEA MARTÍNEZ, M. (2016). “Un núcleo de arte rupestre esquemático en el Noguera Ribagorzana: las estaciones decoradas del entorno del embalse de Santa Ana”. En J.I. LORENZO y J. M.^a RODANÉS (Eds.), *Actas del I Congreso de Arqueología y Prehistoria Aragonesa*, Colegio de Doctores y Licenciados de Aragón, Zaragoza, pp. 153-162.
- GASSIOT-BALLBÈ, E., SALVADOR-BAIGES, G., CLEMENTE-CONTE, I., DÍAZ-BONILLA, S., GARCIA-CASAS, D., MAZZUCCO, N., OBEA-GÓMEZ, L., REY LANASPA, J. y RODRÍGUEZ-ANTÓN, D. (2021). “Early Neolithic Farming Activities in High Mountain Landscapes of the Pyrenees: Simulating Changes in Settlement Patterns”. En S. PARDO-GORDÓ y S. BERGIN (Ed.). *Simulating Transitions to Agriculture in Prehistory*, pp. 139-164.
- <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83643-6>
- PALLARES-PERSONAT, J. y TORRA I COLLELL, G. (1986-1987). “Nuevas pinturas rupestres postpaleolíticas en el Pirineo aragonés (Valle de Añisclo, Sobrarbe-Huesca)”, *Ars Prehistórica*, tomo V/VI, Barcelona, pp. 253-256.
- REY LANASPA, J. (2014). Codronazo, en La Cabezonada (La Fueva): un nuevo abrigo con arte rupestre en el Sobrarbe. En CLEMENTE, I., GASSIOT, E. y REY, J. (eds.): *Sobrarbe antes de Sobrarbe. Pinceladas de historia de Los Pirineos*. Centro de Estudios del Sobrarbe. Huesca, pp. 63-70.
- REY LANASPA, J., CLEMENTE CONTE, I., GASSIOT BALLBÈ, E. y RUIZ-REDONDO, A. (2020): “Nuevas pinturas de estilo levantino en la provincia de Huesca: el conjunto rupestre de O Lomar (Fanlo)”. *Bolskan 27*: 31-39.
- VV.AA. (2017). *Catálogo del Arte Prehistórico de la Península Ibérica y de la España Insular. Arte rupestre levantino (Serie arqueológica 22)*. Real Academia de la Cultura Valenciana, Valencia.
- VV.AA. (2018): Mapa Geológico del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, Escala 1:25.000, *Serie GeoNatur*. Madrid.

9. Seguimiento del sarrío *Rupicapra p. pyrenaica* en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, 1986-2020



Juan Herrero

Área de Ecología. Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Zaragoza

Ricardo García-González

Instituto Pirenaico de Ecología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Alicia García-Serrano

Ega Consultores en Vida Silvestre

María Cruz Arnal

Departamento de Patología Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza

Daniel Fernández de Luco

Departamento de Patología Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza

Carlos Prada

Ega Consultores en Vida Silvestre

Arantza Aldezabal

Landareen Biologia eta Ekologia Saila.
Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

1. Presentación

El sarrío *Rupicapra pyrenaica pyrenaica* es un pequeño bóvido endémico del Pirineo. El género *Rupicapra*, al que pertenece, está extendido de forma natural por las montañas del sur y centro de Europa, Turquía y el Cáucaso y, dentro de ese género, la especie *pyrenaica* se localiza en las montañas del sur de Europa formando tres subespecies: *R. p. parva* en la Cordillera Cantábrica, *R. p. ornata* en los Apeninos y *R. p. pyrenaica* en los Pirineos (Fig. 1 y 2).

A mediados del siglo XIX, el sarrío estaba ausente de la mayor parte del Pirineo y solamente ocupaba pequeños enclaves de ambas vertientes (Gortázar *et al.* 2000). Durante el siglo XX, particularmente desde mediados, sus poblaciones han sufrido un importante incremento impulsadas por los cambios legislativos que regulan su conservación y aprovechamiento, la existencia de Reservas de Caza (RC) y Áreas Protegidas y la progresiva disminución de la ganadería de montaña, particularmente del ovino *Ovis gmelini aries*. Actualmente ocupa la totalidad de la cadena montañosa, es decir su área potencial de distribución (Herrero *et al.* 2004). A pesar de ser una especie cinegética en los tres países pirenaicos, el sarrío no es objeto de caza en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP), al igual que en el resto de parques nacionales pirenaicos y algunas reservas naturales de la cadena.



Figura 1. Sarria adulta y cabrito. (Foto de Javier Ara).



Figura 2. Sarrio adulto. (Foto de Javier Ara).

2. Los primeros trabajos

Las primeras evidencias de presencia de la especie en los Pirineos se remontan a la glaciación de Riis, entre 200.000 y 140.000 años antes del momento actual (Clot y Duranthon, 1990), y su presencia en el PNOMP probablemente ha sido constante desde entonces. En una época más recientemente Lucien Briet describe su existencia en las Tres Sorores en su libro de 1913 (Briet, 1977, p. 58).

El seguimiento demográfico del sarrío en el Pirineo español se empieza a plantear con la creación de las RC en España, en la década de 1960-1969. En el Pirineo aragonés comienza en la RC de Viñamala (RCV), que incluye parte de la Zona Periférica de Protección (ZPP) del PNOMP. Durante los primeros años, los conteos se realizaron por medio de métodos no sistemáticos y eran meras aproximaciones. Así Fernández-Reyes (1965) estimó en 1.200 los sarríos existentes en el término de Torla, y Pascual (1982) informó de 200 sarríos en el área de campeo del bucardo *Capra p. pyrenaica*. En ocasiones los conteos eran localizados (García-González 1985), o bien, perseguían objetivos específicos coincidiendo con los primeros esfuerzos para conservar al bucardo (García-González *et al.* 1992) y ponderando las características de los métodos utilizados (Hidalgo *et al.* 1991, García-González *et al.* 1993). A partir de la ampliación del Parque en 1982, los conteos comienzan a realizarse de forma sistemática en 1986 por personal de la guardería y contratado (Herrero *et al.* 2003).

Desde los años 80 del siglo XX comienzan a realizarse diversos estudios de la especie. En 1989 se publican los primeros trabajos sobre la conducta de celo y el gregarismo en la RCV y en el propio PNOMP (Brun y García-González 1989; Hidalgo y García-González 1989). En 1986 se realizan los primeros análisis biométricos del conjunto de los animales cazados en las RC del Pirineo aragonés (incluyendo también la RCV), para comparar las subespecies *R. p. pyrenaica* y *R. p. parva* (Fernández-López y García-González 1986). Estos estudios continuaron posteriormente con el análisis biométrico del dimorfismo sexual (García-González y Barandalla 2002) y, más recientemente, con la determinación de los factores que modelan el tamaño de los cuernos de los sarríos (García-González *et al.* 2002; Jimeno-Brabo *et al.* 2013).

Otro de los estudios pioneros sobre sarrío en el PNOMP lo constituyen los análisis de su alimentación y su variación estacional (García-González y Cuartas 1996). Dichos trabajos continuaron con la tesis de Arantza Aldezabal en la década siguiente (Aldezabal 2001, Aldezabal y García-González 2004).

Aldezabal (2001) analizó la interacción entre la vegetación y cuatro ungulados (vacas *Bos taurus*, ovejas, cabras *Capra aegagrus hircus* y sarríos), que aprovechan en simpatría y de forma complementaria la zona supraforestal (Puertos de Góriz) del PNOMP durante el período estival, de junio a septiembre. Aparte del interés que el estudio representó para el manejo del ganado en el PNOMP, el enfoque ecológico adoptado permitió revisar y reflexionar sobre los distintos aspectos metodológicos empleados, mostrando su validez y aplicabilidad en este tipo de sistemas pastorales (Figura 3).

Desde un punto de vista sanitario en la década de los 90 del siglo XX se realizan los primeros trabajos sobre carga parasitaria en los sarríos del Parque (Gonzalo *et al.* 1992). Estos trabajos continuaron en años sucesivos mediante el seguimiento y control sanitario del sarrío en Aragón (Arnal y Fernández de Luco 2004). Los muestreos efectuados en el Parque permitieron la publicación de novedosos y pioneros estudios sobre toxicología (Martínez *et al.* 1993) y genética molecular (Alvarez-Bustos *et al.* 2007).

Gran parte de la información que tenemos del sarrío en el Parque deriva del seguimiento al que está sometido. En principio este seguimiento era exclusivamente demográfico, considerando variables como el número de individuos, proporción de sexos, natalidad, mortalidad, etc. Hasta 1997 se lleva a cabo solamente en el PNOMP y a partir de 1998 se hace extensivo al conjunto del macizo de Monte Perdido, afectando también a parte de la RCV, Reserva de Caza de Los Circos y a los cotos aledaños. En 1998 comienzan a realizarse de forma simultánea el seguimiento biométrico de los animales cazados en las RC del Pirineo aragonés y con él, el seguimiento sanitario del macizo de Monte Perdido (Arnal 2011). Podemos decir por tanto que actualmente el sarrío es objeto de un triple seguimiento en el macizo de Monte Perdido: demográfico, sanitario y biométrico.

Un punto de inflexión importante en el estudio de los mamíferos del parque fue el inventario realizado a principios de siglo (García-González *et al.* 2003) y que ha servido de base para el desarrollo de este libro. En él, además de listar las especies presentes, algunas constituían nuevas citas para el Pirineo, se realizaban recomendaciones para su seguimiento, entre los que destacaba el sarrío.

Además, en 2002 (Herrero *et al.* 2004) una reunión pirenaica permitió tener una visión de conjunto de todos los seguimientos e investigaciones que se habían llevado a cabo sobre el sarrío en toda la cadena pirenaica.

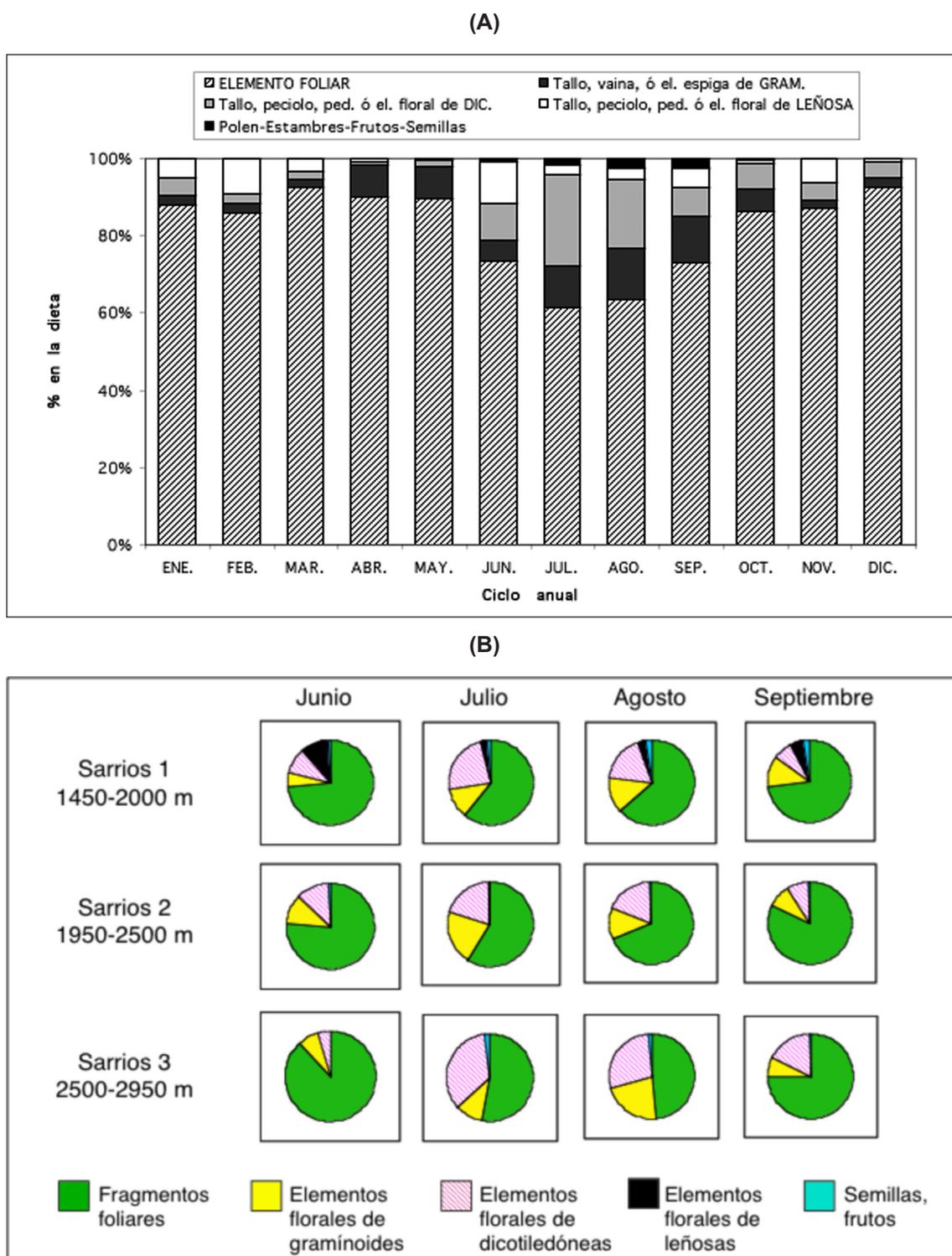


Figura 3. Evolución temporal observada en las proporciones mensuales de los elementos foliares (hojas) y no-foliares (tallo, vaina, flores, semillas, etc.) de las distintas categorías vegetales consumidas por los sarríos de la Solana de Punta Cuta (Aldezabal & García-González 2004): (A) Evolución anual; (B) Evolución estival. Sarríos 1: grupo forestal (1450-2000 m); Sarríos 2: grupo supraforestal (1950-2500 m); Sarríos 3: grupo supraforestal (2500-2950 m).

3. Consolidación del seguimiento

Si hay un fenómeno relevante que ha marcado la historia reciente del sarrío, este ha sido las epizootias, enfermedades contagiosas que afectan a un número elevado de animales al mismo tiempo). La primera conocida se produjo a finales de los años setenta y principios de los ochenta del siglo XX, afectó al conjunto de la población de sarrío del Pirineo y fue una queratoconjuntivitis infecciosa asociada a *Chlamydia psittaci* (Blanco *et al.* 1982). Esta enfermedad produce ceguera y los animales afectados suelen sufrir graves traumatismos que, junto con la incapacidad para desplazarse y alimentarse, finalmente les lleva a la muerte. No existía entonces un seguimiento propiamente dicho de la población, pero se asume que la mortalidad debió ser importante. Treinta años después, un segundo brote de la misma enfermedad afectó de nuevo al Parque Nacional en 2006. Esta vez existía un seguimiento y se pudo determinar para el conjunto del Pirineo aragonés una mortalidad del 20% entre 2006 y 2008 asociada a *Mycoplasma conjunctivae* (Arnal *et al.* 2013). Las poblaciones se recuperaron después mostrando tasas de crecimiento elevadas los primeros años.

El tercer brote epizootico lo produjo un pestivirus, concretamente el virus de la enfermedad de la frontera o *Border disease* (BDV-4) que es aislado principalmente en el ganado ovino. Elevadas mortalidades en sarríos del Pirineo han sido asociadas a este virus desde el año 2001 (Alzieu *et al.* 2004; Arnal *et al.* 2004, Hurtado *et al.* 2004). Si comparamos las estimas poblacionales del Macizo de Monte Perdido entre 2013 y 2014 se observa una pérdida del 50% de la población. La necropsia y estudios laboratoriales de algunos ejemplares permitió asociar el descenso de los ejemplares a la presencia del pestivirus.

Considerando la serie demográfica de los últimos 32 años (1986-2018) podemos diferenciar varios periodos. Un primer periodo (1986-1998) en el que solamente se llevaba a cabo un seguimiento demográfico en el Parque Nacional. En él hubo una importante estabilidad en el número de ejemplares presentes en el fondo del Valle del Arazas (la zona protegida desde 1918, Ordesa) y un fuerte crecimiento en las áreas resultantes de la ampliación de 1984 y provenientes de la RCV (Añisclo, Escuaín y Pineta, Figura 4). Un segundo periodo, tras el comienzo del seguimiento coordinado del conjunto del Macizo de Monte Perdido, plantea una visión de conjunto más amplia de lo que ocurre en el Parque Nacional. Tras una tendencia positiva de diversos años (entre 1998 y 2006 la población del macizo tuvo una tasa media de crecimiento anual del 6,3%), la queratoconjuntivitis en 2006 (primer macizo aragonés afectado, Arnal *et al.* 2013) y después el pestivirus en 2013 (Figura 5) han modelado una dinámica poblacional oscilante, tal y como ocurre en otras zonas del Pirineo (Pañella *et al.* 2010) en la que las sucesivas crisis son seguidas de recuperaciones.

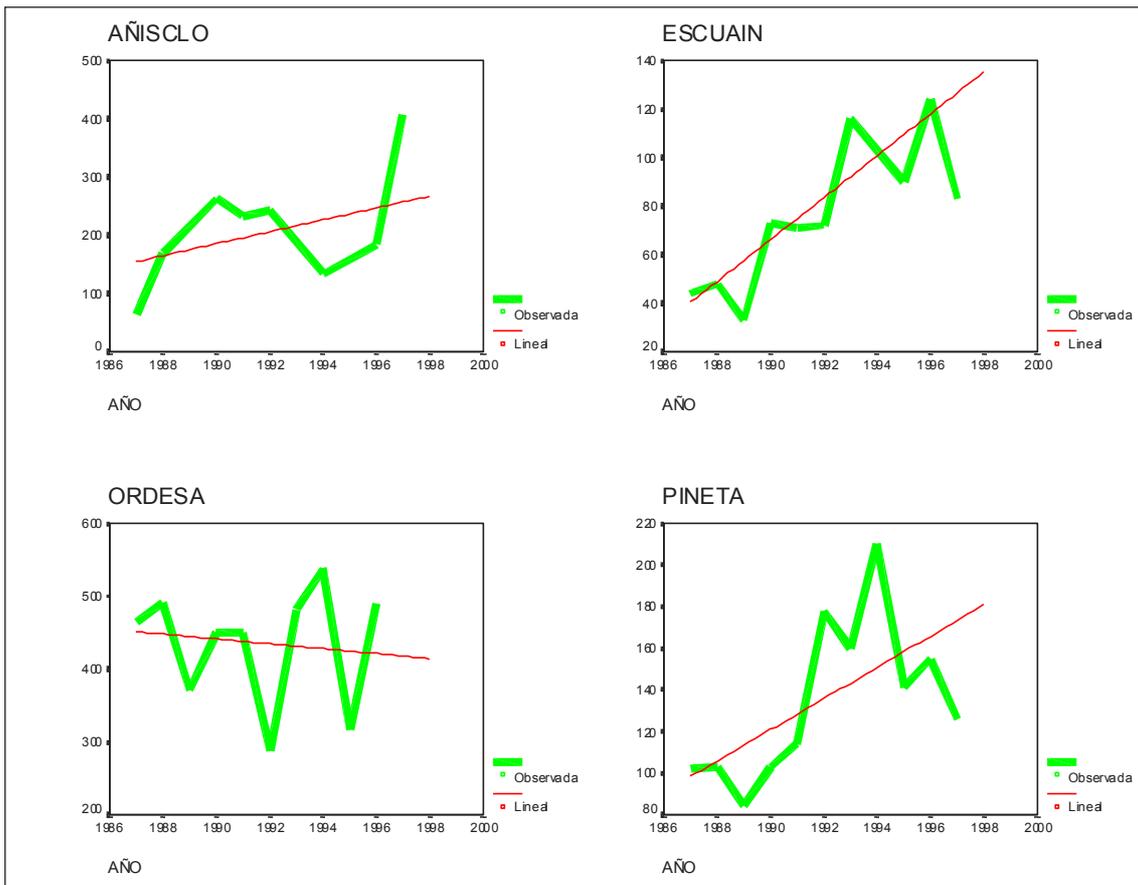


Figura 4. Seguimiento del sarrío entre 1986 y 1997 en el PNOMP por sectores.

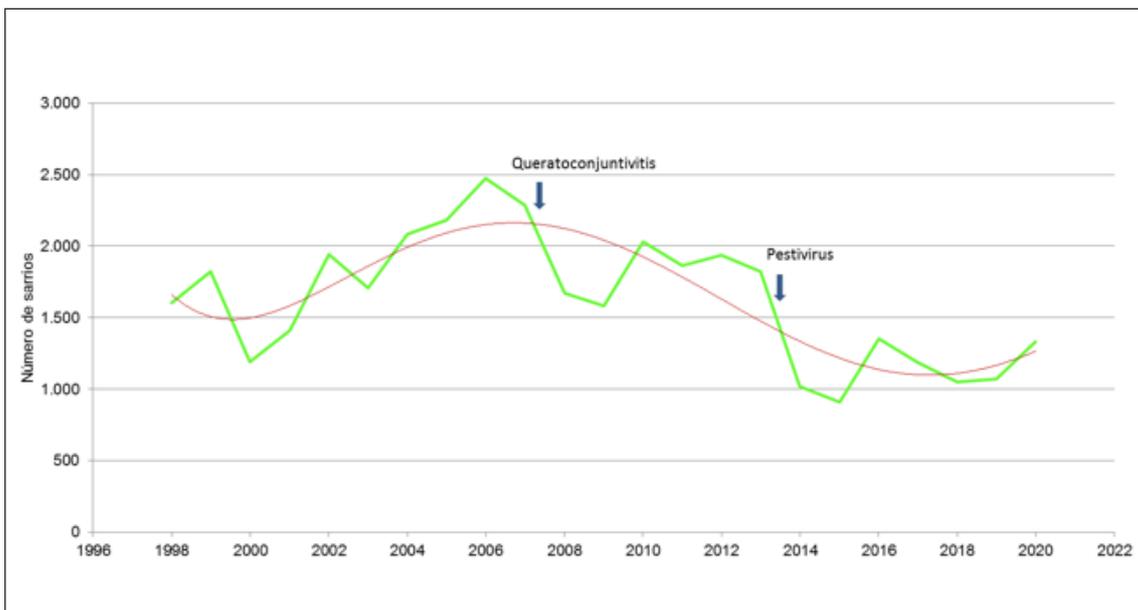


Figura 5. Seguimiento del sarrío en el macizo de Monte Perdido, 1998-2020.

La estructura de la población en el macizo de Monte Perdido, entendiendo ésta como el porcentaje de individuos pertenecientes a cada una de las clases de edad y sexo consideradas, presenta unos valores adecuados en una población asentada de sarríos y similares a la de otros macizos pirenaicos aragoneses: 23% de machos adultos; 39% de hembras adultas; 16% de segallos y 22% de cabritos en 2019. Se observa un mayor número de hembras que de machos (razón de sexos media de 0,70 machos/hembras desde 2001) y una productividad media en los últimos años del 62%, es decir, el 62% de las hembras adultas son seguidas por cabritos en primavera.

4. A modo de conclusiones

Resaltamos la importancia de los seguimientos a largo plazo como instrumentos indispensables para la comprensión de fenómenos naturales y como herramienta para la gestión y conservación de poblaciones, objeto o no de explotación, así como de los ecosistemas y su funcionalidad. También del papel de las áreas no cinegéticas y de las zonas cinegéticas gestionadas por las administraciones públicas (Parques Nacionales y Reservas de Caza, respectivamente). Estas han sido una herramienta fundamental para la recuperación del sarrío y de otras poblaciones (Pita *et al.* 2012).

5. Agradecimiento

Queremos agradecer a los Agentes de Protección de la Naturaleza y personal sobre el terreno del Parque Nacional y del Gobierno de Aragón, por la labor de seguimiento realizada durante todos estos años. También en particular a Luis Marquina que, como técnico, comenzó e impulsó el seguimiento del sarrío en el Parque, así como a Elena Villagrasa, quien desde hace años coordina esta labor. Contra viento y marea, el seguimiento del sarrío continúa. Desde 1998 el seguimiento del sarrío es objeto de una financiación específica a través de asistencias técnicas por parte del Gobierno de Aragón.

6. Referencias

ALDEZABAL, A. (2001). *El sistema de pastoreo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Pirineo Central, Aragón)*. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Zaragoza.

- ALDEZABAL, A. y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (2004). “La alimentación del sarrío en el Pirineo central”. En: HERRERO, J., ESCUDERO, E., FERNÁNDEZ DE LUCO, D. y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (eds.), *El sarrío pirenaico* Rupicapra p. pyrenaica: *Biología, Patología y Gestión*. Zaragoza: Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón pp 169-189.
- ÁLVAREZ-BUSTO, J., GARCÍA-ETXEARRIA K., HERRERO J., GARÍN I. y JUGO, B.M. (2007). “Diversity and evolution of the Mhc-DRB1 gene in the two endemic Iberian subspecies of Pyrenean chamois, *Rupicapra pyrenaica*”. *Heredity* 99: 406-413.
- ALZIEU, J.P., DEPLANCHE, M., MOULIGNIE, M., LETELLIER, C., LACROUX, C., DUQUESNEL, R., BARANOWSKI, E., MEYERS, G., KERKHOF, P. y SCHELCHE, F. (2004). “First description of pestivirus infection in *Rupicapra pyrenaica pyrenaica*”. *Bulletin of the French Veterinary Academy* 157: 49-54.
- ARNAL M.C. (2011). *Estudio sanitario del sarrío Rupicapra p. pyrenaica en el Pirineo aragonés*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. Departamento de Patología Animal. 221 pp.
- ARNAL M.C. y FERNÁNDEZ DE LUCO, D. (2004). “Estudio sanitario del sarrío en el Pirineo aragonés (1997-2002)”. En: HERRERO, J., ESCUDERO, E., FERNÁNDEZ DE LUCO, D. y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (eds.). *El sarrío pirenaico* Rupicapra p. pyrenaica: *Biología, Patología y Gestión*. Zaragoza: Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, pp. 125-132.
- ARNAL, M.C., FERNÁNDEZ DE LUCO, D., RIBA, L., MALEY, M., GILRAY, J., WILLOUGHBY, K., VILCEK, S. y NETTLETON, P.F. (2004). “A novel pestivirus associated with death in Pyrenean chamois (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*)”. *Journal of General Virology* 85: 3653-3657.
- ARNAL, M.C., HERRERO, J., DE LA FE, C., REVILLA, M., PRADA, C., MARTÍNEZ-DURÁN, D., GÓMEZ-MARTÍN, A., FERNÁNDEZ-ARBERAS, O., AMORES, J., CONTRERAS, A., GARCÍA-SERRANO, A. y FERNÁNDEZ DE LUCO, D. (2013). “Dynamics of an infectious keratoconjunctivitis outbreak by *Mycoplasma conjunctivae* on Pyrenean chamois *Rupicapra p. pyrenaica*”. *Plos One*, 8(4): e61887. doi:10.1371/journal.pone.0061887.
- BLANCO, A., MARCOTEGUI, M.A., DE FRUTOS, I., DE LA ESPERANZA, P. y SÁEZ, C. (1982). “Queratoconjunctivitis clamidial en el rebeco (*Rupicapra rupicapra ssp. pyrenaica*)”. *INIA (Serie Ganadera)* 17: 79-85.
- BRIET, L. (1977). *Bellezas del Alto Aragón*. Huesca: Diputación Provincial de Huesca (2.^a ed. 1977).
- BRUN, J.M. y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (1989). “Differential behavioural patterns of Pyrenean Chamois during rut”. En C.I.C. (eds.). *Symposium Chamois*, Ljubljana 1988. París, pp. 109-125.
- CLOT, A. y DURANTHON, F. (1990). *Les mammifères fossiles du Quaternaire dans les Pyrénées*. Toulouse: Museum d'Histoire Naturelle de Toulouse.

- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.M. y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (1986). “Craniometrie comparée entre le chamois pyrénéen et le cantabrique”. *Mammalia* 50: 87-97.
- FERNÁNDEZ REYES, J. (1965). *Zoología* (Cap. VI). Parque Nacional de Ordesa. Madrid: SNPEC, pp. 87-90.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (1985). “Datos preliminares para el estudio de las poblaciones de sarrío (*Rupicapra rupicapra pyrenaica* Bonaparte, 1844) en el Pirineo Central”. *Munibe (Ciencias Naturales)* 37: 5-15.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R. y CUARTAS, P. (1996). “Trophic utilization of a montane/subalpine forest by chamois (*Rupicapra pyrenaica*) in the Central Pyrenees”. *Forest Ecology and Management* 88: 15-23.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R. y BARANDALLA, I. (2002). “Sexual dimorphism of Pyrenean chamois (*Rupicapra p. pyrenaica*) based on skull morphometry”. *Pirineos* 157: 25-37.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R., HIDALGO, R., AMEZTOY, J.M. y HERRERO, J. (1992). “Census, population structure and habitat use of a chamois population in Ordesa N.P. living in sympatry with the Pyrenean wild goat”. En SPITZ, F., JANEAU, G., GONZÁLEZ, G. y AULAGNIER, S. (eds.). *Ongulés/Ungulates*, 91. Paris-Toulouse: SFEPM-IRGM, pp. 321-325.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R., HIDALGO, R., BERDUCOU, C., MARQUINA, L. y GUARDAS PNP y PNOMP (1993). “Capture et marquage d’isards (*Rupicapra r. pyrenaica*) dans le Parc National d’Ordesa et Mont Perdu (Espagne)”. En: DUBRAY, D. (ed.), *Techniques de capture et marquage d’Ongulés sauvages*. ONC, Montpellier, Mèze (Herauld), 20-22 Mars 1990, pp. 304-306.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R., AIHARTZA, J.A., GARIN, I., GOITI, U., TRUJILLO, D., ZABALA, J., GOSALBEZ, J., LUQUE, J.J., MONREAL, E., AYMERICH, P., GÖTZENS, G., COUTO, S., HERRERO, J., HERNÁNDEZ, Y. y PRADA, C. (2003). *Inventario y criterios de gestión de los mamíferos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. Convenio OAPN - CSIC, Huesca-Jaca.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R., HERRERO, J., GAÑÁN, N., HERNÁNDEZ, Y. y COUTO, S. (2013). “Influencia de algunos factores antrópicos y ambientales sobre la calidad del trofeo del sarrío”. En: *El sarrío pirenaico Rupicapra p. pyrenaica: biología, patología y gestión*. Actas de las Primeras Jornadas sobre el Sarrío Pirenaico. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón y de la Fundación para el Estudio y Defensa de la Naturaleza y la Caza. Serie Investigación, número 46, 263 páginas. ISBN: 84-89862-47-8. Herrero J, Escudero E, Fernández de Luco D, García-González R, editores. Tercera edición.
- GONZALO, J., LUCIENTES, J. y CASTILLO, J.A. (1992). “Bronchopulmonary nematodes in Chamois (*Rupicapra pyrenaica*) in Ordesa and Monte Perdido National Park (Pyrenees of Aragon, Spain)”. *Verh. Ber. Erkr. 34*: 367-370.
- GORTÁZAR, CH., HERRERO, J., VILLAFUERTE, R., MARCO, J. (2000). “Historical examination of the status of large mammals in Aragon, Spain”. *Mammalia* 64: 411-422.

- HERRERO, J., GARIN, I. y GARCÍA-SERRANO, A. (2003). “Evolución demográfica y seguimiento del sarrío (*Rupicapra pyrenaica*) en el PNOMP”. En: GARCÍA-GONZÁLEZ, R., AIHARTZA, J.A., GARIN, I., GOITI, U., TRUJILLO, D., ZABALA, J., GOSALBEZ, J., LUQUE, J. J., MONREAL, E., AYMERICH, P., GÖTZENS, G., COUTO, S., HERRERO, J., HERNÁNDEZ, Y. y PRADA, C. (eds), *Inventario y criterios de gestión de los mamíferos del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Anexo I*. Jaca-Madrid: Convenio CSIC-OAPN. Informe inédito.
- HERRERO, J., ESCUDERO, E., FERNÁNDEZ DE LUCO, D. y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (2004). *El sarrío pirenaico Rupicapra p. pyrenaica: biología, patología y gestión*. Actas de las Primeras Jornadas sobre el Sarrío Pirenaico. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón y de la Fundación para el Estudio y Defensa de la Naturaleza y la Caza. Serie Investigación, número 46, 263 pp. Primera edición.
- HIDALGO, R. y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (1989). “Seasonal variation of the group size and composition in Pyrenean chamois”. *Fifth International Theriological Congress*, Roma, pp. 819-820.
- HIDALGO, R., HAWKINS, R.E., HERRERO, J., AMEZTOY, J.M. y GARCÍA-GONZÁLEZ, R. (1991). “Radio-tracking problems in rugged mountain environments”. *4th European International Conference on Wildlife Telemetry*, Aberdeen, Scotland. 16-20 Sept. 1991.
- HURTADO, A., ADÚRIZ, G., GÓMEZ, N., OPORTO, B., JUSTE, R. A., LAVÍN, S., LÓPEZ-OLVERA, J.R. y MARCO, I. (2004). “Molecular identification of a new pestivirus associated with increased mortality in the Pyrenean Chamois (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) in Spain”. *Journal of Wildlife Diseases* 40: 796-800.
- JIMENO-BRABO, P., GARCÍA-GONZÁLEZ, R. y HERRERO, J. (2013). “An exploratory approach to determine factors shaping Pyrenean chamois horn size”. En: SEFAS (ed.), *II Rupicapra Symposium. Biology, Health, Monitoring and Management Abstracts*, Bellver de Cerdanya (Lleida). 24-25 Oct. 2013. pp 83-84.
- MARTÍNEZ, M.C., GARGALLO, S., FERRANDO, P., MALUENDA, J., RALDUA, D., QUÍLEZ, J., GONZALO, J. y PEDROCCHI, C. (1993). “Concentración de pesticidas organoclorados en sarríos (*Rupicapra rupicapra*) del Parque Nacional de Ordesa y Monte perdido”. *Lucas Mallada*, 5: 101-105.
- PAÑELLA, P., HERRERO, J., CANUT, J. y GARCÍA-SERRANO, A. (2010). “Long-term monitoring of Pyrenean chamois in a protected area reveals a fluctuating trend”. *Hystrix* 21(2): 183-188.
- PASCUAL, R. (1982). “La caza prohibida: el bucardo de los Pirineos”. *Trofeo* 141: 22-26.
- PITA FERNÁNDEZ, M., CASAS BARGUEÑO, S., HERRERO, J., PRADA, C. y GARCÍA POST, R. (2012). “Game Reserves in Spain: the public management of hunting”. *Forest Systems* 21(3): 398-404.

10. LIII Campaña Escuaín 2021. Exploraciones espeleológicas - Grup d'Espeleologia de Badalona

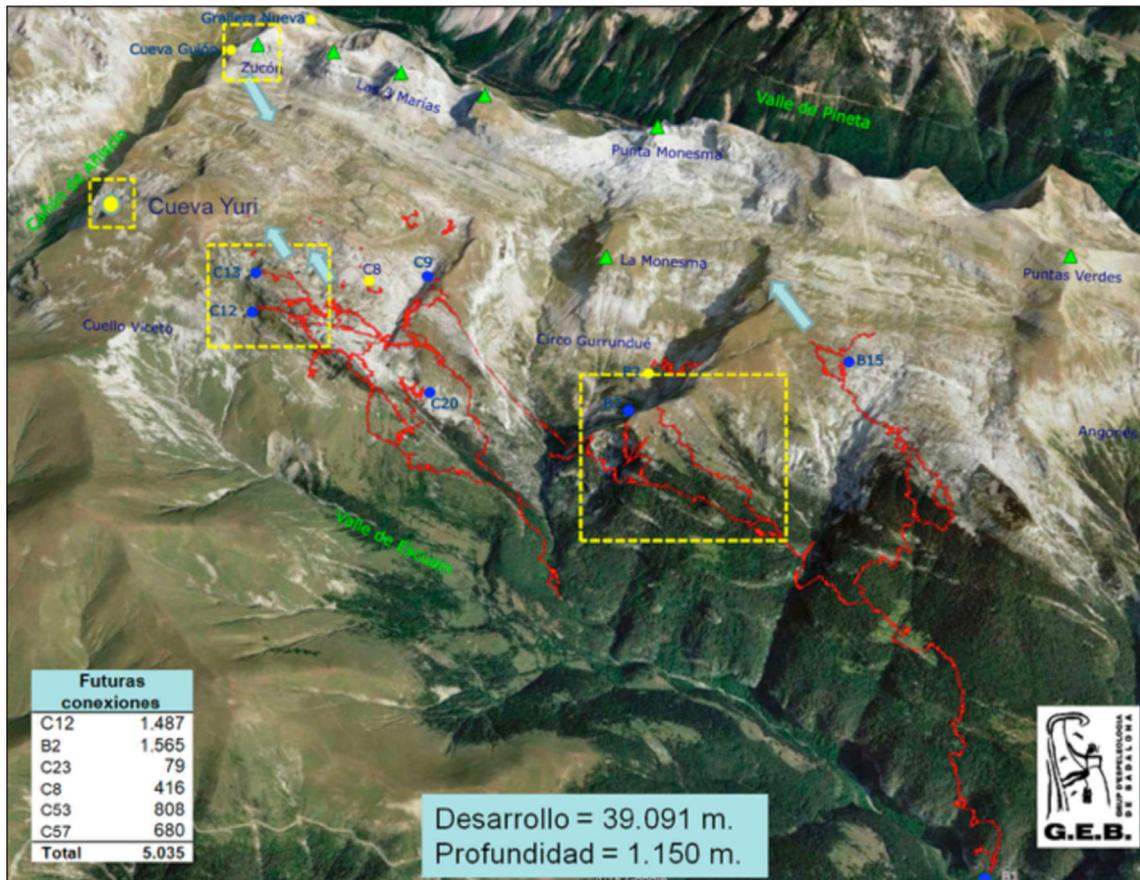
Brauli Torres Milla

Grupo de Espeleología de Badalona (GEB)



1. Zonas de trabajo y resultados 2021

En el 2021 hemos trabajado 4 sectores: la cueva del Guión, la cueva Yuri, el C13 y el B7 (meándrico).



Evolución del desarrollo por cavidades

| Simas | 1985 | 1991 | 2004 | 2007 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B15-B7-B1 | 6.762 | 13.363 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 |
| C9 | 5.744 | 5.744 | 5.744 | 6.019 | 6.148 | 6.148 | 6.148 | 6.746 | 7.094 | 7.094 | 7.094 | 7.094 | 7.094 | 7.567 | 7.567 |
| C20 | 3.850 | 3.850 | 3.850 | 3.850 | 5.771 | 7.036 | 8.073 | 9.650 | 11.032 | 11.172 | 11.172 | 12.165 | 12.345 | 12.345 | 12.345 |
| C13 | 1.195 | 2.674 | 2.674 | 2.674 | 2.674 | 2.674 | 2.674 | 2.674 | 2.674 | 3.204 | 3.548 | 4.343 | 4.643 | 4.643 | 4.938 |
| Total | 17.551 | 25.631 | 26.509 | 26.784 | 28.834 | 30.099 | 31.136 | 33.311 | 35.041 | 35.711 | 36.055 | 37.843 | 38.323 | 38.796 | 39.091 |

Evolución del sistema conectado

| Simas | 1985 | 1991 | 2004 | 2007 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| B15-B7-B1 | 6.762 | 13.363 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 | 14.241 |
| C9 | | | | | 6.148 | 6.148 | 6.148 | 6.746 | 7.094 | 7.094 | 7.094 | 7.094 | 7.094 | 7.567 | 7.567 |
| C20 | | | | | 5.771 | 7.036 | 8.073 | 9.650 | 11.032 | 11.172 | 11.172 | 12.165 | 12.345 | 12.345 | 12.345 |
| C13 | | | | | | 2.674 | 2.674 | 2.674 | 2.674 | 3.204 | 3.548 | 4.343 | 4.643 | 4.643 | 4.938 |
| Total | 6.762 | 13.363 | 14.241 | 14.241 | 26.160 | 30.099 | 31.136 | 33.311 | 35.041 | 35.711 | 36.055 | 37.843 | 38.323 | 38.796 | 39.091 |

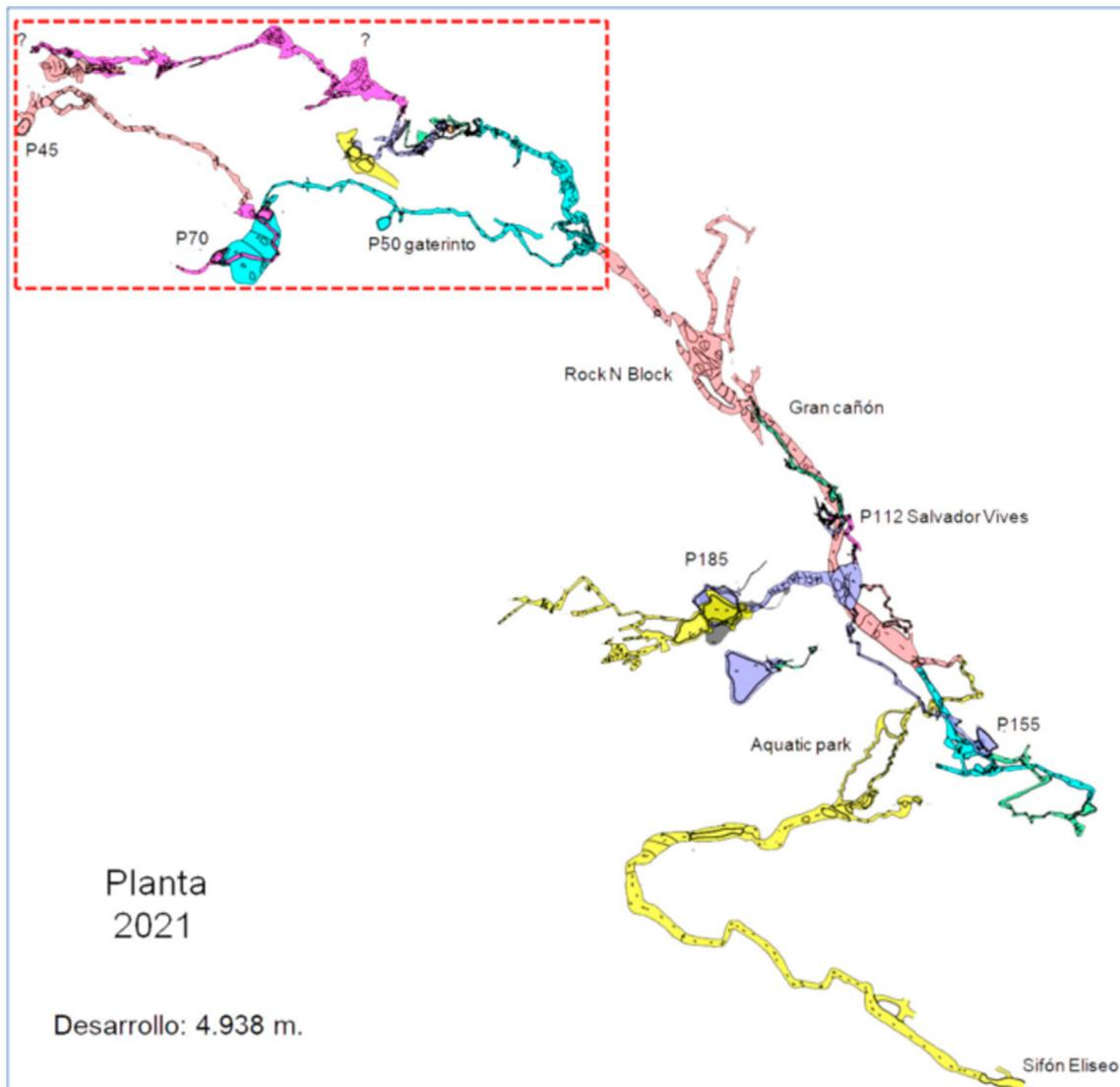
Nota. Se ha detectado un error en el desarrollo del C13 de los años 2019 y 2020, corregido en el 2021.

Los resultados más importantes en desarrollo los hemos conseguido en el C13, descubriendo nuevas galerías con un desarrollo de 845 m y con un desnivel positivo de 165 m, ahora el C13 cuenta con un desarrollo total de 4938 m y que seguramente será mucho mayor, ya que hemos dejado pendientes por explorar 5 incógnitas nuevas.

En el C13 se han descubierto en los últimos años grandes verticales, cuenta con el pozo mas grande de todo el sistema un P185 (escalado desde sus +50 m), un P155 (escalado desde sus +80) y un P112.

Destacar que en el C13 se ha avistado una colonia de murciélagos vivos en las galerías fósiles superiores descubiertas este año 2021, anteriormente se había visto algún individuo aislado en otros sectores de esta cavidad, en ninguna otra cavidad del sistema a fecha de hoy se han visto murciélagos vivos.

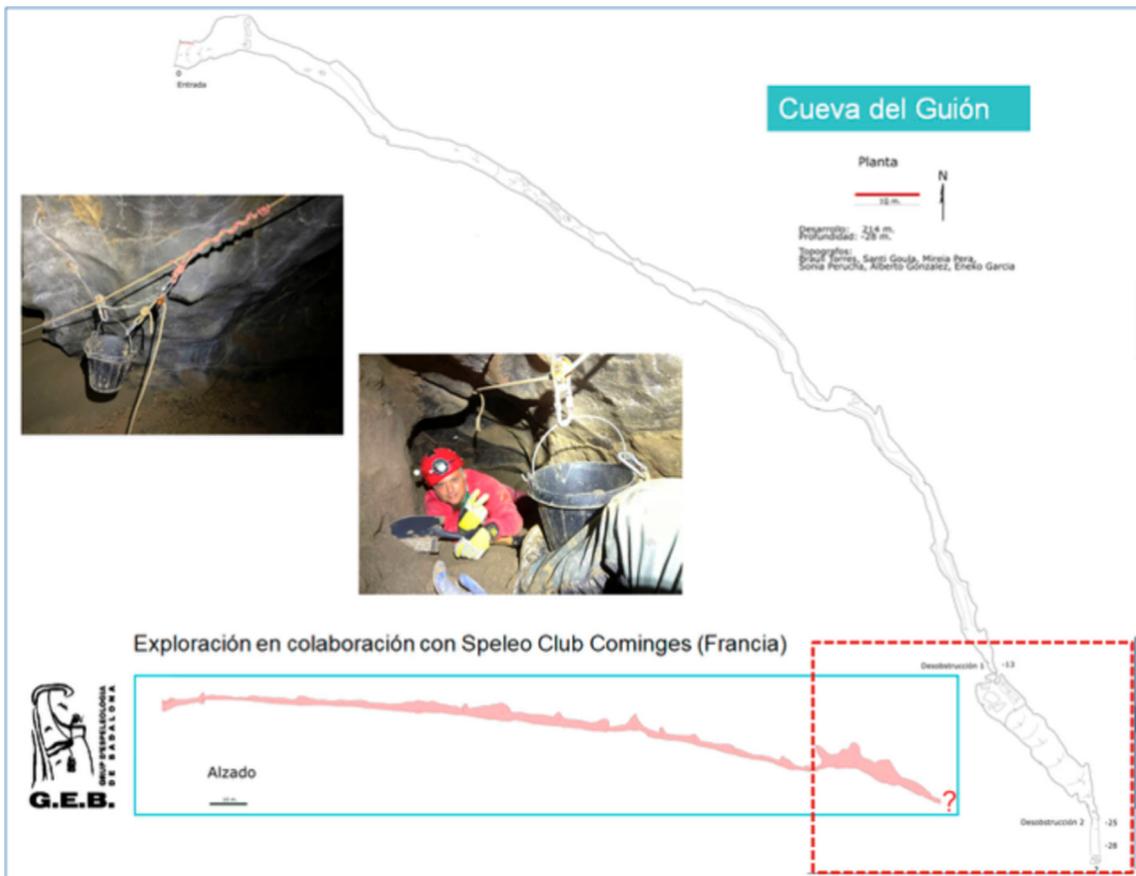
La Cueva del Guión con un desarrollo de 214 m a 2331 m de altitud, es un tubo de presión con un diámetro medio de entre 3 y 5 m colgado en la pared este del Cañón de Añisclo y que su desarrollo va en dirección al sistema de Escuaín, pensamos que puede conectar.



Esta exploración se está realizando conjuntamente con Speleo Club Cominges (Francia), que la descubrieron y exploraron hasta el primer sifón de sedimentos, desobstruido en el 2020 por el GEB encontrando nuevas galerías de mayores dimensiones y un segundo sifón de arena que se está desobstruyendo.

La cueva Yuri es una cavidad nueva con un desarrollo de 259 m a 2092 m de altitud, queda pendiente una desobstrucción.

También se ha reequipado el B7 (el meándrico) con más de 500 m de cuerda nueva con el objetivo de explorar en el 2022 la galería de los Mosquitos y la galería Milka.



2. Precisión en las topografías en los últimos 53 años

En la poligonal del sistema conviven datos de mas de 5 décadas, cogidos con instrumentos diversos con precisiones muy distintas, su evolución:

| Período | Instrumentos en cavidad | | | Software PC | | | Toma visual | Declinación Magnética | Ubicación | |
|-----------|-------------------------|-------------|-----------|------------------|-----------|-----------|-------------|-----------------------|-----------|-------|
| | Rumbo | Inclinación | Distancia | Proceso datos | Dibujo | Poligonal | | | | otros |
| 1961-2002 | Brújula | Clinómetro | Cinta | -- | papel | -- | -- | al cuerpo | ? | ? |
| 2003-2009 | Brújula | Clinómetro | Cinta | -- | CorelDraw | Survex | -- | al cuerpo | ? | GPS |
| 2010-2011 | Brújula | Clinómetro | Cinta | PDA-Auriga | Inskape | Compass | kml,dxf | a estación fija | corregida | GPS |
| 2012-2017 | | DistoX2 | | PDA-Auriga | Inskape | Compass | kml,dxf | a estación fija | corregida | GPS |
| 2018-2019 | | DistoX2 | | Tablet-Auriga | Inskape | Compass | kml,dxf | a estación fija | corregida | GPS |
| 2020-2021 | | DistoX2 | | Tablet-Topodroid | Therion | Therion | kml,dxf,asc | a estación fija | corregida | GPS |

En el 2010 se reconstruye la poligonal de todo el sistema a partir de las topografías a papel 2D a un modelo digital 3D, esto nos permite tener una visión global del conjunto pero no mejora la precisión de los datos antiguos.

Para mejorar la precisión de los datos antiguos y minimizar los errores en los cierres de bucle la única solución eficiente es volver a topografiar todas las cavidades con instrumentos láser modernos bien calibrados.

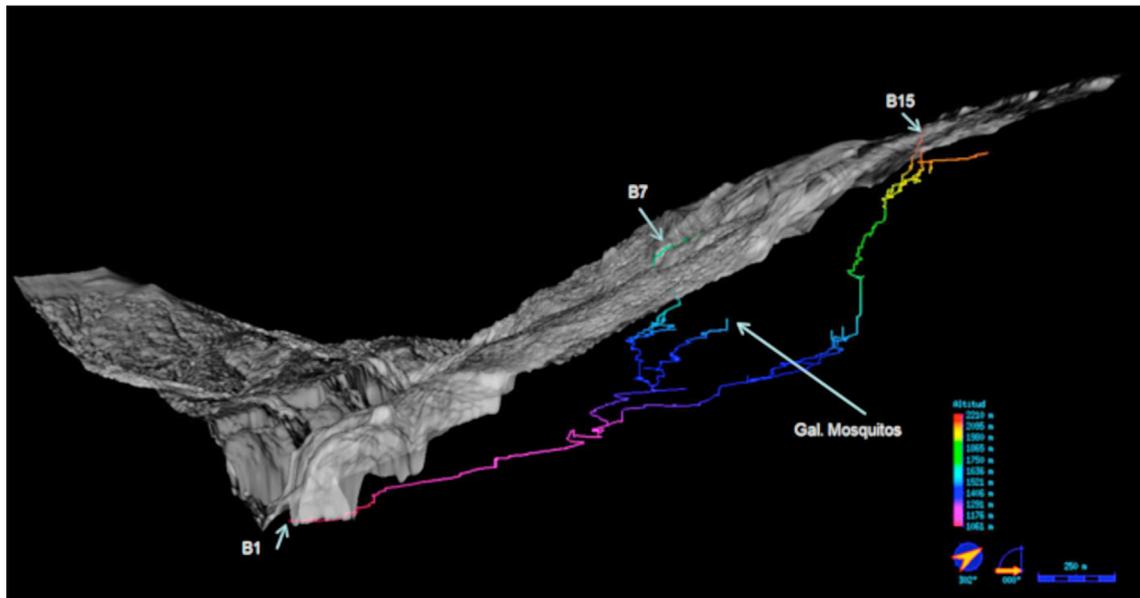
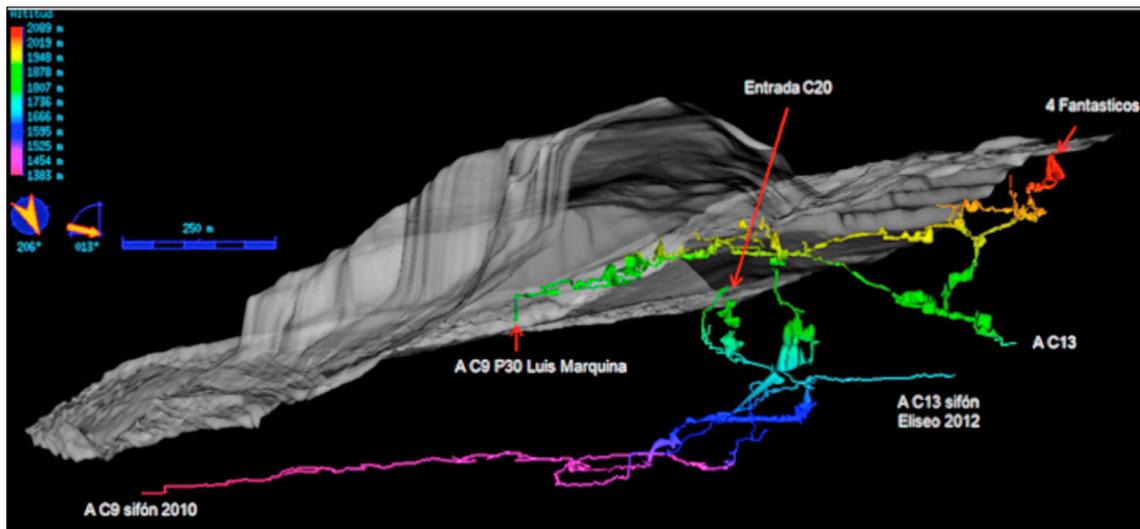
Esto implica un trabajo enorme, estamos en un sistema que se acerca a los 40 km, y una profundidad de 1150 m, pero es posible, podemos coordinar diferentes grupos de topógrafos y reconstruir una cavidad al año.

Instrumentos utilizados para la toma de datos en los últimos 53 años



3. Nuevas herramientas de topografía para el análisis

Actualmente todo el proceso de topografía es digital, desde la toma de datos con tablets conectadas por bluetooth con lasers, el dibujo con Topodroid en cavidad y la generación de modelos 3D tanto de la cavidad como de la malla de altimetría de la superficie con Therion.



Además podemos verificar el correcto posicionamiento de la cavidad sobre ortofotos o cartografía digital. También nos permite caminar en superficie por encima de la cavidad con un GPS, tableta o teléfono móvil y buscar posibles entradas.



4. Mejora en la metodología en la escalada con barra y pulsers



Con los pulsers y barra con estribos podemos escalar grandes pozos con poco material mas rápido, ya que los pulsers son recuperables.

5. Agradecimientos al equipo 2021

La campaña del 2021 se ha podido realizar gracias a la colaboración de los grupos del GREC y de la SIS de Tarrasa y de más de 23 espeleólogos.

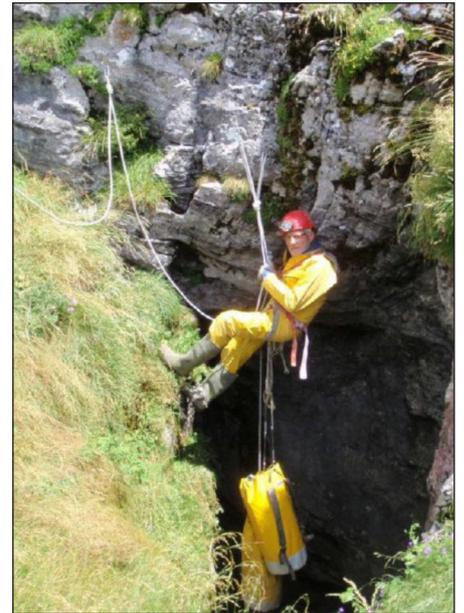
También agradecer el apoyo de PNOMP, la Federación Catalana (FCE) y la Federación Aragonesa (FAE).



Francesc Alfambra, Jordi Ferreras, Emilia Doña, Jordi Llorca, Avent Sandoval, Sonia Perucha, Brauli Torres, Carles Cases, Jaume Mas, Lluç Cases, Carles Casas, Alberto Terrón, Xavi Fuertes, Àngel Villaret, Xavi Soler, Victor Bonilla, Sergio Ferreras, Eneko García, Santi Goula, Mireia Pera, Carles Sanz, Rosa Domínguez y Toni Macià.

11. Apuntes históricos, taxonómicos y biogeográficos de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976 y de su localidad típica El Forat d'A Bufona (C-20), de *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1899, con un listado de capturas y de *Trapezodirus altimontanus* Bellés, 1975 del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

Francesc Alfambra Domínguez
Biólogo, Grup d'Espeleologia de Badalona



Aphaenops mensionii Lagar, 1976. (Foto: F. Alfambra).

Resumen: Bioespeleología: apuntes históricos, taxonómicos y biogeográficos de la biodiversidad de coleópteros subterráneos pirenaicos sobre todo del Sobrarbe. Damos cuenta de dos raras joyas entomológicas endémicas del macizo de Escuaín del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

Abstract: Biospeleology: historical, taxonomic and biogeographical notes of Pyrenean biodiversity of underground beetles, especially of the Sobrarbe. We account for two rare Pyrenean entomological jewelery and endemics of Escuaín massif within of Ordesa National Park and Monte Perdido.

Key words: biospeleology, underground beetles, Pyrenean endemism, National Park, biogeographical distribution, biodiversity richness.

1. Introducción

El Pirineo y especialmente el Pirineo Axial sobrarbense se ha revelado como una de las regiones con mayor biodiversidad en fauna hipogea de coleópteros cavernícolas. No es una casualidad que el macizo del Monte Perdido, en el corazón del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, sea el macizo calcáreo mas elevado de Europa.

La porosidad y la gran capacidad de cavitación subterránea típica de los materiales sedimentarios carbonatados de este macizo facilitaron la colonización, la radiación y la diversificación de los coleópteros subterráneos, especialmente de los grupos *Leiodidae Cholevinae Leptodirini* y *Carabidae Trechinae*. Recientemente, numerosos descubrimientos lo han puesto de manifiesto: Escolà y Fresneda (2000), Faille y Bourdeau (2008, 2011), Faille *et al.* (2007, 2010), Fresneda y Bourdeau (2012), Fresneda y Comas (2007), Fresneda y Dupré (2010), Fresneda y Escolà (2000, 2001), Fresneda y Fery (2009), Fresneda y Hernando (1988, 1990, 1991, 1994), Fresneda y Salgado (2006), Fresneda *et al.* (1998, 2010b, d), Salgado y Fresneda (2000), Faille y Comas (2014).

En el artículo “Nuevas capturas de *Aphaenops mensioni* Lagar, 1976, con un inventario de la fauna hipogea terrestre del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido” de Javier Fresneda, Francesc Alfambra, Charles Bourdeau, Arnaud Faille, Ignacio Ribera (2015), publicado en el número 21 de la revista *Exploracions*, pusimos de relieve la rica biodiversidad faunística que caracteriza el medio subterráneo profundo del Parque Nacional y macizos asociados. La sierra d’As Zucas o macizo de Escuaín, comprendido en parte dentro del Parque Nacional es una buena muestra de ello.

2. Marco geológico y geográfico del macizo de Escuaín

Separado de las Tres Sorores por la impresionante entalladura del cañón de Añisclo, originado por el glaciario cuaternario, el macizo de Escuaín y el de Monte Perdido forman parte de la compleja unidad geológica y estructural del manto de corrimiento de



Los Basones con las Tres Sorores y la sierra d'As Sucas al fondo. (Foto: F. Alfambra).

Gavarnie. La elevación, los grandes pliegues y el cabalgamiento de roca caliza a lo largo de varios kilómetros que caracterizan este manto, tuvieron lugar durante la orogenia Alpina-Pirenaica del Eoceno (65-35 millones de años). Esta formación geológica fué generada por la colisión de la placa tectónica africana con la microplaca ibérica por el sur y con la euroasiática al norte. La sierra d'As Zucas limitan al norte, con el valle glaciar de Pineta y el río Cinca y al sur con el valle de Escuaín y la gran falla de las gargantas del mismo nombre, profundamente excavadas por el río Yaga. Y al este por el río Cinca, desde Bielsa hasta Hospital de Tella, donde el Cinca recibe las aguas tributarias del Yaga, de la vertiente sur del macizo, incluyendo las subterráneas, procedentes de las surgencias cársticas de las Fuentes de Escuaín (Bibers d'o Campillón) y del Artiguo Bajo.

3. Coleópteros cavernícolas endémicos del Parque Nacional y su distribución biogeográfica

El Orden Coleoptera perteneciente a la Clase Insecta es el grupo mejor representado en el macizo de Escuaín y en el Parque Nacional. Aunque el inicio de su estudio data de finales del siglo XIX (*Escalera*, 1898) y principios del siglo XX (*Jeannel&Racovitza*, 1905), su conocimiento dista mucho de haberse completado. Hay dos grupos con endemismos en el macizo de Escuaín y en el Parque Nacional, y otros de distribución pirenaica y macizos asociados bien representados:

3. 1. Coleoptera: *Carabidae Trechinae*

Los Trechini pirenaicos se incluyen en tres géneros:

- *Aphaenops* (42 especies)
- *Geotrechus* (24 especies)
- *Hydraphaenops* (18 especies).

Todos son endemismos del Pirineo y están muy adaptados a la vida subterránea. Hay que resaltar el polifiletismo detectado en los tres géneros y la total ausencia de representantes epigeos, lo que indica un origen único para los Trechini hipogeos de los Pirineos y una posterior diversificación datada en el Mioceno. En el Parque Nacional encontramos cuatro especies, dos de las cuales, que hemos subrallado, son endémicas del macizo de Escuaín:

1. *Aphaenops hidalgoi*, Español&Comas, 1985

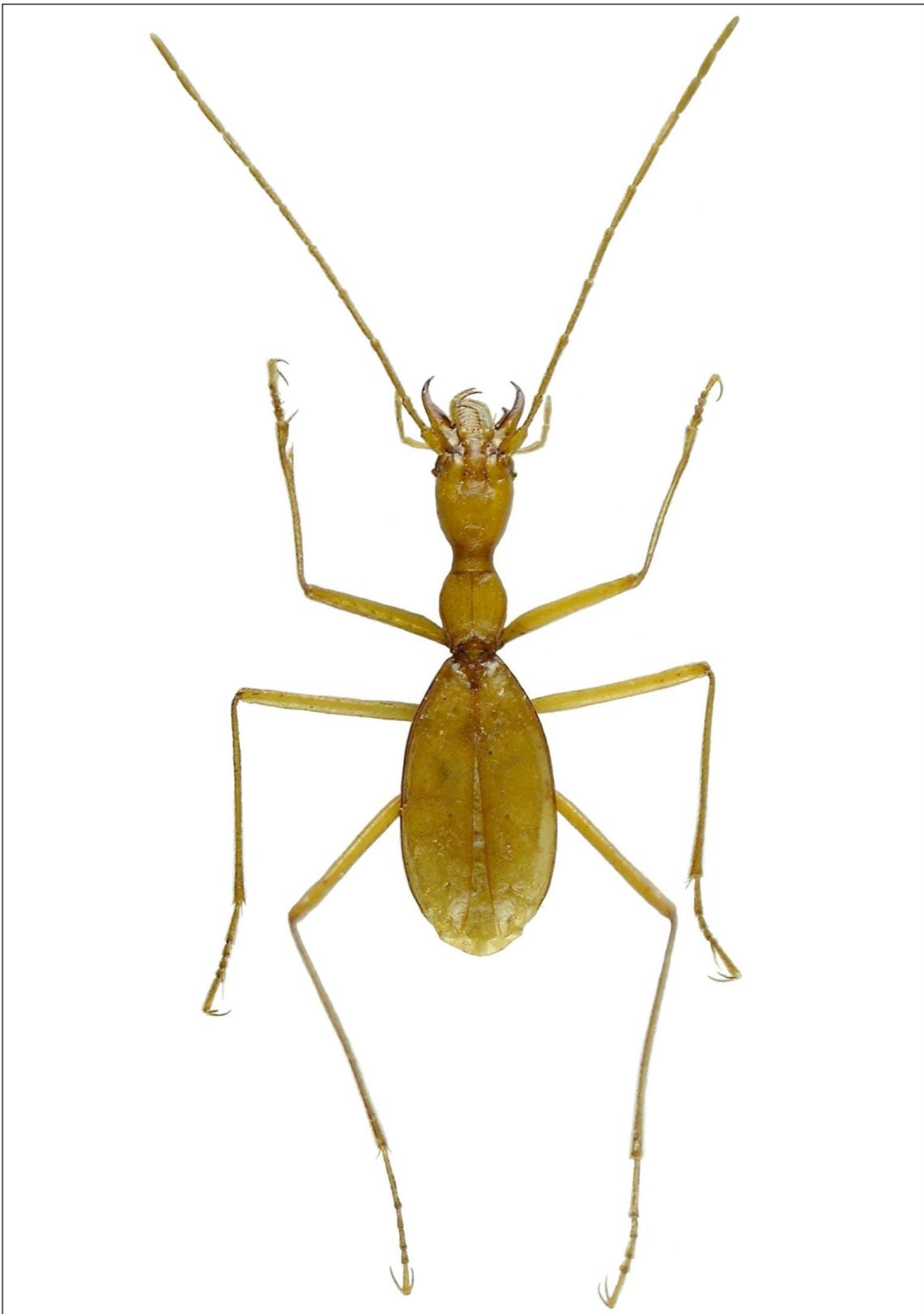
Endemismo pirenaico localizado en cuatro cavidades: del macizo de Tendeñera, Biescas-cueva d'O Chelo (localidad típica) y de Torla-Cueva T-1-; también cueva 60 en el llano de Millaris (Escolà, 2003) y en una cavidad en la Punta de las Olas (Faille, 2006b).

2. *Aphaenops mensionii*, Lagar, 1976

Es una especie notable de entre las menos conocidas de la fauna cavernícola de los Pirineos. Desde la captura efectuada por Josep Mension en el año 1976 de un único



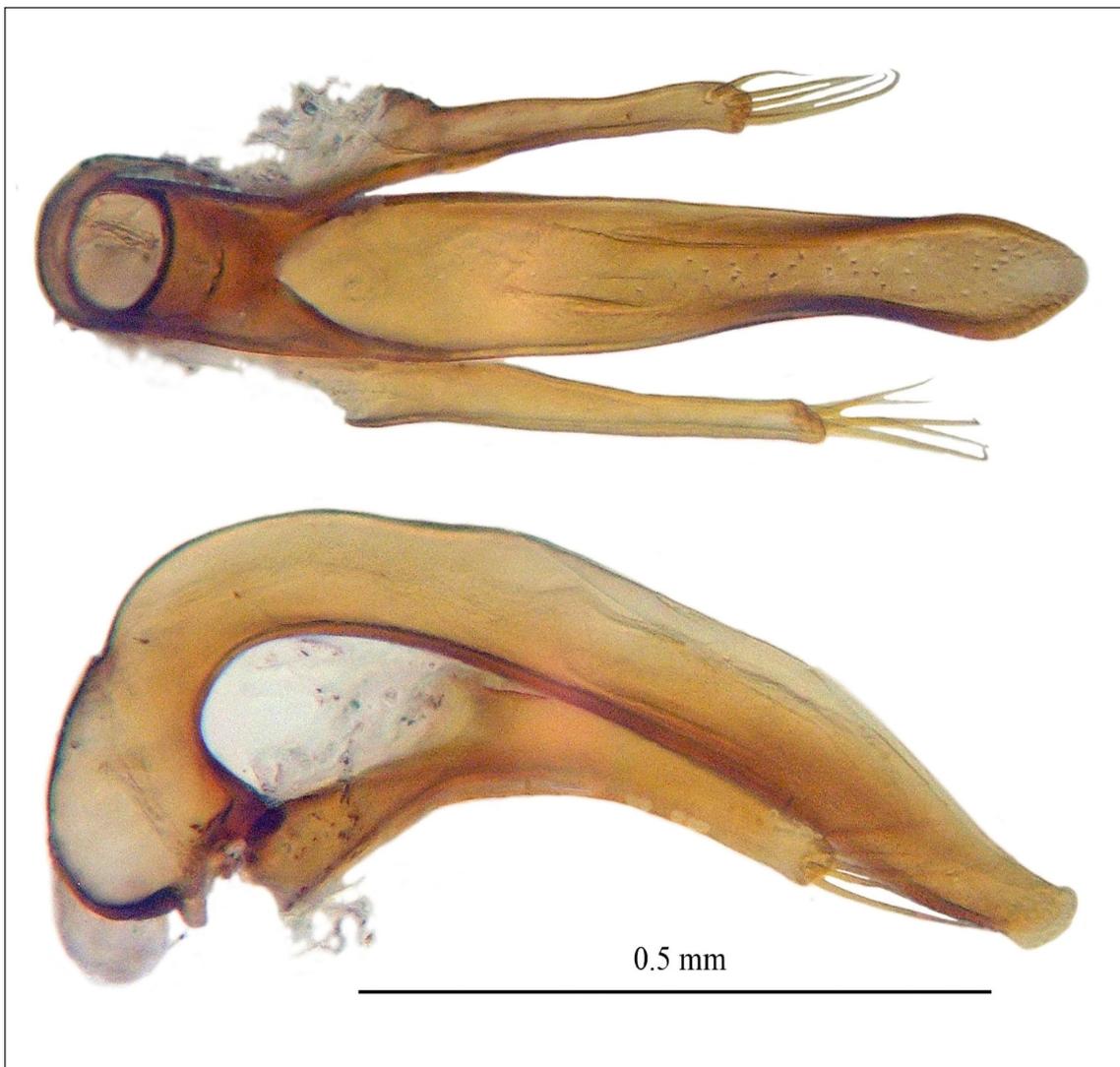
Captura de 6 ejemplares (4 hembras y 2 machos) de *Aphaenops mensionii* Lagar 1976, en el sifón de la Sima de la Bufona (C-20) del río procedente del Sima de las Grajas (C-13), el 4-8-12. (Foto: F. Alfambra).



Ejemplar macho de *Aphaenops mensioni* Lagar, 1976, capturado por Alfambra, Fuertes y Villaret el 4-8-12 en la Sima de la Bufona (C-20). Mide 6,76 mm. (Foto: Jordi Comas).

ejemplar hembra perteneciente a un nuevo taxón, material que motivó el que Ángel Lagar efectuara su descripción en base de este ejemplar hembra; desde esta fecha y a lo largo de las numerosas visitas efectuadas en esta cavidad no se había podido recolectar ningún ejemplar macho hasta el verano de 2012, en que fue recolectado por Alfambra, Fuertes y Villaret del Grupo de Espeleología de Badalona (GEB) durante las exploraciones del río subterráneo del Sima de la Bufona (C-20). De la pequeña serie de 6 ejemplares conseguidos, dos eran machos, lo que permitió describir el macho de esta emblemática especie de la fauna subterránea del macizo de Escuaín.

Entre ambos sexos no se aprecian diferencias a excepción de los caracteres sexuales secundarios. La configuración del edeago permite ubicar su posición dentro el género *Aphaenops*. Cuerpo estrecho, alargado y grácil, moderadamente convexo y sin pubescencia,



Edeago: visión ventral y lateral. (Foto: Javier Fresneda).

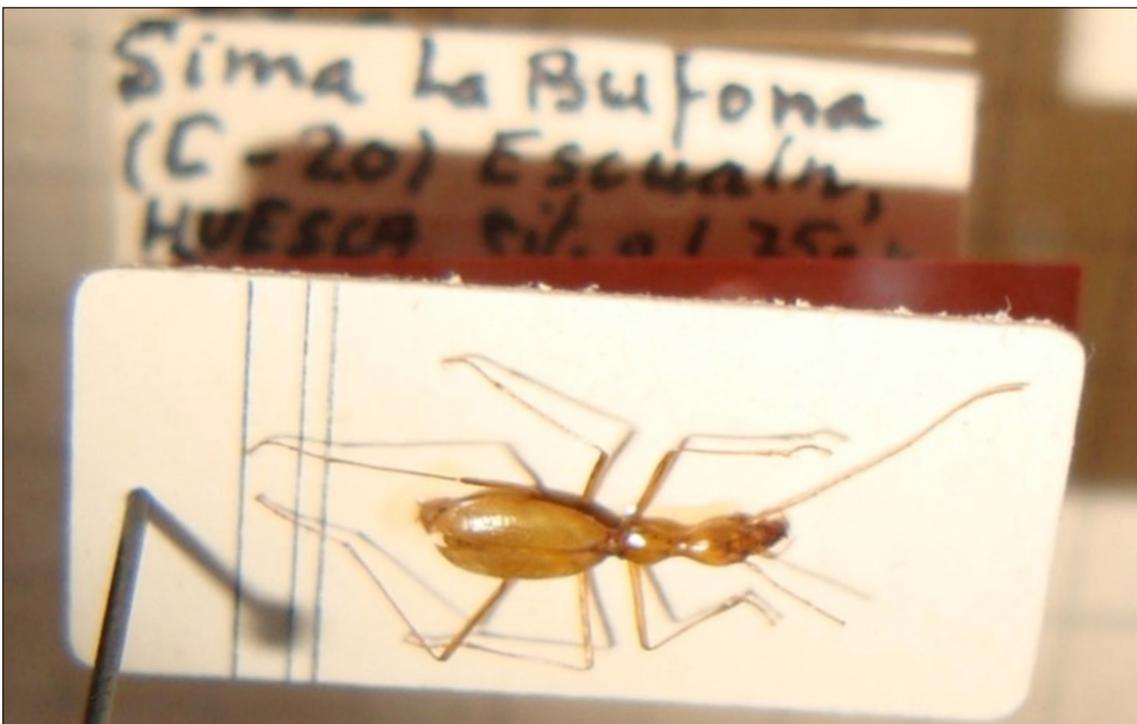
totalmente despigmentado; mandíbulas largas, su longitud es de dos tercios la de la cabeza; antenas gráciles y largas que alcanzan el ápice de los élitros; élitros elípticos.

El edeago es alargado, con las partes dorsal y ventral casi paralelas, ligeramente arqueadas en su zona mediana. La pieza copulatriz está ligeramente esclerotizada, sencilla, acanalada y escamosa del mismo tipo que la observada en muchas especies de *Aphaenops* sentido estricto (véase, por ejemplo *A. parvulus*, Faille *et al.* 2010).

La obtención de especímenes frescos permitió la extracción de ADN, confirmando la pertenencia al grupo de *Aphaenops* *sensu stricto*, y fijando definitivamente su exacta posición taxonómica. Este endemismo del Parque Nacional, es conocido solamente en cuatro cavidades del macizo de Escuaín:

- Sima de la Bufona (C-20), 1976, Mension leg.
- Sima de Lapayón (C-9), 1985, Ferrer leg.
- Sima de las Grajas (C-13), 1986, Victoria leg.
- Sima de los Planos de Rebilla (B-15), 1986, Escolà leg.
- Sima de los Planos de Rebilla (B-15), 1991, Alfambra leg.

Todos los ejemplares recolectados antes de la campaña Escuaín-2012, en estas cuatro cavidades eran hembras. El holotipo hembra de la cavidad típica de la Sima de la Bufona (C-20) tiene una longitud de 7,5 mm.



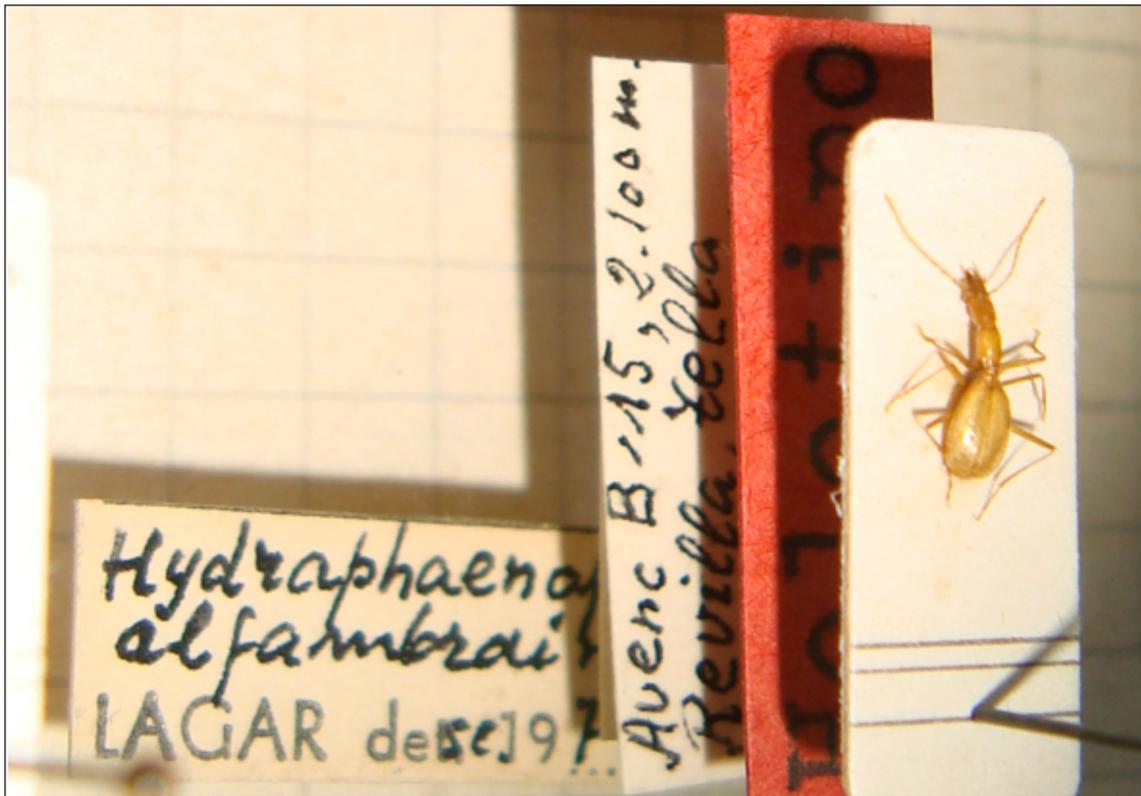
Holotipo hembra de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976. (Foto: Lluís Auroux).



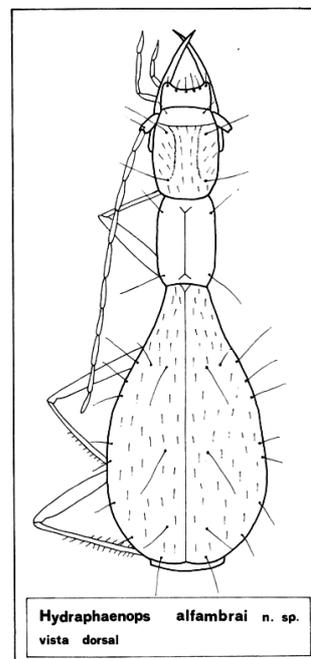
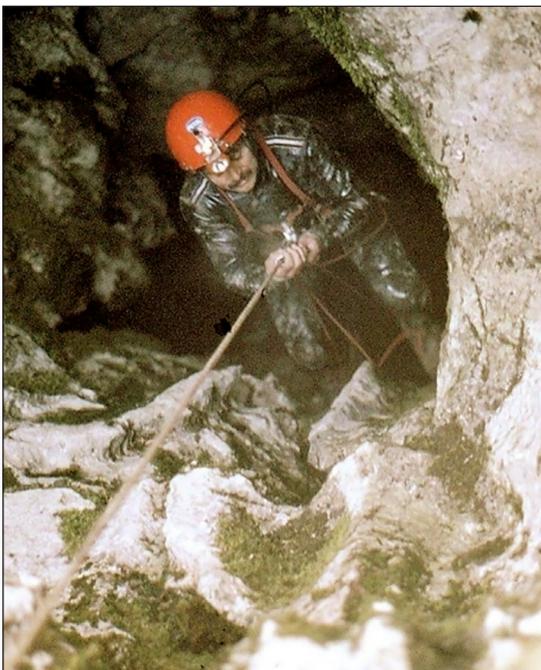
Josep Mención descubridor y recolector de *Aphaenops mensioni* Laguar, 1976, saliendo de la Sima de la Bufona (C-20) en la campaña espeleológica Escuaín-73. (Foto: R. Canela).

3. *Hydraphaenops alfambrai* Lagar, 1979

Es otro endemismo del Parque Nacional, solo conocido por una hembra de su localidad típica, la Sima de los Planos de Rebillá (B-15). Fue recolectado un único ejemplar hembra por Josep Mención en 1978. Habita en el medio subterráneo profundo. La especie fue descrita por Ángel Lagar y publicada en 1979 en el núm. 42 de la revista *Excursionisme*. En el mismo año también se publicó en el núm. 21 de la revista *Cavernas* y en el núm. 3 de la revista *Exploracions*. El Holotipo hembra de *Hydraphaenops alfambrai* Lagar, 1979, mide 5,3 mm de longitud.



Holotipo hembra de *Hydraphaenops alfambrai* Lagar, 1979. (Foto: Lluís Auroux).



Josep Mension remontando el pozo de entrada del forat d'Os Planos de Rebilla (B-15). En la campaña espeleológica Escuaín-1978, explorando a -400 metros de profundidad, recolectó el ejemplar hembra de *Hydraphaenops alfambrai* Lagar, 1979. (Foto: D. Ferrer).

4. *Hydraphaenops sobrarbensis* Lagar & Hernando, 1987

Endemismo del Parque Nacional, solo conocido por dos ejemplares en la localidad típica: Sercué —cueva de Aso—. Habita en el medio subterráneo profundo.

3.2. Coleoptera: *Leiodidae Cholevinae Leptodirini*

Se agrupan en 29 géneros y 224 especies y subespecies, todos ellos endemismos de este área. No se ha encontrado ninguna relación con linajes epigeos, lo que indica una única aventura colonizadora del medio subterráneo y una diversificación posterior. En el Parque Nacional se encuentran cuatro especies:

1. *Bathysciola obermaieri*, Bolívar, 1918

Presente en los valles de Tena, de Ordesa y de Canfranc.

2. *Bellesia espanyoli* (Auroux & Bellés, 1974)

Es un género monoespecífico endémico de la cueva de Aso de Añisclo.

3. *Trapezodirus altimontanus*, Bellés, 1975

Este género es un endemismo pirenaico con nueve taxones.

La especie es endémica del Parque Nacional. Se distribuye en cinco cavidades subterráneas de las cuencas altas de los ríos Yaga y Ara, afluentes del Cinca:

—Torla, cueva Garcés (localidad típica).

—Macizo de Escuaín:

- Sima de los Planos de Revilla (B-15), Faille, Fresneda y Bourdeau leg.
- Sumidero d'O Gurrundué (B-2)
- Sima B-26.

Como resultado del muestreo en la Sima de los Planos de Revilla (B-15), Aranud Faille recolectó un nuevo ejemplar de *Trapezodirus altimontanus* Bellés, 1975, en agosto del 2012, siendo infructuosa la visita a las demás cavidades próximas.

La nueva captura de *Trapezodirus altimontanus* Bellés, 1975 viene a sumarse a las del Sumidero del Gurrundué (B-2) y del forat B-26 del macizo de Escuaín (Fresneda et al., 1998). Esta también es una buena noticia, ya que además de estas estaciones sólo se conoce la de su localidad típica en Ordesa: la cueva de Garcés (Bellés, 1975).

4. *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1899

Se trata de un endemismo pirenaico descrito en la gruta de la *Peña de Fanlo* por Escalera el 1899. Es un Leptodirini con una amplia distribución en numerosas cavidades. Se extiende desde el río Ara al oeste hasta la ribera izquierda del río Ésera al este, y desde el Pirineo Axial hasta las estribaciones septentrionales de la sierra de Guara; todas las localidades en Huesca.

Desde la campaña espeleológica Escuaín-1971 en la que Ramón Canela, Francesc Pañella y Jordi Corominas del GEB recolectaron varios *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1899 en Os Bibers d'o Campillón (B-1), en la cueva A-3 y en el Artiguo Bajo (A-7), cavidades de las partes bajas del macizo, centraron el interés del grupo en la recolección de fauna cavernícola terrestre en el macizo de Escuaín.

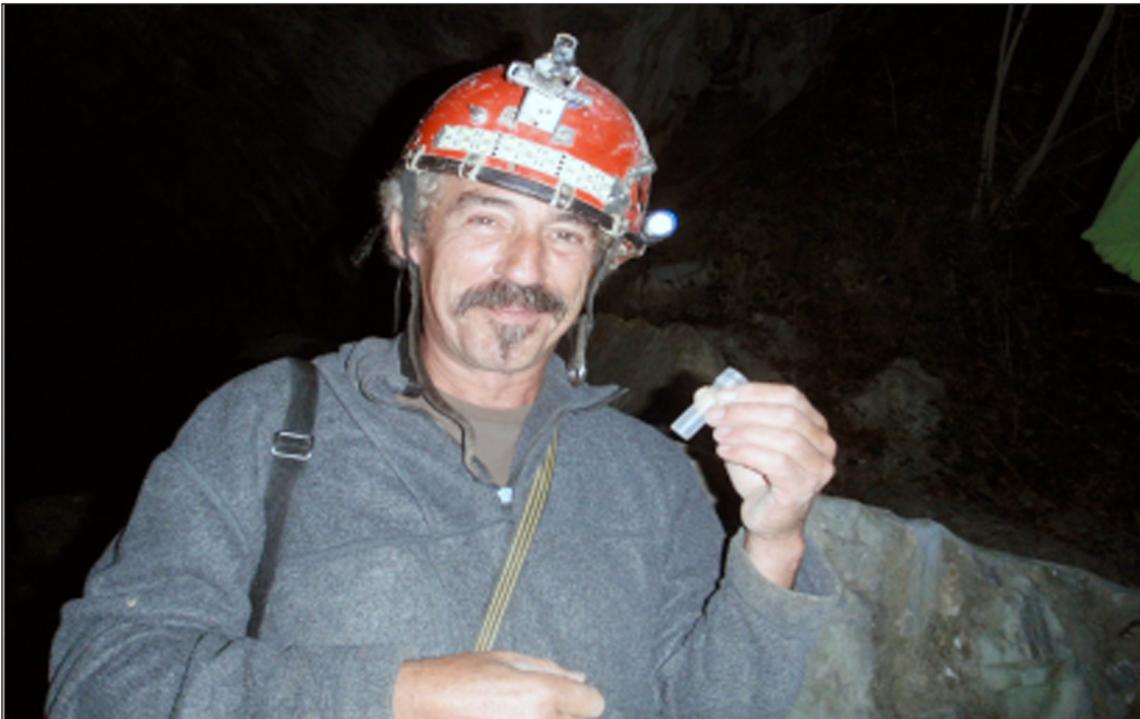
En las décadas de los 80 y 90 le siguieron nuevas capturas en Os Bibers d'o Campillón (B-1), 1987, Auroux, Escolà y Reyes leg.; en la cueva Barber (A-4), 1991, A. Vergés leg.; en Os Bibers d'o Campillón (B-1), 1991, Escolà y Alfambra leg.; en Os Bibers d'o Campillón (B-1), 1991, Escolà, Alfambra, López y Gómez leg.; en la Sima de los Planos de Rebilla (B-15), VIII-91/VIII-92, Alfambra y Porcel leg., y en la cueva C-61, VIII-91/VIII-98, Alfambra y Escolà leg.



Trapezodirus bolivari Escalera, 1899. Cueva del Trucho, Tella-Sin (Huesca). (Foto: Agustí Meseguer).

Desde la primera captura en la cueva del Paso de las Devotas en 1905 por Renné Jeannel y Emile George Racovitza, se han localizado *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1899, en ocho cavidades del macizo de Escuaín:

- Cueva del Paso de las Devotas, 1905, Jeannel y Racovitza leg.
- Os Bibers d’o Campillón (B-1), 1971, Canela leg.
- Cueva A-3, 1971, Canela leg.
- Artiguo Bajo (A-7), 1971, Pañella y Coromines leg.
- Os Bibers d’o Campillón (B-1), 1987, Auroux, Escolà y Reyes leg.
- Cueva Barber (A-4), 1991, Vergés leg.
- Os Bibers d’o Campillón (B-1), 1991, Escolà y Alfambra leg.
- Os Bibers d’o Campillón (B-1), 1991, Escolà, Alfambra, López y Gómez leg.
- Sima de los Planos de Rebillá (B-15), 1991/92, Alfambra y Porcel leg.
- Cueva C-61 La Monesma, 1991/98, Alfambra y Escolà leg.
- Os Bibers d’o Campillón (B-1), 2012, Mas, Mas y Alfambra leg.
- Cueva del Trucho (A-1), 2020, Sendra y Pallisé leg.



Jaume Mas en Os Bibers d’o Campillón (B-1), donde recolectamos un ejemplar de *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1899, el día 9-9-12. (Foto: F. Alfambra.)

La última recolección en Os Bibers d'o Campillón (B-1) de *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1899, fue llevada a cabo el 9-9-12, Mas, Mas y Alfambra leg.

Y la última captura en el macizo, realizada en la cueva del Trucho (A-1), el 2020, por Albert Sendra y Joan Pallisé se produjo exactamente 122 años después de que Escalera lo describiera en 1898 como *Speonomus bolivari* (= *Trapezodirus bolivari*), dedicán-doselo a Cándido Bolívar, ambos eminentes entomólogos madrileños.

La descripción de Escalera procede de una captura realizada por él mismo en la cueva de la Peña de Fanlo, que fue publicada en las *Actas de la Sociedad Española de Historia Natural. XXVIII*, pág. 38, Título: "Cueva de la Peña de Fanlo" (Coll. Escalera) y en la *Revista Bathyscinae*, pág. 350, pl. I, Fig. 28, IX, fig. 262-Col. Cat, 60, pág. 24.

El género *Trapezodirus* Jeannel, 1924, se distribuye por la parte central de macizo pirenaico, Pirineos y prepirineos de la provincia de Huesca (Salgado *et al.*, 2008), desde la rivera derecha del río Noguera Ribagorzana al este hasta la ribera derecha de la alta cuenca del río Ara al oeste; al norte, desde el macizo del Monte Perdido al norte hasta la Sierra de la Carrodilla al sur, en la última cadena montañosa que limita los prepirineos con la cuenca del Ebro.

Ahora bien la distribución de *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1899, es exclusiva del Pirineo oscense centrado en la cuenca del Alto Cinca, corazón del Sobrarbe. Su distribución básicamente sobrarbense le confiere un elevado grado de endemismo dentro de la amplia variabilidad morfológica y filogenética que presentan los diferentes grupos del género *Trapezodirus* en todo el distrito pirenaico. Esto es quizás lo que hace que esta población cavernícola tenga un extraordinario interés faunístico y zoogeográfico, más teniendo en cuenta que su plena inclusión en los relieves del Parque Nacional.

Curiosamente las siguientes capturas fueron realizadas en 1905 en el macizo de Escuaín, exactamente en la Cueva de las Devotas (Paso de las Devotas) cerca de Lafortunada por Renné Jeannel y Emile-Georges Racowitza entomólogos francés y rumano, considerados los apóstoles fundadores de la Bioespeleología, en su primera campaña bioespeleológica. Estos dos mismos entomólogos localizaron esta misma especie en las siguientes cavidades:

Cueva de los moros de Fanlo, en el barranco del río Aso, en la Espluca Llobrica (macizo Sestrales) cerca de Vió, en la cueva de Abajo de los Gloces y en la cueva Peguera de Salinas de Sin.

Carreras, otro autor español las localiza en otras dos cavidades: en la cueva de San Francisco de Salinas de Sin y en la cueva de Bujaruelo del término municipal de Torla.

La guerra civil y el exilio creó un gran vacío en los estudios bioespeleológicos en nuestro país. No es hasta finales de los cuarenta que una nueva generación de entomólogos reemprendieron el estudio de la fauna cavernícola. De esta manera la siguiente cita de *Speonomus bolivari* Escalera, 1898 aparece en 1956, a la que le siguen otras dos en los años sesenta y numerosas a partir de los setenta. Recogidas la mayoría por Oleguer Escolà, gracias a su ingente trabajo bioespeleológico y a quien debemos agradecer haber facilitado todas las citas de esta población troglobia aquí expuestas. También hay que destacar el considerable número de referencias a cavidades de Fanlo en primer lugar y de Escuaín en segundo. Correspondiendo la mayoría de estas últimas a las campañas espeleológicas del GEB, que desde principios de los setenta venimos realizando sistemáticamente en este macizo. El mencionado listado inédito de capturas de *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1898, es el siguiente:

Listado de capturas de *Trapezodirus bilivari* Escalera, 1898

- Gruta de la Peña de Fanlo, 1898, Escalera leg.
- Cueva de las Devotas, 1905, Jeannel y Racovitza leg.
- Cueva os Moros en Fanlo, 1956, Anglada leg.
- Cueva Malloals de Fanlo, 1966, Victoria leg.
- Cueva de Seso de Boltaña, 1969, Auroux y Escolà leg.
- Sima Infla Estiva. Sierra Ferrera, 1970, Escolà leg.
- Os Bibers d'o Campillón (B-1). Macizo de Escuaín, 1971, Canela leg.
- Cueva A-3, Macizo de Escuaín, 1971, Canela leg.
- Cueva A-3. Macizo de Escuaín, 1971, GEB leg.
- Artiguo Bajo (A-7). Macizo de Escuaín, 1971, Pañella leg.
- Artiguo Bajo (A-7). Macizo de Escuaín, 1971, Corominas leg.
- Cueva Garcés de Fanlo, 1972, Bellés leg.
- Forao Maniás, 1972, Lagar leg.
- Sima del Toscar, Foradada del Toscar, 1972, Sabater & Escolà leg.
- Forao Grande de Espluga Escala, 1973, Lagar leg.
- Cueva Maquis, Sierra Ferrera, 1973, 1973, Robert leg.
- Cueva de Seso de Boltaña, 1974, Auroux & Escolà leg.

- Sima del Toscar, Foradada del Toscar, 1976, Sabater & Escolà leg.
- Cueva del Hueso Santo, 1980, Comas et Escolà leg.
- Cueva de Seso de Boltaña, 1980, Auroux & Escolà leg.
- Cueva Manatuero-Malapreciata de Fanlo, 1981, Victoria & Escolà leg.
- Espluca Mayor de Fanlo, 1981, Escolà leg.
- Sima nº 1 Mondoto de Fanlo, 1985, Escolà leg.
- Os Bibers d'O Campillón (B-1), Macizo de Escuaín, 1987, Auroux, Escolà & Reyes leg.
- Cueva Barber (A-4). Macizo de Escuaín, 1991, A. Vergés leg.
- Os Bibers d'O Campillón (B-1), Macizo de Escuaín, 1991, Escolà & Alfambra leg.
- Os Bibers d'O Campillón (B-1). Macizo de Escuaín, 1991, Escolà, Alfambra, López & Gómez leg.
- Sima de los Planos de Rebillá (B-15). Macizo de Escuaín, VIII-91/VIII-92, Alfambra & Porcel leg.
- Cueva C-61. La Monesma. Macizo de Escuaín, VIII-91/VIII-98, Alfambra & Escolà leg.
- Os Bibers d'o Campillón (B-1), 2012, Mas, Mas & Alfambra leg.
- Cueva del Trucho (A-1), 2020, Sendra & Pallisé leg.

4. Descubrimiento y primeras exploraciones de la Sima de la Bufona (C-20) desde el año 1971 hasta el 1976

Indudablemente los descubrimientos de grandes cavidades a principios de los años 70 y las exploraciones que le siguieron con campamentos y permanencias subterráneas, pusieron las bases para los logros en materia espeleológica y bioespeleológica que desde entonces se han venido sucediendo a lo largo de los 53 años ininterrumpidos de campamentos del GEB en el macizo de Escuaín.

Año 1971:

En la campaña espeleológica de Agosto de 1971, con el objetivo atacar la Sima de Lapayón (C-9), se instaló el campamento base en una gran balma con una pequeña



Uno de los primeros equipos de exploración de la Sima de la Bufona (C-20), en agosto de 1971. De izquierda a derecha: Francesc Pañella, Tomas Sánchez, Francesc Alfambra, Domingo Pañella y Antoni Serra. (Foto: R. Canela).



Participantes en la campaña espeleológica Escuaín-71. (Foto: R. Canela).

cavidad catalogada como C-19. Cuando ya habíamos descendido a -200 metros de profundidad, sorprendentemente, muy cerca del campamento C-19, localizamos una gran boca que bufaba una fuerte corriente de aire. Por este motivo fué bautizada “La Bufona” y catalogada como C-20. La proximidad de ésta al campamento hizo que priorizáramos su exploración, relegando la Sima de Lapayón (C-9) a un segundo plano. En este año la exploración d’A Bufona (C-20) llegó mas allá del pozo de -80 m.

Año 1972:

Comenzada la campaña Escuaín-72 se efectuaron varios descensos en la Sima de la Bufona (C-20) que culminó con una exploración de 20 horas ininterrumpidas durante las cuales los tres miembros del equipo de punta superamos los -400 m de profundidad, cuya máxima dificultad consistió en el pozo de -80 m y en otro de -35m en el que tuvimos que bajar bajo una cascada de aguas glaciares. Se pensó hacer lo mismo en el C-9, pero debido a las continuas lluvias durante toda la segunda semana se desestimó el intento.

Año 1973:

En la Semana Santa de este año instalamos por primera vez en Escuaín un campamento subterráneo en la galería fósil superior del Sumidero del Gurrundué (B-2). Tras 40 horas de permanencia con dos pernoctaciones pudimos superar el tapón de gravas bajando varios pozos hasta llegar nuevamente a la galería activa, donde bajamos un pozo de -30 m de grandes dimensiones y sondeando a continuación de éste otro de mayores proporciones.

En la campaña de Agosto desinstalamos el sumidero para continuar la exploración de la Bufona (C-20). Con once petates, el equipo de punta compuesto por dos espeleólogos montamos el primer campamento en la gran sala previa al pozo de -80m a unos 100 metros de profundidad. El segundo campamento lo equipamos en la boca del pozo de -50 m, situado a -350 metros de profundidad. El tercer día tras bajar tres pozos mas de 20, 10 y 10 m respectivamente llegamos a la gran sala de bloques con un caudaloso afluyente. Poco mas allá la galería se ramifica en el río activo y una galería fósil ascendente de amplias dimensiones que nombramos Galerías del Metropolitano. En un recodo de esta galería fósil con gravas y arenas secas instalamos el campamento de -400 m que aun perdura en la actualidad. El trazado de la galería activa río abajo presenta escasas dificultades como tramos inundados y pequeños resaltes, el mayor de los cuales forma un pozo de 8 metros. Tras un kilómetro de recorrido nos encontramos con un sifón de aguas tranquilas. Una vez mas gracias a una galería superior accedemos al otro lado del sifón. Tras dos nuevos resaltes de 8 y 5 metros alcanzamos el punto donde se dió por finalizada la exploración de esta campaña, con la certeza de que la cavidad continuaba con grandes proporciones.

Año 1974:

Este año se concluyen las exploraciones en el sumidero d'O Gurrundué (B-2) y la Sima de Lapayón (C-9) en sendos sifones a -250 m y -680 m de profundidad respectivamente.

Año 1975:

En semana Santa superamos el sifón del río subterráneo del Artiguo Bajo (A-7), descubriendo un kilómetro de nuevas galerías. En agosto se intenta superar el sifón de la Sima de Lapayón (C-9) con dos equipos Nemrod con resultado negativo. También se intenta superar con pértigas y técnicas de escalada la Cascada Silvia d'Os Bibers d'O Campillón (B-1). En octubre se desciende a -120m en la Sima d'o Chelo (C-8).

Año 1976:

En la Semana Santa, dos espeleólogos tuvieron que abandonar precipitadamente el forat d'A Bufona (C-20) por un súbito aumento del nivel de las aguas cuando se encontraban a -400m de profundidad. En agosto se alcanza la profundidad máxima de -553 m en A Bufona (C-20). Al encontrar un nuevo sifón se inicia la exploración y escalada de las galerías fósiles de Metropolitano. Fue en esta exploración donde nuestro compañero Josep Mensión recolectó el coleóptero hembra que Angel Lagar catalogó como *Aphaenops mensionii*.

Como ya hemos dicho, fué nuestro compañero Josep Mensión, desgraciadamente fallecido el 2020 por el Covid-19, quien descubrió y recolectó el 2-VIII-1976 el primer ejemplar hembra de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, en la Sima de la Bufona (C-20). Según las fichas del Laboratorio de Bioespeleología del Museu de Ciències Naturals (Zoo-
logia) de Barcelona relativas a las capturas en el macizo de Escuaín, la segunda captura también hembra de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, fué realizada por nuestro compañero Diego Ferrer -fallecido en 1991- en la Sima de Lapayón (C-9), el 7-VIII-85.

Posteriormente se realizaron varias capturas mas: en la Sima de la Bufona (C-20), por Angel Lagar, en 1986; en la Sima de las Grajas (C-13), por Josep M. Victòria, en 1986; en la Sima d'Os Planos de Rebilla (B-15), por Oleguer Escolà, en 1986; y en la misma Sima d'Os Planos de Rebilla (B-15), por Francesc Alfambra, en 1991. En todas estas ocasiones los ejemplares recolectados eran hembras.

Durante la campaña espeleológica Escuaín-2010, Brauli Torres, Àngel Villaret, Xavi Soler y Pep Mula integrantes del equipo de escalada del GEB, observaron dos coleópteros cavernícolas muy interesantes en la sala del sifón del meandro Mélix descubierto en esta exploración de la Sima de la Bufona (C-20), cuyo río procede de la Sima

de las Grajas (C-13), y otro individuo en la base del P14 de la galería de la Cascada. Sin embargo en aquella campaña del 2010, debido a un cambio de normativa, y siguiendo las instrucciones de la Dirección del Parque Nacional que nos prohibía cualquier actuación en este sentido no se llevó a cabo ninguna captura.

Finalmente, como ya hemos expuesto anteriormente, fué durante la campaña espeleológica Escuaín-2012, y con la debida autorización, cuando pudimos recolectar seis nuevos ejemplares de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, en la Sima de la Bufona (C-20).

5. Campaña bioespeleológica Escuaín-2012

En las campañas espeleológicas previas Escuaín-2010 y Escuaín-2011 el equipo de punta y escalada del GEB, formado por Brauli Torres, Xavi Soler, Àngel Villaret y Pep Mula escalaron la cadena de pozos de las galerías del Metropolitano de la Sima de la Bufona (C-20). Tras estas grandes escaladas descubrieron el meandro Mèlix del rio activo que les llevó hasta el sifón que lo conecta con la Sima de las Grajas (C-13). Justamente fue entre las gravas de este sifón donde pudieron observar los nuevos *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976.



Equipo de escalada del GEB en las galerías fósiles superiores del Metropolitano de la Sima de la Bufona (C-20), el 2010. Por la izquierda: Pep Mula, Brauli Torres, Xavi Soler y Àngel Villaret. (Foto: Xavi Soler).



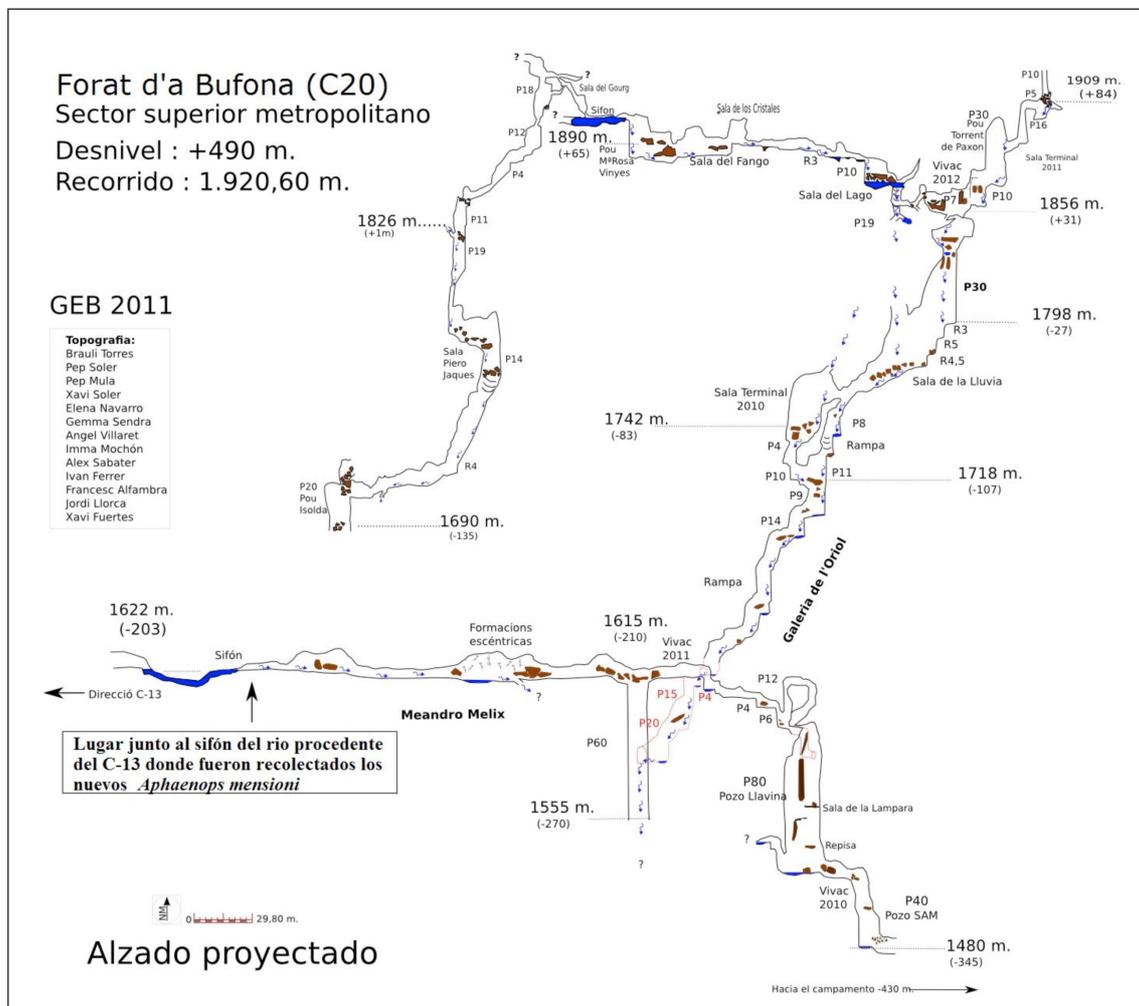
Miembros del GEB, colaboradores de los muestreos de fauna cavernícola.
Por la izquierda: Xavi Fuertes, Ángel Villaret, Malen Bergadà y Francesc Alfambra, en la Sima de la Bufona (C-20) en agosto del 2010. (Foto: F. Alfambra).

Los excelentes trabajos bioespeleológicos de captura de dos ejemplares machos por un lado y del estudio de la genitalia masculina de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, así como la publicación de la distribución faunística de *Trapezodirus Bolivari* Escalera, 1899, fueron el resultado de la colaboración del Grupo de Espeleología de Badalona (GEB), en el marco de nuestra 45.^a campaña espeleológica Escuaín-2012 con el Instituto de Biología Evolutiva del CSIC-Universidad Pompeu Fabra de Barcelona. Con la captura de dos machos de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, la campaña bioespeleológica Escuaín-2012 obtuvo un brillante resultado.

Esto fue posible gracias al trabajo de muestreo y recolección de nuevos ejemplares de esta rara especie subterránea endémica del macizo de Escuaín por parte de miembros del GEB y al estudio de estos a cargo de un nutrido equipo de bioespeleólogos y entomólogos especialistas compuesto por Arnaud Faille, Jordi Comas, Javier Fresneda, Charles Bourdeau e Ignacio Ribera, coordinado por este último desde el Instituto de Biología

Evolutiva-CSIC de Barcelona, quien a su vez, también gestionó la obtención de la correspondiente autorización del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA) para la realización de este muestreo en el Parque Nacional. Las capturas se realizaron con la cobertura del permiso otorgado por INAGA, expediente 24/2012/5229 y el material recolectado fue depositado en dicho Instituto para su distribución entre los especialistas.

En la recolección en el forat d'A Bufona (C-20) participaron, Àngel Villaret, Francesc Alfambra i Xavi Fuertes del GEB; en Os Biberos d'o Campillón (B-1) corrió a cargo de Jaume Mas, Alex Mas y quien esto suscribe. Y finalmente en la Sima d'Os Planos de Rebillà (B-15) y otras cavidades de la zona B, participaron los bioespeleólogos Javier Fresneda, Charles Bourdeau y Arnaud Faille.



Alzado topográfico del sector superior de las galerías del Metropolitano de la Sima de la Bufona (C-20) del GEB (2011), indicando el punto donde fueron capturados los nuevos ejemplares de *Aphaenops mensioni* Lagar, 1976. (Topografía: B. Torres).



Sala del sifón donde fueron localizados y recolectados los nuevos *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976.
(Foto: F. Alfambra).

El 7 de agosto de 2012, en plena campaña espeleológica Escuaín-2012 del GEB, salí al encuentro de Charles Bourdeau, Javier Fresneda y Arnaud Faille con una extraordinaria noticia: la captura de seis nuevos coleópteros en la Sima de la Bufona (C-20), que no tardamos en observar, ya instalados en una mesa del restaurante de Lamiana. Casi con toda probabilidad, los tres especialistas concluyeron que efectivamente los seis ejemplares del tubo que les mostré, eran *Aphaenops mensionii*.

El feliz encuentro no acabó aquí ya que una vez acabada la comida, y gracias a la inestimable colaboración logística del Sr. Feliciano Sesé, recorrimos la pista ganadera de Tella hasta el final de la misma ya cerca del barranco Angonés. Desde allí los acompañé sin pérdida de tiempo hasta la Sima d'Os Planos de Rebilla (B-15), donde habían centrado su interés para realizar un muestreo de fauna cavernícola en esta gran cavidad y otras próximas a esta.

Por otra parte, también publicamos aquí el mencionado listado de capturas de *Trapezodirus bolivari*, Escalera, 1899, en este macizo y otros cercanos llevadas a cabo desde 1971 hasta finales de los años 90. Nos parecía oportuno hacerlo para contribuir a un mejor conocimiento de la distribución de esta especie cavernícola exclusiva del Pirineo oscense



Izquierda: Javier Fresneda, Francesc Alfambra y Arnaud Faille, al pie del Montinier camino de la Sima d'Os Planos de Revilla (B-15) el 7-8-12. Derecha: Arnaud Faille en el pozo de entrada de la Sima d'Os Planos de Rebilla (B-15), en agosto de 2012 donde capturó *Trapezodirus altimontanus* Bellés, 1975. (Fotos: Ch. Bourdeau).

y centrada en el macizo de Escuaín y la cuenca alta del río Cinca, corazón del Sobrarbe. Este listado procede de las fichas del archivo del Laboratorio de Bioespeleología del Museu de Ciències Naturals (Zoologia) de Barcelona que amablemente nos facilitó el Sr. Oleguer Escolà, por entonces responsable del mismo.

Después de muchos años de infructuosos intentos, las nuevas capturas *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, fueron fruto de la tenacidad del GEB a lo largo de cuatro décadas de campañas de exploración espeleológica y de nuestro empeño en la búsqueda y recolección sistemática de fauna hipogea en este macizo. Cosa no siempre posible, sobre todo teniendo en cuenta la dureza física de la progresión en grandes verticales y el rigor climático de las gélidas aguas subterráneas y otras condiciones extremas que impone la exploración subterránea y las permanencias prolongadas en grandes cavidades pirenaicas como es la Sima de la Bufona (C-20), una gran cavidad de acceso al Sistema Badalona, un complejo subterráneo, que a día de hoy cuenta con mas de cuarenta kilómetros de desarrollo y 1150 metros de profundidad.

Más de tres décadas después del descubrimiento del holotipo hembra que permitió determinar *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, como nueva especie, capturada por Josep Mención en agosto de 1976 en la Sima de la Bufona (C-20), con la captura y estudio de la genitalia de los ejemplares machos recolectados, el conocimiento de esta especie fue completada definitivamente.

Con la publicación del estudio genético, taxonómico, anatómico y faunístico de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, tuvimos un doble motivo de satisfacción. Primero por haber cumplido finalmente aquel viejo objetivo que nos marcamos en una fecha tan lejana como agosto de 1976 cuando fue capturada la primera hembra. Y en segundo lugar por la diligencia y la profesionalidad del equipo de entomólogos que llevó a cabo su estudio.

Para el Grupo de Espeleología de Badalona, es una gran satisfacción haber hecho esta aportación al conocimiento de la biodiversidad de la entomofauna cavernícola del Pirineo sobrarbense del macizo de Escuaín. Esto nos anima a seguir en la brecha, con el objetivo de descubrir nuevas especies, para ampliar y completar el conocimiento de la fauna endogea y su distribución zoogeográfica en el medio subterráneo profundo del Parque Nacional.

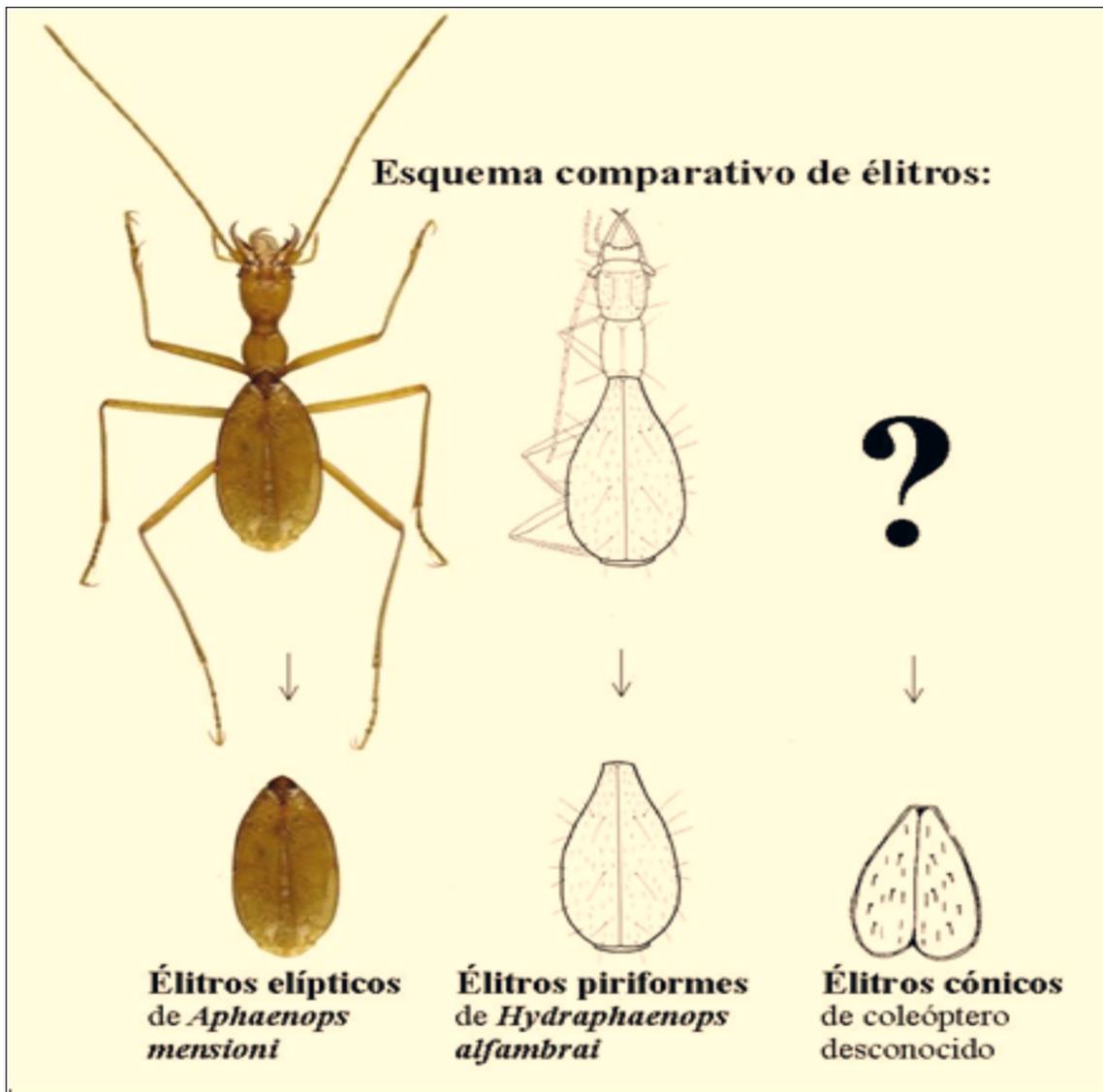
La experiencia nos dice que esto es posible, por lo que en un futuro no muy lejano, esperamos poder capturar el macho de *Hydraphaenops alfambrai*, Lagar, 1979, que como el de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, su holotipo conocido es una hembra recolectada por Josep Mención el 1978 en la sima d'Os Planos de Rebillá (B -15). Ahora nuestro mayor deseo es cumplir este objetivo, casi tan antiguo y no menos deseado que el de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976.

6. Objetivos bioespeleológicos del GEB para el futuro

Tres son los objetivos bioespeleológicos prioritarios del GEB de cara a un futuro inmediato. Los dos primeros pertenecen al medio cavernícola terrestre y el tercero al medio cavernícola acuático (stygofauna):

1. Localización, captura y estudio del macho de *Hydraphaenops alfambrai* Lagar, 1979. Una vez completado el conocimiento de *Aphaenops Mensionii* Lagar, 1976, gracias a la localización, recolección y estudio de la genitalia del macho, ahora la asignatura pendiente que nos queda es llevar a cabo la misma labor con el macho de *Hydraphaenops alfambrai* Lagar, 1979. Un reto importante que tenemos planteado desde que nuestro compañero Josep Mención recolectara la hembra de esta especie en la sima d'Os Planos de Rebillá en agosto del 1978.

2. Localización y recolección de una nueva especie de coleóptero en el medio subterráneo profundo del macizo de Escuaín. En 1986, durante una visita a la Sima d'Os Planos de Rebilla (B-15), Oleguer Escolà recogió unos élitros en la galería Asfaltada próxima al campamento subterráneo de -750 metros de profundidad. En su opinión no correspondían a ninguna de las dos especies conocidas por lo que podrían pertenecer a otra nueva especie aún por descubrir y determinar. Opinión plenamente compartida por el entomólogo francés Arnaud Faille. Tras realizar un visu en laboratorio establecimos el siguiente esquema comparativo de aquellos élitros con los de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976 y los de *Hydraphaenops alfambrai* Lagar, 1979:



Esquema comparativo de élitros.

Desde entonces el descubrimiento y captura de esta hipotética nueva especie cavernícola desconocida está pendiente. A este esquema comparativo de élitros hay que añadir un nuevo coleóptero subterráneo recolectado en 2021 por Joan Pallisé & Jordi Comas en la cueva del Trucho de la zona A del macizo de Escuaín, aún pendiente de clasificación.

3. El tercer objetivo es recolectar nuevos anfípodos del género ibérico *Haploginglymus*. En la precampaña de verano de 1991 localizamos dos crustáceos anfípodos de este género en el la Sima del Meandrico del Gurrundú (B-7). Sólo fue posible capturar uno de ellos, cuyo ejemplar salió intacto de la exploración pero que no llegó “completo” al laboratorio de Josep Lluís Pretus, ecólogo especialista en anfípodos dulceacuícolas del Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona. Éste lo encuadró dentro del género *Haploginglymus*, con una amplia distribución por toda la península ibérica, aunque sin poder determinar exactamente su carácter taxonómico específico por faltarle algunas piezas importantes. Por este motivo es imprescindible la localización y captura de nuevos ejemplares para su correcta determinación taxonómica específica de este estygobio anfípodo habitante de las aguas profundas del Macizo de Escuaín.



Participantes en la campaña Escuaín-2018 coincidiendo con el 50 aniversario de las exploraciones del GEB en el macizo de Escuaín. (Foto: F. Alfambra).

7. Agradecimientos

A todas las entidades colaboradoras y grupos de espeleología:

Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido
Museu de Ciències Naturals de Barcelona
Federación Aragonesa de Espeleología
Federación Catalana de Espeleología
BIOSP-Associació Catalana de Bioespeleologia
IPE-CSIC (Jaca)
IBE-CSIC-UPF (Barcelona)
CEA (Zaragoza)
G.E. Otxola (Navarra)
GREIM (Boltaña)
Espeleo CAS (Aínsa)
SIE, GGG, ERE, GERS, SIS, GREC, GERubí (Barcelona)
Grup Excursionista Malgratenc (Barcelona).

Y al equipo de entomólogos que llevaron a cabo el estudio taxonómico, por las fotografías, por la bibliografía y por los muestreos de fauna cavernícola de Escuaín durante 2012: Jordi Comas, Arnaud Faille, Javier Fresneda, Lluís Auroux, Agustí Meseguer, Joan Pallisé, Oleguer Escolà, Charles Bourdeau e Ignacio Ribera,

También tengo que hacer un agradecimiento especial a Arnaud Faille, a Jordi Comas, a Javier Fresneda, a Charles Bourdeau y a Ignacio Ribera por su colaboración imprescindible, sin la cual no habría sido posible elaborar la ponencia de fauna cavernícola de las Jornadas Científicas del Parque Nacional del 2021, base fundamental para esta publicación. También a Oleguer Escolà por facilitarnos la consulta del archivo del Laboratorio de Bioespeleología del Museu de Ciències Naturals (Zoologia) de Barcelona. Igualmente a todos los colaboradores del GEB que hicieron posible realización de la campaña bioespeleológica Escuaín-2012.

Y, como no, también tenemos que agradecer al Parque Nacional y muy especialmente al equipo de Guardas y a su responsable, el señor Feliciano Sesé, por la valiosa colaboración logística que nos prestaron en la aproximación a las cavidades para su exploración y muestreo en la campaña Escuaín-2012.

A todos ellos muchas gracias por su colaboración.



Miembros de l'Associació Catalana de Bioespeleologia en el Museu de Zoologia de Barcelona, la majoria de los cuales colaboraron en la campaña bioespeleológica Escuaín-2012. (Foto: Ll. Auroux).

8. Bibliografía

ALFAMBRA, F. (1973). *Dos años de campañas en Escuaín. Cavernas*. Grup d'Espeleologia de Badalona, 18: 10-19.

ALFAMBRA, F. (1992). *Proyecto de campaña bioespeleológica Escuaín-1992*. Grup d'Espeleologia de Badalona.

ALFAMBRA, F. (1998). *Informe de la campaña bioespeleológica Escuaín-1998*. Grup d'Espeleologia de Badalona.

ALFAMBRA, F. (2012). *Informe de la campaña bioespeleológica Escuaín-2012*. Grup d'Espeleologia de Badalona.

ALFAMBRA, F. (2014). "Apuntes históricos y biogeográficos de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976 y de su localidad típica El Forat A Bufona (C-20), de *Trapezodirus bolivari* Escalera, 1899, con un listado inédito de capturas y de *Trapezodirus altimontanus* Bellés, 1975". *Revista Exploracions*, n.º 21. Espeleoclub de Gràcia. Barcelona.

CANELA, R. (1971). *Escuaín 71. Cavernas*. Grup d'Espeleologia de Badalona, 17: 11-15.

- ESCOLÀ, O. (1991). *Resultados biospeleológicos campaña espeleológica Escuaín-91*. Grup d'Espeleologia de Badalona.
- ESCOLÀ, O. (1986). *Fauna cavernícola de Escuaín. Cavernes, Monogràfic Escuaín*, núm. Especial. Grup d'Espeleologia de Badalona. 1: 149.
- ESCOLÀ, O. (2007). *Fitxes de captures de Speonomus bolivari, Escalera 1898*. Museu de Ciències Naturals (Zoologia) de Barcelona.
- ESPAÑOL, F. (1981). «Los *Bathyschnae* cavernícolas de la vertiente española de los Pirineos (Col. Catopidae)». *Francesc Español, 50 años de obra biospeleológica*. Escola Catalana de Espeleologia. FCE. Pág. 433-435.
- ESPAÑOL, F. y ESCOLÀ, O. (1969). «La Biospeleología en España. Resumen histórico». *Francesc Español, 50 años de obra biospeleológica*. Escola Catalana de Espeleologia. FCE. Pág. 461-466.
- ESPAÑOL, F. (1981). «Los tréquidos cavernícolas de la península ibérica e islas Baleares» (Col. Caraboidea). *Francesc Español, 50 años de obra biospeleológica*. Escola Catalana de Espeleologia. FCE. Pág. 297-318.
- FAILLE, A. y COMAS, J. (2014). «Nuevos datos y descripción del macho de *Aphaenops mensionii* Lagar 1976, especie endémica del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido». *Revista de Entomología Heteropterus*, n.º 14.
- FRESNEDA, J., BOURDEAU, C. y FAILLE, A. (2009). «El Género Trapezodirus Jean-nel, consideraciones biogeográficas y presencia en el medio hipogeo del macizo de Cotiella (Pirineos, Huesca, España). Cotiella», *Revista de divulgación científico espeleológica*. Asociación Científico Espeleológica Cotiella. 1: 24-30.
- FRESNEDA, J. *et al.* (2015), «Nuevas capturas de *Aphaenops mensionii* Lagar, 1976, con un inventario de la fauna hipogea terrestre del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido». *Revista Exploracions*, n.º 21. Espeleoclub de Gràcia. Barcelona.
- GEB (1976). *Avance de los resultados exploratorios mas importantes realizados en el macizo de Escuaín durante los años 1974, 1975 y 1976. Cavernes*. Grup d'Espeleologia de Badalona, 19-20: 85-89.
- GEB (1986). *Cavernes Monogràfic Escuaín*, núm. Especial. Grup d'Espeleologia de Badalona. 1: 115-118.
- PRETUS, J. Ll. (1997). *Un crustaci ibéric a les aigües profundes d'Escuaín. Cavernes*. Grup d'Espeleologia de Badalona, 24: 87-89.

Folleto divulgativo de la VII Jornada de Investigación



L. O. Aguado

VII JORNADA DE INVESTIGACIÓN

LUGAR DE REALIZACIÓN

Jornada presencial y online
Centro de Visitantes de Torla-Ordesa
Avenida de Ordesa s/n

Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

Plataforma WEBEX

<https://aragon.webex.com/aragon/j.php?MTID=md34effdb3941be9f10279dd3bb93e1fa8>

Presentación de resultados



INFORMACIÓN:

Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido
C/Felipe Coscolla 11 – 13. 22004, Huesca
Teléfonos: 974 243 361 / 606 118 049
www.aragon.es/ordesa

2 de diciembre de 2021

Trabajos y proyectos de investigación en el
Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido

ORGANIZA:



OBJETIVOS

En la presente jornada se expondrán los resultados de algunos de los proyectos de investigación que se están desarrollando actualmente en el Parque Nacional.

Es una jornada informativa dirigida tanto al público en general como al personal del Parque Nacional e investigadores, teniendo por objetivo mejorar el conocimiento de los valores naturales que presenta el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido y, al mismo tiempo, fomentar el contacto, las colaboraciones y sinergias entre las distintas personas e instituciones que realizan trabajos en este singular espacio natural protegido del Pirineo aragonés. Por primera vez, se realizará tanto de manera presencial como online, intentando llegar al mayor número de personas que puedan estar interesadas en conocer de primera mano los trabajos que se desarrollan en el Parque Nacional.



PROGRAMA

Jueves 2 de diciembre

Proyectos de investigación en el PNOMP

9:00h Llegada y recepción de los asistentes.

9:30h Inauguración: Elena Villagrasa Ferrer. Directora del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

9:45h "Uso de dron térmico para la identificación de refugios micro-climáticos para la biodiversidad en el PNOMP".

Ponente: Raúl Hoffrén Mansoa. Universidad de Zaragoza

10:15h "¿Cómo mueren los abetos?".

Ponentes: Isabel Aulló Maestro y Fernando Montes Pita. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

10:45h "Resultados de la cría campreste de quebrantahuesos *Gypaetus barbatus* en el PNOMP 1995-2021".

Ponente: Juan Antonio Gil Gallús. Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos (FCQ).

----- DESCANSO -----

11:45h "Las avispas portasierra *Hymenoptera - Symphyta* en el PNOMP: unas pinceladas sobre su biología y distribución".

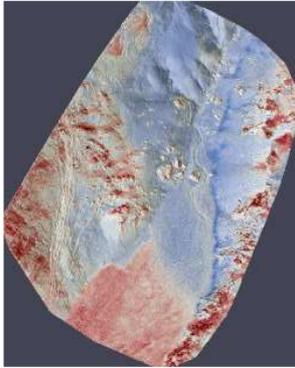
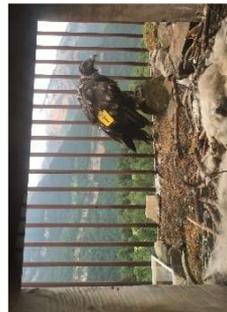
Ponente: Luis Óscar Aguado Martín. Especialista en el estudio de polinizadores.

12:15h "MICROORDESA: biodiversidad de virus y microorganismos en las aguas del Parque Nacional".

Ponente: Antonio Alcami Pertejo. Centro de Biología Molecular Severo Ochoa (CBM – CSIC).

12:45h "Efecto de los antiparasitarios del ganado en el estado de salud de la comunidad coprófaga del PNOMP".

Ponente: José Ramón Verdú Faraco. Universidad de Alicante.



13:15h "Polvo sahariano en el PNOMP: estudiando el presente para conocer el pasado".

Ponentes: Blas Valero Garcés y Jorge Pey Betrán. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE – CSIC).

----- DESCANSO -----

16:00h "El arte rupestre prehistórico en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido".

Ponente: Javier Rey Lanasa. Dirección General de Patrimonio Cultural. Gobierno de Aragón.

16:30h "Seguimiento del sarrío *Rupicapra p. pyrenaica* en el PNOMP, 1986-2020".

Ponente: Juan Herrero. Universidad de Zaragoza.

17:00h "53ª Campaña Espeleológica en Escuin (2021)".

Ponente: Brauli Torres Milla. Grupo de Espeleología de Badalona (GEB).

17:30h "Inventario de fauna hipogea del macizo de Escuin".

Ponente: Francesc Alfambra Domínguez. Grupo de Espeleología de Badalona (GEB).





Libro disponible en PDF