

I JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DEL PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA

(17 Y 18 DE OCTUBRE DE 2023)

CENTRO DE VISITANTES
DEL PARQUE NACIONAL
DE POSADA DE VALDEÓN (LEÓN)



LIBRO DE ACTAS

I JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DEL PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA • 2023



COLABORA



ORGANIZA







Edita:
Imprime:
Depósito Legal:





**I JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DEL
PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA**

(17 Y 18 DE OCTUBRE DE 2023)



**CENTRO DE VISITANTES DEL PARQUE NACIONAL
DE POSADA DE VALDEÓN (LEÓN)**





ÍNDICE

Presentación	11
Ponencias Geología:	
- “Criosfera y procesos de ladera en el Macizo Central de los Picos de Europa”	13
Serrano, E. (Dpto. Geografía, GIR Pangea UVA)	
Sanjosé, J.J. (Dpto. Expresión Gráfica. UEX)	
Gómez Lende, M. (Dpto. Geografía. UNICAN)	
Díez Fariñas, L.E. (Dpto. Geografía, GIR Pangea UVA)	
Pisabarro, A. (Dpto. Geografía. UNILEON)	
- “Estado de la cuestión en el estudio de las cuevas heladas en Picos de Europa. Sector de exploración de Camaleño”	25
Gómez Lende, M. (Dpto. Geografía. UNICAN)	
Serrano, E. (Dpto. Geografía, GIR Pangea UVA)	
- “Mínimos higrométricos extremos en determinadas cavidades heladas de Picos de Europa. el caso de la cueva helada de Altaiz”	37
Gómez Lende, M. (Dpto. Geografía. UNICAN)	
Serrano, E. (Dpto. Geografía, GIR Pangea UVA)	
- “Procesos de deformación operativos en la zona de cizalla basal de la región de Picos de Europa durante su emplazamiento”	43
De Paz Alvarez, M.I. (Dpto. Geología. UNIOVI)	
Llana-Fúnez, S. (Dpto. Geología. UNIOVI)	
Alonso, J.L. (Dpto. Geología. UNIOVI)	
- “Los sistemas de fallas de los Picos de Europa y su relación con los principales eventos tectónicos del Fanerozoico”	47
Gonzalo Guerra, B (IGME - CSIC)	
Fariás Arquer, P. (Dpto. Geología. UNIOVI)	
García Sansegundo, J. (Dpto. Geología UNIOVI)	
Heredia Carballo, N. (IGME - CSIC)	
Martín González, F. (Dpto. Biología, Geología, Física y Química Inorgánica. URJC)	
Pedreira Rodríguez, D. (Dpto. Geología. UNIOVI)	
- “La deformación Alpina en los Picos de Europa a partir del análisis de las estructuras y los cementos de calcita asociados”	53
Flórez Rodríguez, J. (Dpto. Geología. UNIOVI)	
García Sansegundo, J. (Dpto. Geología UNIOVI)	
Martín Izard, A. (Dpto. Geología. UNIOVI)	
Pedreira Rodríguez, D. (Dpto. Geología. UNIOVI)	

Ponencias Agua:

- “Estudio de las dinámicas espacio-temporales del metabolismo fluvial en ríos del Parque Nacional de los Picos de Europa” 59
Zarauza Martínez, R. (IHC – UNICAN)
Peñas Silva, F. (IHC – UNICAN)
Angulo Rodeles, A. (IHC – UNICAN)
Alvarez Cabria, M. (IHC – UNICAN)
Barquín Ortiz, J. (IHC – UNICAN)

- “Escenarios hidrológicos y térmicos para los ríos del Parque Nacional de los Picos de Europa” 65
Peñas, F.J. (IHC – UNICAN)
Rivero, I. (IHC – UNICAN)
González-Ferreras, A.M. (IHC – UNICAN)
Concostrina, L. (IHC – UNICAN)
García, E. (IHC – UNICAN)
Barquín, J. (IHC – UNICAN)

- “Variación temporal en las comunidades de invertebrados fluviales de Picos de Europa durante una década” 73
Alvarez Cabria, M. (IHC – UNICAN)
Goldenberg Vilar, A. (IHC – UNICAN)
Ruíz Díaz, P. (IHC – UNICAN)
Barquín Ortiz, J. (IHC – UNICAN)

- “Seguimiento limnológico largo plazo: evaluación de actuaciones de gestión y seguimiento del cambio global” (Ponencias Parque Nacional invitado: PN Sierra de Guadarrama) 81
Granados, I. (CISE – PNSG)
Rubio, A. (CISE – PNSG)

Ponencias Flora:

- “Seguimiento de *Hymenoscyphus fraxineus* en el Parque Nacional de los Picos de Europa” 83
Suárez Menes, M. (Ingeniero de Montes ExArea Conservación PNPE)

- “Resultados del Proyecto OLDFORES: Caracterización del potencial germinativo en bosques maduros del Parque Nacional de Picos de Europa. Presentación del nuevo proyecto WHAT IF” 87
Pardos, M. (Dpto. Dinámica y Gestión Forestal (ICIFOR, INIA-CSIC))
Caballero, C. (UAM)
Calama, R. (Dpto. Dinámica y Gestión Forestal (ICIFOR, INIA-CSIC))
Parras, A. (Dpto. Dinámica y Gestión Forestal (ICIFOR, INIA-CSIC))
Benito, L. (Dpto. Dinámica y Gestión Forestal (ICIFOR, INIA-CSIC))
Rubio-Cuadrado, A. (ETSIM, UPM)
Montes, F. (Dpto. Dinámica y Gestión Forestal (ICIFOR, INIA-CSIC))

Ponencias Fauna:	
- “Los ungulados silvestres y el lobo en el Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama” (Ponencias Parque Nacional invitado: PN Sierra de Guadarrama) Horcajada, F. (CISE – PNSG) Barja, I. (Dpto. Biología (Unidad de Zoología). UAM)	93
- “Control poblacional de lobo y depredación sobre el ganado en el Parque Nacional de los Picos de Europa” Serdio Cosío, A.L. (Consejería de Desarrollo Rural Ganadería, Pesca y Alimentación del Gobierno de Cantabria)	95
- “Análisis del potencial de dispersión entre y dentro de macizos en distintos organismos que habitan Picos de Europa y la Cordillera Cantábrica, y posibles consecuencias para las comunidades alpinas en un contexto de calentamiento global” Peña, R. (IMIB – CSIC y UNIOVI) Obeso, J.R. (IMIB – CSIC y UNIOVI) Illera, J.C. (IMIB – CSIC y UNIOVI) Laiolo, P. (IMIB – CSIC y UNIOVI)	97
- “Trabajos de inventario, seguimiento y mejora de conocimiento de la comunidad de murciélagos en los Montes de Valsaín (Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama)” (Ponencias Parque Nacional invitado: PN Sierra de Guadarrama) Redondo M.S. (Centro Montes de Valsaín y Cabeza de Hierro. OAPN)	105
- “Incidencia de patógenos emergentes de anfibios en el Parque Nacional de los Picos de Europa” Bosch, J. (IMIB – CSIC y UNIOVI) Thumsová, B. (IMIB – CSIC y UNIOVI)	107
- “Seguimiento de la fauna silvestre y doméstica desde una perspectiva veterinaria en el Parque Nacional de los Picos de Europa 2018/2023” González, G. (TRAGSATEC – A.T. Veterinaria PNPE) Menéndez, M. (Biólogo ExDirector Adjunto PNPE, jubilado)	109
- “Teledetección y rendimiento de balizas satelitales en el seguimiento de quebrantahuesos” González Ruíz, J.C. (FCQ)	117
- “Patrones de variación temporal de las poblaciones de trucha en los ríos del Parque Nacional de los Picos de Europa” González-Ferreras, A.M. (IHC – UNICAN) Peñas, F.J. (IHC – UNICAN)	121

Rodeles, A.A. (IHC – UNICAN)
Barquín Ortiz, J. (IHC – UNICAN)

- “Mariposas de Picos de Europa en peligro debido al abandono del territorio y a los efectos del cambio climático” 127

Mora, A. (Area de Conservación. PNPE)

Ponencias otros temas

- “Patrimonio industrial heredado y paisaje minero en la alta montaña del Macizo Central del Parque Nacional de los Picos de Europa: el Complejo Minero de Las Gramas” 131

Serrano, E. (Dpto. Geografía, GIR Pangea UVA)

Jordá, L. (Dpto. Ingeniería del Terreno. UPM)

Sánchez Benítez, J. (Club de Exploraciones Subterráneas ALFA)

Millán, J.M. (Club de Exploraciones Subterráneas ALFA)

Gómez Lende, M. (Dpto. Geografía. UNICAN)

Jordá, R. (ONG “Geólogos del Mundo”)

- “Deporte, conservación y reactivación socioeconómica en Picos de Europa” 135

García Rodríguez, N. (Dra. por UV)

Santamarina Campos, B. (Dpto. Sociología y Antropología Social. UV)

Vicente Rabaneque, T. (Dra. por UV)

ACRÓNIMOS:

CISE: Centro de Investigación, Seguimiento y Evaluación (PNSG)

CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

FCQ: Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos

ETSIM: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (UPM)

ICIFOR: Centro de Investigación Forestal (INIA)

IGME: Instituto Geológico y Monero de España

IHC: Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (UNICAN)

IMIB: Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (CSIC-UNIOVI)

INIA: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (CSIC)

OAPN: Organismo Autónomo Parques Nacionales

PNPE: Parque Nacional de los Picos de Europa

PNSG: Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama

TRAGSA: Empresa de Transformación Agraria S.A.

TRAGSATEC: Tecnologías y Servicios Agrarios (Grupo TRAGSA)

UEX: Universidad de Extremadura

UNICAN: Universidad de Cantabria

UNILEON: Universidad de León

UNIOVI: Universidad de Oviedo

UPM: Universidad Politécnica de Madrid

URJC: Universidad rey Juan Carlos

UV: Universidad de Valencia

UVA: Universidad de Valladolid

Nota de Redacción: el Consorcio Interautonómico del Parque Nacional de los Picos de Europa y sus Entidades consorciadas no tienen por qué estar de acuerdo con la totalidad de las informaciones o afirmaciones incluidas en los trabajos del presente Libro de Actas.





PRESENTACIÓN

El artículo 4, “*Caracterización*” de la Ley 30/2014, de 3 de Diciembre, de Parques Nacionales define a estos espacios de la siguiente manera:


“Los parques nacionales son espacios naturales, de alto valor ecológico y cultura, poco transformados por la explotación o actividad humana que, en razón de la belleza de sus paisajes, la representatividad de sus ecosistemas o la singularidad de su flora, de su fauna, de su geología o de sus formaciones geomorfológicas, poseen unos valores ecológicos, estéticos, culturales, educativos y científicos destacados cuya conservación merece una atención preferente y se declara de interés general del Estado.”

Por su parte, el artículo 28 de la Ley crea el Comité Científico de Parques Nacionales, estableciendo como una de sus principales funciones la de asesorar en la elaboración del Programa de Investigación de la Red de Parques Nacionales y sus revisiones.

Los Parques Nacionales reúnen, por tanto, un especial valor para la investigación científica, que se plasma, a su vez, en toda la normativa derivada que regula el sistema de Parques Nacionales de nuestro país. Así, el Plan Director de la Red de Parques Nacionales (R.D. 389/2016, de 22 de Octubre) establece en su apartado 3.2.6 unas concretas “*Directrices en relación con la investigación*”, estableciendo la investigación científica como una actividad del más alto nivel en estos singulares espacios al ser uno de los pocos usos permitidos en sus Zonas de Reserva, donde la conservación de sus valores alcanza su más alto grado. Del mismo modo, su apartado 8.6 esta dedicado al “*Programa de Investigación en la Red de Parques Nacionales*”.

En base a todo esto, son numerosos los Proyectos de Investigación que se desarrollan cada año en el Parque Nacional de los Picos de Europa, ya sea como consecuencia de la adjudicación de ayudas dentro de las Convocatorias de Ayudas a la Investigación en la Red de Parques Nacionales, que, con periodicidad en general anual, realiza el Organismo Autónomo de Parques Nacionales, del MITERD, ya sea a partir de Proyectos beneficiarios de otras especiales convocatorias del Plan Nacional de Investigación, sin pasar por alto aquellos vinculados con la actividad de doctorandos, la investigación aplicada que desarrollan directamente Universidades o ONG’s, o la que, con finalidades vinculadas a sus propios intereses de gestión, desarrolla el mismo Parque Nacional.


Es por ello que desde la Dirección Colegiada del Parque Nacional se ha considerado conveniente, simultáneamente a la incorporación del Parque Nacional de los Picos de Europa a LTER España, el organizar unas Jornadas de Investigación, con vocación de permanencia y que tendrán una periodicidad bianual, como vía para dar difusión a la actividad investigadora que se desarrolla en este espacio natural protegido, vinculado a tres Comunidades Autónomas y, al menos, a sus tres Universidades Públicas y otros numerosos y singulares Centros de Investigación. Estas Jornadas han de servir, además, como punto de encuentro, debate y coordinación de los equipos científicos encargados del desarrollo de los Proyectos de investiga-




ción, facilitando el intercambio de experiencias y su coordinación con los intereses de gestión del espacio, de manera que se dé solución a los numerosos problemas del día a día que precisan de la mejor solución científica.

Desde la Dirección del Parque Nacional se ha valorado como conveniente el invitar, a cada edición de las Jornadas, a un Parque Nacional para que presente una selección de sus Proyectos de investigación finalizados o en curso. En esta primera edición el Parque invitado ha sido el de la Sierra de Guadarrama, siendo una acertada selección ya que el mismo comparte con el de Picos de Europa numerosas similitudes (Parque Nacional de montaña; territorio compartido por varias CC.AA.; actividad ganadera en extensivo, productos agroalimentarios de alto valor, importantes flujos de visitantes, ...) y, además, presenta una especial singularidad en materia de investigación, al contar con varios centros dedicados a la investigación aplicada en base a la larga experiencia acumulada cuando su vertiente madrileña ya era Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares.

El presente Libro de Actas recoge las ponencias presentadas a las I Jornadas de Investigación del Parque Nacional de los Picos de Europa, que se celebraron los días 17 y 18 de Octubre del 2023 en el marco incomparable del Valle de Valdeón, en pleno corazón de la vertiente leonesa del Parque y en las instalaciones del nuevo Centro de Visitantes del Parque Nacional de Posada de Valdeón. De este modo, se contribuye a la difusión pública de los interesantes resultados que en las mismas se pusieron de manifiesto.



Es de justicia destacar también el apoyo a su organización que se ha tenido desde la Fundación Caja Rural de Asturias, así como la colaboración del Ayuntamiento de Posada de Valdeón.



Desde la Comisión de Coordinación del Parque Nacional no podemos sino apoyar esta iniciativa, como así se hizo adoptando el acuerdo de su convocatoria y dotación de crédito para su desarrollo, esperando con interés a su segunda edición, allá por el 2025.

Oviedo, 10 de Septiembre del 2024

Alejandro Jesús Calvo Rodríguez

Presidente de la Comisión de Gestión del Parque Nacional
de los Picos de Europa

CRIOSFERA Y PROCESOS DE LADERA EN EL MACIZO CENTRAL DE LOS PICOS DE EUROPA

Serrano, E.¹, Sanjosé, JJ.², Gómez Lende, M.³, Díez Fariñas, LE.¹, Pisabarro, A.⁴

¹. Dpto. Geografía, GIR Pangea-UVa, Universidad de Valladolid

². Dpto. de Expresión Gráfica. Universidad de Extremadura

³. Dpto. de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria

⁴. Dpto. Geografía, Universidad de León

Resumen

La criosfera de los Picos de Europa está compuesta por la nieve, como el elemento estacional más extenso; y el hielo, bien permanente en las cavidades y el suelo o bien estacional en el suelo. En la actualidad el manto nival es el principal agente que dirige el régimen térmico del suelo hasta su desaparición. El espesor y ritmo de fusión del manto nival condicionan la acción de la helada y los ciclos de hielo deshielo, principales agentes geomorfológicos en las laderas de la alta montaña. En ellas se genera la mayor energía y la principal transferencia de sedimentos de las cabeceras a los arroyos, casi inexistentes en el paisaje kárstico de los Picos de Europa. La dinámica de laderas es muy sensible a los cambios ambientales, tanto naturales del pasado como recientes e inducidos por los humanos –deforestación, pastoreo, minería-, en este caso con potenciales afecciones derivadas de la crisis climática y de la sobrefrecuentación turística y excursionista que es necesario evaluar. El estudio de la dinámica de laderas se centra en torno al grupo Peña Vieja, donde se realiza un seguimiento de las laderas en la cara norte, en los derrubios de las caras SE y SO y en Áliva. Desde hace trece años se realizan mediciones de las temperaturas del suelo para conocer los regímenes térmicos y la presencia del manto nival, el control de procesos mediante Estación Total, láser escáner terrestre y fotogrametría terrestre y mediante UAV y cartografías dinámicas, además de dataciones de depósitos lacustres para conocer la evolución previa a la dinámica actual. Los trabajos se han centrado en diferentes formas del ámbito estudiado. En los conos de derrubios se han detectado procesos complejos que implican a la gravedad, los movimientos en masa superficiales y deformaciones por flujo en las porciones distales, sin presencia de cuerpos helados y con muy pocos ciclos de hielo/deshielo. Los flujos de derrubios presentan frecuencias quinquenales a decenales y son los de mayor capacidad tanto para la transferencia de sedimentos como para los cambios de paisaje, así como los de mayor peligrosidad. Finalmente, los lóbulos de soliflucción muestran una dinámica muy atenuada, con desplazamientos menores de 2 cm a⁻¹, que denotan cambios recientes, si bien son activos. Finalmente, las cárcavas y deslizamientos generados por la acción humana señalan dinámicas muy atenuadas, mientras en torno a las sendas y los caminos hay una activa dinámica generada por la sobrefrecuentación de los excursionistas. La criosfera de los Picos de Europa es diversa y posee comportamientos diferenciados conforme a su emplazamiento. Las más enérgicas son las derivadas de la crioclastia y acumulación por gravedad, junto a los flujos de derrubios. La soliflucción muestra una dinámica atenuada, si bien en estos ambientes la intervención humana implica un incremento en la velocidad de los procesos, al margen del ambiente y de la criosfera.

Abstract. Cryosphere and slope processes in the Central Massif of the Picos de Europa.

The cryosphere of the Picos de Europa is formed by snow, the most extensive seasonal element, the ice, either permanent in the caves and the soil, or seasonal ice in the soil. Currently, the snow cover is the main agent directing the soil thermal regime. The thickness and melting rate of the snow cover determine the action of frost and freeze-thaw cycles, the main geomorphological agents on high mountain slopes. On slopes the greatest energy and the main transfer of sediments from the headwaters to the valleys bottom occur. The slope dynamic is very sensitive to environmental changes, both natural and induced by humans - deforestation, grazing, and mining-. In the last ones with potential effects derived from the climate crisis and the overcrowding of tourists and hikers. All of this need to be assessed. The study of slope dynamics focuses around the Peña Vieja Group, where the debris on the N, SE and SW faces and in the Áliva meadows have been monitored. For thirteen years, measurements of soil temperatures, processes monitoring using Total Station, Terrestrial Laser Scanner (TLS), terrestrial photogrammetry and using UAV and dynamic mapping have been carried out, as well as dating of lake deposits to understand the earlier dynamic evolution. On the debris cones complex processes involving gravity are implied, including surface mass movements and flow deformations in the distal portions, without ice bodies nor freeze/thaw cycles. Debris flows present five- to ten-year frequencies and have a high capability for sediment transfer and landscape changes. They are also the most dangerous. Finally, the solifluction lobes show decreased dynamics, with displacements less than 2 cm a⁻¹, signifying significant changes in the recent past. Today they are active, linked to water saturation during snow melting. Finally, the gullies and landslides generated by human action present a very moderate activity, linked to an active dynamic on the tracks and paths associated with the overcrowding of hikers.

Palabras clave

Procesos geomorfológicos, criosfera, dinámica de laderas, soliflucción, Picos de Europa,

Keywords

Geomorphological processes, cryosphere, slope processes, solifluction, Picos de Europa

1.- Introducción

Las montañas se yerguen, en el contexto de cambio global en el que nos encontramos, como uno de los ambientes más sensibles a los cambios climáticos y ambientales naturales o inducidos por el humano. De ahí que su estudio resulte clave para el conocimiento de las repercusiones que sobre ellos y otros medios están provocando tales cambios actuales.

Las laderas (en formas y dinámicas) y los elementos de la criosfera (hielo, nieve y neviza) son característicos de la alta montaña del Parque Nacional de Picos de Europa (PNPE), siendo a su vez los ambientes geomorfológicos más activos. En este sentido los procesos y formas activas (de ladera, periglaciares, nivales)

y las herencias del pasado (heleros, cuevas heladas, huellas, glaciares y periglaciares) se convierten en geoindicadores climáticos y ambientales muy expresivos.

Es la nieve el elemento estacional más extenso en Picos de Europa, siendo en la actualidad el principal agente que dirige el régimen térmico del suelo durante los meses en los que queda cubierto; a la vez que su espesor y ritmo de fusión condicionan los ciclos de hielo/deshielo y las heladas, factores condicionantes últimos éstos de la geomorfología de laderas, dinamismo y formas, en la actual alta montaña de Picos.

Una cobertura nival procedente de un clima húmedo oceánico con precipitaciones de unos 2500 mm a-1 y distanciado de la influencia directa del mar en apenas unos 20 km en línea recta. Por encima de los 1.800 m de altitud llega perdurar en torno a los 6-7 meses anuales, instalándose en un paisaje eminentemente de origen glaciokárstico modelado sobre calizas, dolomías, pizarras y areniscas (indicar las edades) y con ocupaciones humanas que en algunos puntos se han mantenido intensas desde hace al menos ~4000 años BP.

Dentro de la criosfera del PNPE en las últimas décadas se viene llevando a cabo un control y monitorización de la presencia del hielo en superficie: los heleros; del hielo en el suelo: suelos helados estacionales; del hielo subterráneo: las cuevas heladas; y del manto nival. A la vez que de las laderas en tanto y cuanto se encuentran en áreas supraforestales, en praderas, litosoles o coluviones.

2.- Área de estudio:

La presencia de hielo permanente en Picos de Europa se encuentra repartidamente y representada en los heleros actuales y, subterráneamente por los centenares de cuevas heladas. Los primeros, como herencias glaciares de la Pequeña Edad del Hielo (PEH)(siglos XIV-XIX) sin dinámica glaciar en el presente, que se refugian a día de hoy, y protegidos en las altitudes mayores del corazón del PNPE en su macizo Central y bajo condiciones topoclimáticas específicamente favorecedoras: Jou Negro, La Palanca, Traslambrión, Los Campanarios, La Forcadona, Peña Santa N. Las segundas, repartidas por la alta montaña fundamentalmente de los macizos Central y Occidental.

El control geomorfológico presentado aquí y las implicaciones de procesos y formas superficiales en el paisaje de Picos se ha llevado a cabo fundamentalmente en torno al grupo de Peña Vieja, principalmente en sus laderas norte, y caras SE y SO; así como en los puertos de Áliva.

3.- Objetivos

Los objetivos pretendidos de los estudios más recientes llevados a cabo pasan por: 1) conocer la morfodinámica actual de las laderas de moderada altitud (1.900-2.500 m) dentro del PNPE; 2) analizar el comportamiento de dos de los componentes de la criosfera: hielo superficial (heleros) y hielo en el suelo; 3) controlar y monitorizar los cambios potenciales en la dinámica del hielo y de los procesos geomorfológicos asociados; 4) analizar la intensidad de transferencia de sedimentos (en laderas) y la erosión del suelo (especialmente en aquellas áreas más sobrefrecuentadas por el turismo y excursionismo; 5) y la aplicación de técnicas geomáticas e InSAR para el control de deformaciones (esencialmente en la vertical) y desplazamientos.



4.- Métodos e instrumental

Para ello se requiere de aproximaciones, grupos de trabajo e instrumental multidisciplinar que contribuyan a un conocimiento geotécnico, geomático y dinámico de precisión (San José et al. 2014, 2020), y que incluyan interacciones históricas, monitorización de procesos actuales y su combinación junto con la modelización del clima sobre los propios procesos. Ello requiere herramientas y métodos de diversa complejidad.

- Estación Total. Fundamentalmente para la monitorización de procesos de ladera en La Vueltona: conos y flujos de derrubio; y para el control y cambios anuales de heleros. Obteniendo millones de puntos con una precisión milimétrica.
- Sistema global de navegación por satélite – GNSS (Global Net Satellite System), apoyándose con GPS-RTK que ofrecen precisiones cm-mm. De ello se obtienen pocos puntos pero que sirven de puntos de control y apoyo para instrumental geomático. Con ello esencialmente se viene realizando el control de dinámica de laderas en Áliva (bloques aradores, lóbulos y laderas rectilíneas).
- Terrestrial Laser Scanner (TLS), con precisión cm-mm, con apoyos de GPS-RTK, obteniendo millones de puntos con rapidez (lo que procura versatilidad en el trabajo de campo).
- Fotogrametría aérea con vuelos UAV (Unmanned Aerial Vehicle) con distinta precisión: baja, si se apoya con GPS-RTK (precisión cm-dm); muy baja si no se apoya (precisiones de dm-m).
- Instrumental geofísico: tanto sondeos eléctricos como GPR (Ground Penetrating Radar). Para los depósitos lacustres de Campo Mayor, que permiten conocer el desarrollo interno, profundidad y estructura interna del depósito. Y para el conocimiento interno del cuerpo de hielo del Jou Negro.
- InSAR (Interferometría radar de apertura sintética), que permite el control del movimiento y las deformaciones de flujo, detectando cambios de alta resolución en el suelo. Y la generación de modelos digitales del terreno (DEM) mediante uso de efectos estereoscópicos.

5.- Resultados

5.1.- Heleros

La reducción superficial / volumétrica deja en 6 los heleros existentes en la actualidad del PNPE. En la figura 1 se muestran los datos referidos al año 2017 en el que no se superaba la media hectárea de superficie en ningún caso a excepción del Jou Negro.

De ellos es el Jou Negro el exponente actual con mayor carga volumétrica y ejemplarizante de las dinámicas más recientes de estos cuerpos de hielo (ver figura 2). En el caso del helero Traslambrión igualmente como se aprecia en la figura 3 se da una pérdida importante de masa con un adelgazamiento brusco, manteniendo a día de hoy en una superficie moderada.



Macizo	Helero		Superficie Ha	Altitud cumbre	Altitud max.	Altitud min.	Desnivel m.	
Central	Jou Negro		1,2	2649	2310	2237	73	
	Palanca	1	0,22	2609	2475	2440	35	
		2	0,03		2400	2380	20	
		3	0,16		2350	2330	20	
	Trasllambrión	1	0,14	2642	2490	2480	10	
		2	0,04		2445	2390	55	
		3	0,20		2430	2390	40	
	Campanarios		0,11	2562	2442	2400	42	
	Occidental	Forcadona	1	0,20	2528	2250	2230	20
			2	0,11		2210	2195	15
Peña Santa N		2	0,14	2596	2318	2270	48	
		1	0,09		2258	2228	30	

Figura 1. Características generales de los heleros en el PNPE a septiembre de 2017.



Helero	1900 ha	1980 ha	1995 ha	2002 ha	2017 ha	Pérdida %
Jou Negro	5,2	3,5	2,5	1,88	1,22	76,6%

Figura 2. Reducción de superficie en el helero de Jou Negro 1900-2017. Encima, estado de conservación del helero en 2017.

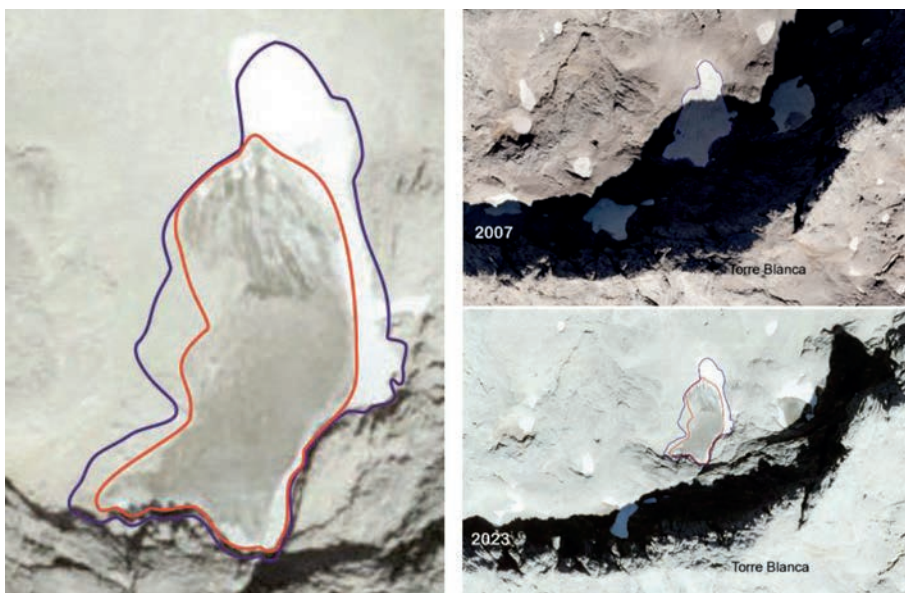


Figura 3. Pérdida de superficie en el caso del Helero de Traslambrión.

5.2.- Dinámica de laderas en la alta montaña

La dinámica de laderas en la alta montaña de Picos es recurrente en la conformación geomorfológica del paisaje, con procesos muy variados y activos, sobre los que se imponen los procesos de gelifluxión y solifluxión. Marcados, ambos casos, por unas condiciones térmicas del aire con isotermas por encima de los 0°C y condiciones térmicas del suelo como las recogidas en la figura 4.

Condiciones del aire						
Estación	Tipo	Altitud	T. media anual	F/ind	Ciclos H/dH	
El Cable	A	1.823	6°C	178	20-30	Oct/Abr
Lloroza	S	1.865	6,3°C	55	8	Mar/Dec

Condiciones térmicas del suelo					
Lugar	Altitud	Nº días Tª < 0°C	Nº días Tª < -2°C	lh	Días con ciclos hielo deshielo
Lloroza	1.865	79	2	55,17	8
Áliva	1.720	34	0	2,64	6
Fuente Dé	1.115	0	0	0	0

Figura 4. Características generales térmicas en Lloroza, Áliva y Fuente Dé (condiciones del suelo y del aire).



Los procesos característicos de la dinámica de laderas son la geliflucción o los flujos de derrubios en los sectores más elevados o los movimientos en masa relacionados con procesos de soliflucción en las áreas más bajas de la alta montaña, como los que se reparten ampliamente por los puertos de Áliva (figura 6).



Figura 5. Lóbulos de geliflucción (izq) y flujos de derrubios (dcha) en las pedreras de Peña Vieja.



Figura 6. Pequeño deslizamiento de ladera en el entorno de Áliva.

5.1.1.- Taludes y conos de derrubios

En la morfodinámica de taludes y conos de derrubios de las laderas los conos activos se localizan entre los 1.200 y 2.600 m de altitud con procesos y morfologías plenamente activos a partir de los 1.900 m y localizados fundamentalmente en orientaciones S, SE y SO, emplazados en distensión tectónica y mostrando superficialmente una sensibilidad a la gelifracción y termoclastia. Se conforman generalmente en laderas en torno a 22° de inclinación y con porciones distales menos activas con cierto grado de colonización vegetal (*Crepis pygmaea* y *Linaria filicaulis*).



Se diferencia un predominio de distintos procesos en conos y taludes. Mientras que en las porciones verticalizadas de los muros de los cabalgamientos que se imponen en forma de paredes se producen desprendimientos por distensión tectónica, termoclastia y crioclastia; en los taludes se generan flujos de derrubios, deslizamientos sobre el manto nival, caídas por gravedad y procesos solifluidales mostrados por la presencia de lóbulos de finos y gruesos. En su mayoría se trata de taludes complejos en los que se da una organización de procesos y formas con ondas de flujo distal y sin presencia de hielo en el suelo (Serrano et al., 2017).

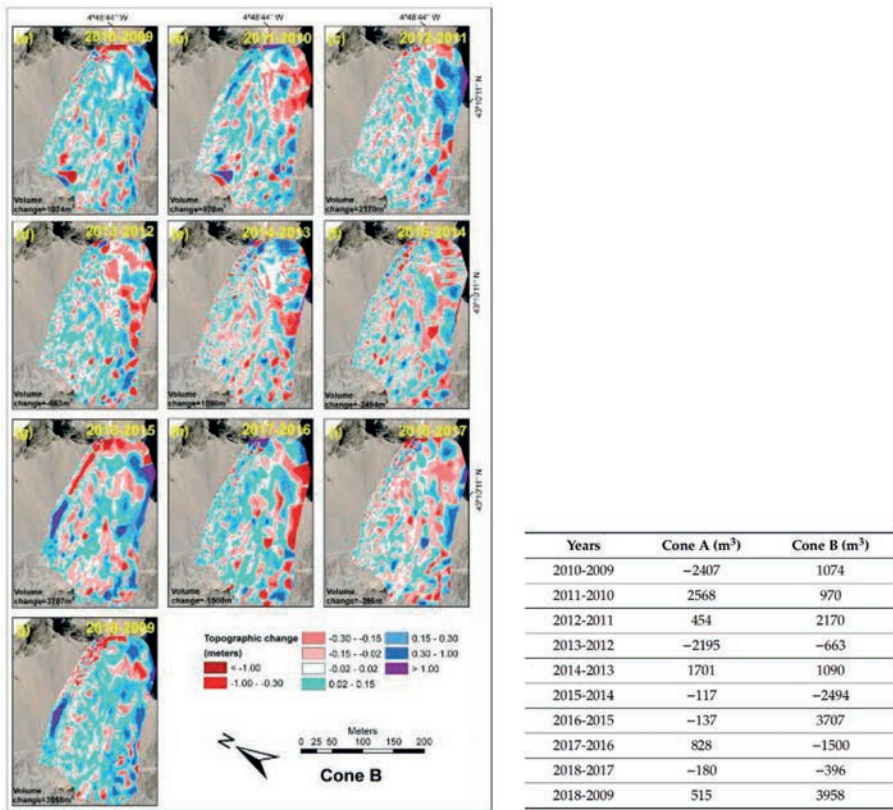


Figura 7. Modelos y comparaciones anuales de las morfodinámicas en los conos de derrubios de La Vueltona (Serrano et al., 2018).

Sobre estas morfologías y procesos se acumulan 15 años de control geomático mediante láser escáner y estación total, obteniendo una geometría de los conos de derrubios con error posicional del punto medido de tan solo 2 cm. Los TIN y DEM generados permiten la obtención perfiles en la línea de máxima pendiente y una cartografía anual de detalle de las variaciones espaciales como se muestra en la figura 7. Los dos grandes conos coalescentes que se monitorizan muestran características propias. Mientras uno de ellos (cono A) mantiene un perfil lineal que durante el periodo 2010-2011 incremento el espesor entre 0,75 y 1 m, con pérdidas topográficas entre 0,5 y 1m en 2009 y hasta el 2014. El cono B tiene

un perfil cóncavo-convexo, con acumulación de derrubios en la porción proximal y un adelgazamiento en la porción media y distal de 0-25 cm y 25-50 cm, respectivamente (figura 7).

En general, son taludes y conos muy activos que muestran procesos de alta transferencia sedimentaria y en los que domina la acumulación proximal y el adelgazamiento distal. Su comportamiento anual es muy distinto entre los conos controlados sin que muestren una respuesta clara y unívoca a las condiciones ambientales. El transporte de material en ambos casos es mediante procesos gravitacionales de caída, flujos y lóbulos de derrubios, reptación y deformación interna de la propia masa de derrubios. Y en ellos, tanto las heladas como la presencia de hielo tiene muy poca influencia subsuperficial, pues la cobertura nival les protege de las heladas. No se asocian, pues, a procesos periglaciares.



Figura 8. Conos de derrubios sobre la pista de La Vueltona. Se aprecia simplemente con la coloración diferenciada el distinto grado de dinamismo en los propios conos y su afición a zonas de tránsito frecuente.

5.1.2.- *Movimientos en masa*

Las formaciones superficiales que ocupan las laderas de la alta montaña, menos frecuentes que los afloramientos en roca en las unidades calcáreas, pero más frecuentes en las silíceas, se desplazan lentamente mediante diversos mecanismos asociados a la saturación de agua, y en menor medida a sus cambios de estado. Los elementos que propician su desplazamiento son la presencia de finos, la disponibilidad hídrica y la pendiente, así como el régimen térmico del suelo, la cubierta nival y la cubierta vegetal, todos ellos factores covariables.

En el sector de Áliva destacan formas derivadas de procesos de erosión tales como las rigolas o las cárcavas activas; junto con una variada presencia de morfologías solifluidales representadas por bloques aradores, lóbulos de solifluxión, banquetas, terracillas o solifluxiones laminares (figura 9).

La conservación de las formas y la inexistencia de helada en el suelo en la actualidad, permiten establecer la hipótesis de que los procesos dominantes en Áliva son los nivales y la solifluxión asociada a la fusión, las fuentes y elevadas precipitaciones de primavera, verano y otoño (Pisabarro et al., 2015, 2017; Serrano et al., 2016a; 2016b; Sanjosé et al., 2016)).



Figura 9. Algunas de las morfologías más representativas de los puertos de Áliva. Izqda. a) bloques aradores, b) lóbulos de solifluxión, c) banquetas de solifluxión. Dcha. puntos de apoyo para el control geomático de los lóbulos y bloques aradores.

En cuanto a los bloques aradores, su desplazamiento medio anual en el área de estudio presentado aquí (puertos de Áliva) se mantiene por debajo de los 0,5 cm a-1 lo que da idea de la muy atenuada dinámica que mantienen. Este tipo de bloques se desplazan por las laderas, más rápidamente que el propio coluvión, pero su prácticamente nula actividad junto con los registros térmicos de suelo en los que no se detecta presencia de hielo, permiten pensar que son los procesos solifluidales los que dirigen su dinamismo y las formas son parcialmente herencia de condiciones pasadas con suelos helados estacionales.

Por su parte los lóbulos de finos son lóbulos generalmente de tamaños métricos a decamétricos sobre formaciones superficiales poco profundas (30-40 cm). De nuevo aquí responden a dinámicas muy atenuadas con desplazamientos medios anuales inferiores a 2 cm a-1.

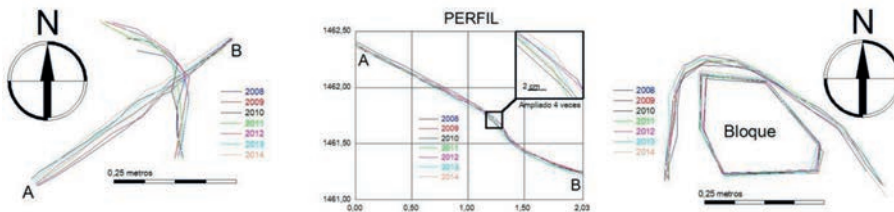


Figura 10. Detalle del desplazamiento medido mediante GPS-RTK en un lóbulo de solifluxión y un bloque arador en Áliva (Sanjosé et al., 2016).

En cualquier caso, en ambos casos tales cifras se mantienen en rangos similares a los registrados para ambientes de alta montaña tanto atlántica como mediterránea (Ballantyne, 2013 para Escocia en 0,88 cm a-1; y Oliva et al., 2014 para Sierra Nevada en \sim 0,5 cm a-1). O los ofrecidos para los mismos Picos de Europa por Brosche (1994) con una mayor amplitud: 0,21 – 1,88 cm a-1.

Las hipótesis para explicar la reciente inestabilidad de tales morfodinámicas pueden recaer en las siguientes: 1) un enfriamiento durante la PEH, con una buena preservación de las formas que apuntaría entonces a una posible génesis hace entre 400 y 500 años. 2) Un intenso pastoreo desde hace 6500 años (Díez Castillo, 2010) con una fuerte presión ganadera y deforestación durante la Edad Media (Azcuénaga, 1978). 3) O bien los de usos del suelo y los cambios climáticos históricos como responsables de tal desestabilización de las laderas.

6.- Conclusiones

La dinámica actual de las laderas es moderada, a diferencia de la ocurrida hace 3.500 años BP. La presencia de hielo en el suelo, por debajo de 2.200 m de altitud, es muy esporádica y los procesos dominantes están vinculados a la fusión nival y la disponibilidad hídrica. La soliflucción y las cárcavas se asocian con cambios del pasado reciente por causas humanas que modificaron el equilibrio de las laderas e incrementaron la erosión de los suelos y los movimientos en masa. Podría ser debido a secuencias climático-antrópicas, combinando cambios humanos y climáticos.

Por su parte, el seguimiento geomático permite conseguir datos mejores y más precisos, con continuidad que permite superar los errores de medición. La combinación de técnicas (GPS-RTK, TLS, UAV, Cartografía) aporta datos más precisos y con mayor densidad aunque a veces con distinta precisión, a diferentes escalas espaciales y temporales. Estas técnicas son aplicables por su versatilidad, y perfectamente válidas para el control y monitorización tanto de la inestabilidad en de las laderas, como de la morfodinámica de taludes y conos de derrubios y de los balances de masa de los heleros.

Referencias bibliográficas

Azcuéna, J. (1978). Las ordenanzas del Puerto de Áliva. *Anales del Instituto de Estudios Agropecuarios*, 3, 157-214.

Ballantyne, C.K. (2013). A 35-year record of solifluction in a maritime periglacial environment. *Permafrost and Periglacial Processes*, 24 (1), 56-66.

Brosche, K.U. (1978). *Beiträge zum rezenten und vorzeitlichen periglazialen Formenschatz auf der Iberischen Halbinsel*. Abhandlungen des Geographischen Instituts, Sonderhefte, Band I. Geographischen Instituts der Freien Universität Berlin. Berlin, 285 pp.

Díez Castillo, A. (2010). Nuevas tecnologías y viejas piedras: un repaso al megalitismo en Cantabria. *Illunzar*, 7, 7-35.

González Trueba, J.J., Serrano, E., González García, M., Gómez-Lende, M., Menéndez de la Hoz, M. (2017). *El relieve del parque nacional Picos de Europa*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN), Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 398 pp.

Oliva, M., Gómez Ortiz, A., Salvador, F., Salvá, M. (2014). Present-day solifluction processes in the semiarid range of Sierra Nevada (Spain). *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 46 (2), 365-370.

Pisabarro, A., Serrano, E., González, J.J. (2015). Régimen térmico de suelos del Macizo Central de Picos de Europa (España). *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña*, 170, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/Pirineos.2015.170003>.

Pisabarro, A., Pellitero, R., Serrano, E., Gómez-Lende, M., González-Trueba, J.J. (2017). Ground temperatures, landforms and processes in an Atlantic mountain. Cantabrian Mountains (Northern Spain). *Catena*, 149, 623-636. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.051>.

Sanjosé, J.J. de, Berenguer, F., Atkinson, A., De Matías, J., Serrano, E., Gómez Ortiz, A., González García, M., Rico, I. (2014). Geomatics techniques applied to glaciers, rock glaciers and ice-patches in Spain (1991-2012). *Geografiska Annaler*, 96A, 307-321.

Sanjosé, J.J. de, Serrano, E., Gómez Lende, M. (2016). Análisis geomático de bloques aradores y lóbulos en los puertos de Aliva (Picos de Europa, Cordillera Cantábrica). *Polígonos. Revista de Geografía*, 28, 123-138.



Sanjosé, J.J. de, López-González, M., Alonso-Pérez, E., Serrano, E. (2020). Modelling and Terrestrial Laser Scanning Methodology (2009–2018) on Debris Cones in Temperate High Mountains. *Remote Sensing*, 12, 632. doi: 10.3390/rs12040632.

Serrano, E., De Sanjosé, J.J., Gómez Lende, M., Pisabarro, A. (2016a). Criosfera y cambio global: control de procesos geomorfológicos como geoindicadores de cambio ambiental (P.N. Picos de Europa). En J. Armengol (ed.). *Proyectos de investigación en Parques Nacionales*, OAPN, Madrid, pp. 341-369.

Serrano, E., De Sanjosé J.J., López González, M.D., Soler, M. (2016b). Evolución de los conos de derrubios de la Vueltona y los lóbulos y bloques aradores del Puerto de Aliva (Picos de Europa-Cantabria). *Topografía y Cartografía*, XXXII, 170, 15-22.

Serrano, E., De Sanjosé, J.J., Gómez-Gutiérrez, A., Gómez-Lende, M. (2018). Surface movement and cascade processes on debris cones in temperate high mountain (Picos de Europa, Northern Spain). *Science of the Total Environment*, 649, 1323-1337. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.405>

Agradecimientos

Estos estudios se están realizando como parte del proyecto Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación, “Dinámica, evolución reciente y modelización de la criosfera en ambientes templados y tropicales. Glaciares, glaciares rocosos, permafrost y cuevas heladas en el norte de España y SE de Perú” (PID2020-113247RB-C21).



ESTADO DE LA CUESTIÓN EN EL ESTUDIO DE LAS CUEVAS HELADAS EN PICOS DE EUROPA. SECTOR DE EXPLORACIÓN DE CAMALEÑO.

Gómez Lende, M.¹, Serrano, E.²

¹. Dpto. de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria

². Dpto. de Geografía, GIR-Pangea, Universidad de Valladolid

Resumen

Dentro del modelado geomorfológico ejercido por la criosfera en Picos de Europa, las cuevas heladas conservan a día de hoy una presencia meritoria de estudio y conocimiento. Y como fenómeno frecuente en determinados sectores de la alta montaña del propio parque nacional (potencialmente más de un centenar) mantienen una nutrida presencia que las hace dignas de su puesta en valor. Las investigaciones llevadas a cabo en el Parque Nacional de Picos de Europa (PNPE) han sido, junto con otras en Pirineos y en el macizo de Valnera, pioneras a nivel nacional y con reconocimiento internacional asentado. En su investigación sistemática desde hace más de una década se involucran diferentes grupos de exploración e investigación nacionales e internacionales. Ininterrumpidamente se mantienen series temporales continuas de determinados parámetros climáticos, controles volumétricos y clasificaciones criomorfológicas; de corrientes de aire y periodos climáticos; periodos de alimentación; composiciones y dataciones isotópicas y por radiocarbono para el estudio de la naturaleza, origen y edad del hielo; estructura y profundidad de bloques de hielo; estudios de gases radioactivos o biológicos de invertebrados. Todo mediante el empleo de diferente instrumentación: desde termohigrómetros hasta sensores de radón pasando por TLS o GPR; y financiado mediante la concesión continua de proyectos competitivos nacionales (del Organismo Autónomo de Parques Nacionales – OAPN, principalmente). Todo ello se ha ido combinando con la interacción de otros procesos y formas criogeomorfológicas tanto en Picos de Europa como de otros ámbitos montañosos nacionales (cuevas heladas en la montaña cantábrica o en el Teide) e internacionales (cuevas heladas en ambientes templados de alta montaña tropical peruana: nevado de Coropuna y campo de hielo de Quelccaya). El corpus científico adquirido es sólido y sin duda, a pesar de múltiples incógnitas por resolver, supone una más que adecuada contribución dentro las actuales redes internacionales de control ecológico a largo plazo como es el LTSE-Picos de Europa (LTER - Spain).

Abstract

In geomorphological modeling performed by the cryosphere in Picos de Europa, ice caves preserve a presence worthy of study, knowledge and appreciation. As a frequent topic in concrete sectors of the high mountains of Picos de Europa (more than a hundred, potentially), they make up a large presence that makes them worthy of recognition. For its enhancement, the research carried out has been, along with others in Pyrenees and Castro Valnera massif, pioneer at a national level and with established international recognition. Different national and inter-

national researching groups and cave exploration clubs have been involved in its systematic research for more than a decade. Continuous series are carried out for thermohygrometric parameters, volume controls and classifications of cryomorphologies are maintained; morphometric controls, air flows, and feeding and climate periods; isotopic and radiocarbon data for nature, origin and age of ice; structure and depth of ice blocks; or studies of radioactive and biological gases of macroinvertebrates. Different instrumentation are used: from thermohygrometers to radon sensors through TLS or GPR; and financed through the continuous national competitive projects, mainly OAPN. Its study has been combined with other processes and cryogeomorphological features both in Picos de Europa and in other national mountainous areas (ice caves in the Cantabrian mountains or Teide volcano) and international (caves in temperate environments of high Peruvian tropical mountain: Coropuna and Quelccaya ice field). The scientific corpus acquired is solid, and without a doubt, with multiple unknowns to be resolved, it represents an adequate support for the current international long-term control networks such as the LTSEER-Picos de Europa (LTER - Spain).

Palabras clave

Cuevas heladas, criosfera, geomorfología, Picos de Europa

Keywords

Ice caves, cryosphere, geomorphology, Picos de Europa

1.- Introducción

Una parte de la fundamental huella que la criosfera mantiene dentro de la configuración geomorfológica y paisajística del Parque Nacional de Picos de Europa no se puede apreciar de forma directa. Dentro de sus elementos constitutivos más significativos son las cuevas heladas, entendidas como aquellas que conservan hasta la actualidad bloques de hielo metamórfico bajo unas condiciones climáticas y endokársticas determinadas, protagonizan aún a día de hoy una presencia que se hace digna de estudio, conocimiento y valoración.

Las cuevas heladas como fenómeno frecuente dentro de determinados sectores de la alta montaña de Picos de Europa mantienen una nutrida presencia que las hacen ser dignas de reconocimiento. El número de cavidades que potencialmente se pueden considerar como cuevas heladas es elevado superando el centenar (Gómez-Lende, 2015). Para su estudio, comprensión y puesta en valor, las investigaciones llevadas a cabo en Picos de Europa han sido, junto con algunos sectores de la alta montaña pirenaica y algunos otros más puntuales en el macizo de Castro Valnera (Sancho et al., 2018 en A294; y Martín Merino, 2017 en la Torca de La Grajera, respectivamente), pioneras a nivel nacional y con reconocimiento asentado también a nivel internacional, con presencia habitual en publicaciones y congresos especializados y monografías específicas de reconocido prestigio internacional dentro de la geomorfología periglaciaria o de los estudios de las cuevas heladas propiamente dichos (p.e. Persoiu y Lauritzen, 2018; Ballantyne, 2018; Oliva et al., 2023). En su control e investigación sistemática se involucran diferentes grupos e instituciones nacionales e internacionales de reconocido prestigio (Universidad de Valladolid, Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Madrid, LaRUC, Institute

of Speleology Emil Racovita-University Babeş Bolyai) y de exploración espeleológica (CES Alfa, GEG, Abismo y ASC, principalmente) desde hace más de una década (2010-actualidad). Pero de forma especial el GIR–Pangea (UVa) con una buena parte de su dedicación científica dedicada al estudio de las cuevas heladas.

Desde la citada década, y de forma ininterrumpida, se mantienen series temporales continuas de parámetros climáticos (termohigrométricas), estudios térmicos, controles volumétricos y clasificaciones de criomorfologías perennes y estacionales, estudios de evoluciones morfométricas, comportamiento de corrientes de aire y periodos climáticos, periodos de alimentación y fusión, composiciones y dataciones isotópicas y por radiocarbono para el estudio de la naturaleza, origen y edad del hielo, estructura y profundidad de bloques de hielo, estudios de gases radioactivos (radón) o estudios biológicos de macroinvertebrados. Todo ello mediante el empleo de diferente instrumentación: termohigrómetros, cámaras térmicas, sensores de radón, redes planctónicas, Terrestrial Laser Scanner-TLS, Ground Penetrating Radar-GPR, cámaras de trapeo, fotogrametría, LiDAR con iPhone 13 pro max o topografía clásica.

Las distintas investigaciones focalizadas en las cuevas heladas de Picos de Europa se han venido sosteniendo mediante la concesión continua de proyectos de investigación competitivos nacionales concedidos desde 2007, combinándose, en ellos, la investigación de las cuevas heladas tanto en Picos de Europa como en otros ámbitos montañosos nacionales (cuevas heladas en la montaña cantábrica, en el Teide) e internacionales (exploración y búsqueda de cuevas heladas en ambientes templados de alta montaña tropical peruana en el nevado de Coropuna y campo de hielo de Quelccaya), y con otros procesos y formas criogeomorfológicas referentes a estudios de glaciario y periglaciario: glaciares, glaciares rocosos, permafrost, etc.

2.- El fenómeno de las cuevas heladas: naturaleza e implicaciones

El fenómeno: cuevas heladas, elementos periglaciares singulares

Una definición sucinta de una cueva helada implica la conjugación de dos factores fundamentales: la presencia de un bloque de hielo metamórfico, con el acompañamiento o no de diferentes crioespeleotemas de carácter estacional o perenne; junto con las condiciones endoclimáticas de permafrost (entendiendo el concepto de permafrost bajo una perspectiva térmica y no morfológica). Ambos preceptos se han de dar conjuntamente como consecuencia y causa recíproca el uno del otro indisolublemente. De tal manera, los bloques de hielo de carácter metamórfico, que en Picos de Europa se deben fundamentalmente a la entrada, acumulación y transformación posterior de nieve desde el exterior, son consecuencia de una caracterización endoclimática de la cavidad bajo temperaturas medias anuales por debajo de los 0°C durante varios años consecutivos (concepto térmico de permafrost). Pero tal definición se complica en una conceptualización más compleja implicando a cuatro elementos fundamentales que se han de dar para la definición más profunda de cueva helada: elemento geomorfológico, elemento criológico, elemento térmico y elemento hidrológico (fig.1).

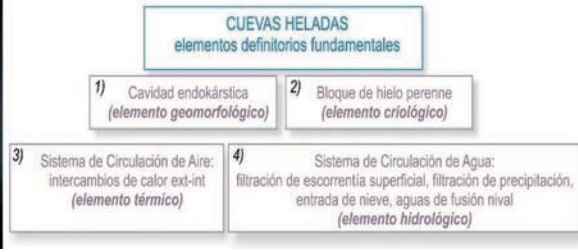


Figura 1. Izq. cueva helada de Verónica (Macizo Central, Picos de Europa) con el bloque de hielo metamórfico; dcha. elementos constitutivos necesarios en la definición de una cueva helada.

De igual manera, el progresivo y reciente estudio de las cuevas heladas, más allá de las descripciones y consideraciones espeleológicas de antaño, ha permitido la consideración e inclusión de las mismas dentro de los mapas e inventarios globales de permafrost como indicador de la existencia del mismo (p.e. Ballantyne, 2018). Incluso bajo la consideración de una tipología específica: ambientes de permafrost endokárstico de alta montaña (Gómez-Lende y Serrano, 2021) (fig.2).

Implicaciones generales

Lo que desde un punto de vista más cercano al estudio y comprensión del cambio global en el que nos encontramos inmersos en la actualidad, supone el estudio de las cuevas heladas en Picos de Europa como fenómeno resultante, e indicador a su vez, de unas condiciones periglaciares de permafrost climático localizado en regiones latitudinales marginales como es la montaña templada cantábrica se sostiene sobre varios pilares epistemológicos:

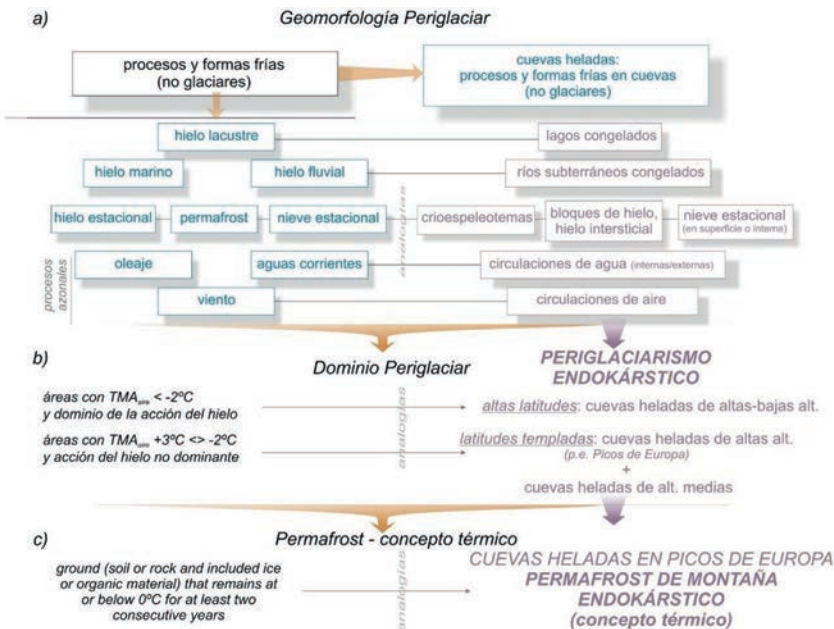



Figura 2. Encuadre epistemológico de las cuevas heladas dentro de la geomorfología periglaciaria y su consideración como un tipo específico de permafrost.

- 
- a) Las cuevas heladas son testigos de un pasado ambiental reciente que va más allá de la histórica Pequeña Edad del Hielo. Las implicaciones temporales hasta las que se alarga la presencia de cavidades heladas en las montañas ibéricas se extienden hasta los 6100–5515 cal BP datados en la cavidad A-294 de Pirineos (Sancho et al., 2018) y con más de 594 ± 24 BP años en Picos de Europa (Gómez-Lende, 2015). Cifras que, aunque no se extiendan llamativamente en el pasado, suponen que en muchos casos sean los únicos testigos remanentes en la actualidad debido a la desaparición casi completa de las morfologías activas en la criosfera superficial, como es el caso de Picos de Europa; o en alarmante estado de desaparición, como es el caso de los glaciares pirenaicos.
 - b) Las cuevas heladas representan sensores ambientales naturales de primer orden con una ajustada sensibilidad a los cambios globales; manteniendo además una rápida respuesta a los comportamientos exteriores de carácter climático. En ellas las posibilidades de estudios paleoambientales se diversifican y no solo albergan su potencial reserva como testigos pretéritos en la composición isotópica de sus hielos, si no también en sus pólenes y materia orgánica, en sus calcitas gruesas criogénicas o en sus espeleotemas.
 - c) Suponen, en las latitudes en las que se encuentran las del PNPE, una excepcionalidad por su localización meridional, resistiendo, protegidas por sus condiciones de permafrost ambiental, como uno de los últimos reductos representativos de la criosfera de montaña en la Península Ibérica y de los más meridionales de las latitudes medias.
 - d) Este tipo de cuevas en Picos, debido a su conformación calcárea, sus cotas altitudinales y su caracterización climática atlántica, mantiene una representación nutrida excepcional y única dentro del conjunto de las montañas españolas, y con una concentración importante de las mismas en una relativa pequeña superficie. Lo que le otorga un carácter excepcional incluso si es comparada con muchas otras localizaciones europeas donde se dan cuevas heladas.

3.- Materiales y métodos

El estudio de los diferentes procesos, morfologías y parámetros que se vienen monitorizando en las cuevas heladas desde 2010 engloba desde la propia configuración del elemento geomorfológico endokárstico en sí mismo en el que se alberga los bloques de hielo y los crioespeleotemas; su funcionamiento termodinámico en cuanto que de ellos depende la conformación de su endoclima; pasando por la monitorización continuada de sus principales parámetros climáticos y la evolución y tendencia reciente de los mismos junto con el del balance de masas de hielo asociado a las diferentes criomorfologías. O la naturaleza y composición de los propios estratos del hielo metamórfico; e incluso estimaciones de las entradas de personas en el caso de las más accesibles como es el caso de la cueva helada de Peña Castil. Una relación más completa de los estudios realizados se presenta en la figura 3.

Para la realización de los mismos se cuenta con un instrumental específico entre los que se destacan por frecuencia de uso e importancia los siguientes:

- a) Para el control de parámetros climáticos: dataloggers iButton DS1921G-F5 (-40 to +85°C; ± 0.5 C), iButton Hygrochron DS1923-F5 (-20 to +85°C;

- $\pm 0.5\text{C}$) y HOBO U23 Pro v2 Ext Temp/RH (-40 to 70°C; $\pm 0.2^\circ\text{C}$); con los respectivos softwares para el análisis y procesado de datos: OneWireViewer Maxim© y HOBOWare®.
- b) Para el control y monitorización de balance de masas de criomorfológicas (fundamentalmente bloques de hielo): láser escáner terrestre (TLS) Leica C10 3D (Leica Cyclone 7.3 soft.) con alcance de 1,5-300 m, precisión nominal de 6 mm y toma de datos 50000 ptos/seg; y Faro Focus 3D X330 con 330 m, velocidad en toma de datos de 1 millón ptos/seg y con precisión < 1 mm a distancias inferiores a 25 m. Con ellos se generan modelos y ortoimágenes de alta precisión en aquellas cavidades en las que se puede trabajar con ellos, y permitiendo en ocasiones adquirir perspectivas cenitales que muestran procesos y morfologías imposibles de apreciar en campo (p.e. morfologías de flujo de los bloques de hielo).
 - c) Fotogrametría de SfM (Structure from MOTion) con iluminación natural mediante cámara réflex digital Canon 5D.
 - d) Modelos LiDAR 3D iPhone: iPhone 13 pro max. (Scaniverse soft., Sketchfab) y la recreación de modelos tridimensionales.
 - e) Cámara termográfica FLIR SC600 con una resolución térmica de $0,03^\circ\text{C}$ y un rango de -40 a 1500°C , y una resolución de imagen de 640×480 px y $0,65$ mrad de resolución angular (ThermaCam Researcher Pro 2.10; Photo-modeler Pro v5 soft.). Utilizada fundamentalmente para el análisis térmico directo y en altura y para realización de ortotermogramas en combinación con los modelos y ortoimágenes generados con los TLS.
 - f) Para la determinación de la estructura y el alcance de los bloques de hielo: Ground Penetrating Radar (GPR) modelo IDS (Ingenieria dei Sistemi, Pisa) con antena blindada de 400 MHz de frecuencia central y método de captación electromagnética monoestático common offset gather (GOC) (soft. IDS-K2 y GRESWIN).
 - g) Para el control de los periodos de alimentación, variaciones de balances de masa anuales e interanuales y parámetros climáticos generales: cámaras fototrampeo Bushnell HD.
 - h) Determinación de edades por AMS de ^{14}C , con el tratamiento de las muestras en Lab. 14ChronoCenter – Queens Univ. Belfast.
 - i) Para los análisis radiológicos: captadores de radón para el mapeo de ^{222}Rn en colaboración con el Laboratorio de Radioactividad de la Universidad de Cantabria – LaRUC.
 - j) Para muestreos biológicos de ostrácodos y copépodos en aguas de ambientes cavernarios en colaboración con la Univerisdad Babeş Bolyai / Institute of Speleology Emil Racovita, Cluj Napoca (Rumania) se utilizaron e instalaron redes planctónicas de $63 \mu\text{m}$.

Además de la instrumentación relacionada, en un medio de tan difícil acceso y estudio, el estudio y control se tiene que realizar necesariamente a la fuerza mediante la colaboración interdisciplinar de diversos grupos de trabajo e investigación, entre los cuales se encuentran: principalmente las universidades de Valladolid y Cantabria por encontrarse en ambas los principales agentes de la labor científica llevada a cabo en las cuevas de Picos. También la Universidad Politécnica de Madrid (área de ingeniería del terreno del departamento de inge-

nería y morfología del terreno de la ETS de Caminos, Canales y Puertos); el laboratorio de radioactividad ambiental de la UC (LaRUC); el Institute of Speleology Emil Racovita-University Babeş Bolyai); o los grupos de exploración espeleológica como CES Alfa, GEG, Abismo y ASC, principalmente. Pero de forma especial el GIR–Pangea (UVA) con una buena parte de su dedicación científica dedicada al estudio de las cuevas heladas.

Toda la labor se ha venido apoyando financieramente mediante la concesión continuada hasta la actualidad de 6 proyectos de investigación competitivos de carácter nacional en los que, entre otros ámbitos epistemológicos glaciares y periglaciares, se han atendido al estudio de las cuevas heladas dentro, fundamentalmente, del PNPE (tabla 1).

Apoyo financiero		Concesión de proyectos de Investigación (2007-2024)			
		Nombre de Proyecto	Clave de Proyecto	Organismo Concesión	Duración
		Procesos de ladera y cambios climáticos en montaña atlántica y de transición: Cordillera Cantábrica y Pirineos.	OAPN 007/2007	IV Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación. Programa Nacional de Investigación Fundamental. Ministerio de Ciencia e Innovación	2007-2010
		Geoindicadores de alta montaña y cambio global: análisis y control de indicadores geomorfológicos en el Parque Nacional de los Picos De Europa.	CGL 2007-65295/BTE	Organismo Autónomo de Parques nacionales (OAPN), Ministerio de Medio Ambiente	2007-2010
		La criosfera como geoindicadora ambiental y del cambio climático: procesos de ladera asociados al hielo y a la nieve en las montañas del norte peninsular (Pirineos-Cantábrica).	CGL-2010-19729	VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011. Programa Nacional de Investigación Fundamental. Ministerio de Ciencia e Innovación	2010-2013
		Criosfera y cambio global en espacios naturales protegidos: control de procesos geomorfológicos asociados a la nieve y el hielo como geoindicadores de cambio ambiental en el parque nacional Picos de Europa.	OAPN 053/2010	Organismo Autónomo de Parques nacionales (OAPN), Ministerio de Medio Ambiente	2010-2014
		Interacciones y dinámica de la criosfera en la Montaña Cantábrica y Pirineos: permafrost, glaciares, cuevas heladas y cambio global.	CGL 2015/68144-R	Ministerio de Economía y Competitividad	2016-2018
		Dinámica, evolución reciente y modelización de la Criosfera en ambientes templados y tropicales. Glaciares, glaciares rocosos, permafrost y cuevas heladas en el Norte de España y Sur del Perú.	PID2020-113247RBC21	Ministerio de Ciencia e Innovación	2021-2024

Tabla 1. Apoyo financiero concedido al estudio, entre otros, de las cuevas heladas en el PNPE

4.- Resultados

Las principales áreas de estudio y parámetros concretos que se han venido trabajando desde hace más de una década se relacionan en la figura 3

<ul style="list-style-type: none"> ▪ La configuración endokárstica de la cavidad <ul style="list-style-type: none"> 1.1.- Karstogenésis de las cavidades 1.2.- Funcionamiento termodinámico de las cuevas ▪ Los bloques de hielo metamórficos <ul style="list-style-type: none"> 2.1.- Volúmenes: balance de masas 2.2.- Tendencias volumétricas 2.3.- Estratificación 2.4.- Composición – naturaleza de los estratos 2.5.- Carga de materia orgánica 2.6.- Profundidades del hielo 2.7.- Alimentación de los bloques y sus periodos de alimentación 2.8.- Edades del hielo 2.9.- Inferencias a futuro ▪ Crio-speleotemas <ul style="list-style-type: none"> 3.1.- Clasificación y tipologías 3.2.- Naturaleza: fusión, rehelo, nivales... 3.3.- Sensibilidad a los cambios ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parámetros endoclimáticos <ul style="list-style-type: none"> 4.1.- Temperaturas 4.2.- Humedades 4.3.- Corrientes de aire 4.4.- Periodos endoclimáticos 4.5.- Tendencias temporales 4.6.- Relaciones con el exterior 4.7.- Otros: radón ▪ Ecosistemas: biota <ul style="list-style-type: none"> 5.1.- Crustáceos macroinvertebrados ▪ Otros <ul style="list-style-type: none"> 6.1.- Entradas de personas: cueva de Castil
--	---

Figura 3. Procesos, morfologías y parámetros que se estudian desde hace más de una década en las cuevas heladas del PNPE.

La plasmación de los estudios en las cuevas dentro del PNPE queda reflejada en la tabla 2.

		Fechas	Trabajos realizados	Fechas	Trabajos realizados
Campañas Cuevas heladas – Picos de Europa	Cueva helada de Castil	Oct. 2010	- Observaciones criológicas - Colocación dataloggers (ibutton)	Oct. 2017	- Cambio dataloggers - Colocación higrom. Hobo - TLS (Faro)
		Jun. 2011	- Observaciones criológicas	Ago. 2018	- Colocación Sensores radón - TLS (Faro)
		Oct. 2011	- Cambio dataloggers - Colocación dataloggers (+higrom.) - Espeleo (reconocimiento rimayas) - TLS (Leica)	Nov. 2018	- Cambio dataloggers - Recuperación radón - TLS (Faro) - Documental TPA
		Nov. 2011	- TLS (Leica)	Nov. 2019	- Cambio dataloggers - Colocación sensores radón - TLS (Faro)
		Jun. 2012	- TLS (Leica)	Dic. 2016	- TLS (Faro)
		Nov. 2012	- TLS (Leica) - Termografías	Oct. 2017	- Cambio dataloggers - Colocación higrom. Hobo - TLS (Faro)
		Jun. 2013	- TLS (Leica)	Ago. 2018	- Colocación Sensores radón - TLS (Faro)
		Ago. 2013	- Instalación cámara Bushnell HD	Nov. 2018	- Cambio dataloggers - Recuperación radón - TLS (Faro)
					- Documental TPA
		Dic. 2013	- Recogida, cambio tarjeta cámara Bushnell HD - TLS (Leica)	Nov. 2019	- Cambio dataloggers - Colocación sensores radón - TLS (Faro)

Ago. 2014	<ul style="list-style-type: none"> - GPR (12 perfiles) - Recogida, cambio tarjeta cámara 	Oct. 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio dataloggers - Recogida sensores radón - TLS (Faro)
Jul. 2016	<ul style="list-style-type: none"> - Fotogrametría - Cambio dataloggers - TLS (Faro) - Espeleo: rimaya -50 m 	Nov. 2021	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio dataloggers - TLS (Faro)
Dic. 2016	<ul style="list-style-type: none"> - TLS (Faro) 	Ene. 2023	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio dataloggers - TLS (Faro) - Escaneos 3D LIDAR iPhone 13 Pro Max - Fotogrametría

Fechas	Trabajos realizados	Fechas	Trabajos realizados
Jun. 2011	Reconocimiento y valoración de cavidades como cuevas heladas	Jul.-Ago. 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones criológicas - Cambio dataloggers: Verónica, Altaiz - Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: instalación de varillas y tomas con disto - Muestreo microbiolog. Sanda Iepure-University Babeş Bolyai / Institute of Speleology Emil Racovita, Cluj Napoca, Romania - Nueva cavidad helada: 2N - Instalación dataloggers en 2N - Materia orgánica en la 2N - Termohigrómetros hobo en Altaiz y Verónica - Reexploración de la P50 = no cueva helada - Recogida mat. orgánica en GHm Verónica
Jul.-Ago. 2011	Observaciones criológicas Instalación de los primeros dataloggers: Verónica, Altaiz. - Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: instalación de varillas y tomas con disto Toma muestras dataciones: GHm Verónica	Jun. 2018	- VIII IWIC, Spain (Picos de Europa)
Ago. 2012	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones criológicas - Cambio dataloggers: Verónica, Altaiz. - Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: control de varillas y tomas con disto Toma muestras de hielo: isótopos Inicio exploración Hs4 	Ago. 2018	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones criológicas - Cambio dataloggers: Verónica, Altaiz - Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: instalación de varillas y tomas con disto - Muestreo microbiolog. Sanda Iepure-University Babeş Bolyai / Institute of Speleology Emil Racovita, Cluj Napoca, Romania - Reexploración Sala de los Fantasmas (P40) en Verónica (desde 2008) - Instalación de sensores de Radón en Verónica y Altaiz
Jul.-Ago. 2013	Reexploración de sectores en Verónica Observaciones criológicas Cambio dataloggers: Verónica, Altaiz. - Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: control de varillas y tomas con disto. - Imposible Hs4 por acumulación de nieve.	Jul. 2019	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones criológicas - Cambio dataloggers: Verónica, Altaiz - Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: instalación de varillas y tomas con disto - Cambio de termohigróm. hobo en Verónica y Altaiz - Reexploración cavidades heladas: 5P y K5 - Recuperación de ibuton de la Hs4 (de 2017)
Jul.-Ago. 2014	Observaciones criológicas Cambio dataloggers: Verónica, Altaiz. - Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: instalación de varillas y tomas con disto - Imposible Hs4 por acumulación de nieve.	Ago. 2020	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones criológicas - Cambio dataloggers: Verónica, Altaiz - Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: instalación de varillas y tomas con disto - Nuevos hobo instalación - Recogida de sensores radón. - Instalación de ibutton en la K5

Campañas
Cuevas heladas – Picos de Europa

Sector Camaleño
(Altaiz, Verónica, Hs4, K5, P13, ES20,...)

Jul.-Ago. 2015	Exploración de Hs4 (ASC)	Ago. 2021	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones y mediciones criomorfológicas - Cambio de dataloggers: Verónica y Altaiz - Primer escaneo TSL-Faro en Verónica - Materia orgánica GHm. - Instalación 2 dataloggers en la P13 (nueva cavidad helada).
Jul.-Ago. 2016	Preparación cavidades IWIC-2018 Observaciones criológicas Cambio dataloggers: Verónica, Altaiz. Controles morfométricos: GH Verónica y bloque Altaiz: instalación de varillas y tomas con disto Reportaje fotográfico Carsten Peter (National Geographic) Instalación ibutton Hs4 Recogida de finos en la GH de Verónica	Jul.-Ago. 2022	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones y mediciones criomorfológicas - Cambio de dataloggers: Verónica y Altaiz - Primeros escaneos 3D LIDAR con iPhone13: Verónica y Altaiz - Reinstalación dataloggers en K5 - Nueva cueva helada: ES-20 (1 datalogger)
Jun. 2017	Precampaña: instalación Altaiz para IWIC Observaciones criológicas (Altaiz) Cambio dataloggers (Altaiz)	Jul.-Ago. 2023	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones y mediciones criomorfológicas - Cambio de dataloggers: hobos nuevos en Verónica y Altaiz - Cambio de dataloggers en K5 - Escaneos 3D LIDAR iPhone 13 Pro Max

Total 35 campañas de exploración realizadas 2010-2023

19 en Castil + **16** en el Sector Camaleño

+ 3 campañas en la Cueva de Altavista (Teide)

1 campaña cueva Infierno (Vegacervera)

Tabla 2. Campañas de campo, tareas realizadas e instrumental empleado en el estudio de las cuevas heladas en Picos de Europa (2010-2023).

		Resultados	Número
		Publicaciones en revistas científicas	5
Resultados Contribuciones científicas y de divulgación sobre cuevas heladas de Picos de Europa		Libros	1
		Capítulos de libros	6
		Publicaciones de divulgación	15
		Participaciones en congresos	15
		Cursos, seminarios, ponencias	12
		Estancias	2
		Organización de workshops específicos	1
		Tesis doctorales	1
		Medios de comunicación	11
		Total de contribuciones científicas y de divulgación	69

Tabla 3. Principales resultados del estudio de las cuevas heladas en Picos de Europa (2010-2023).

5.- Conclusiones

El estudio de las cuevas heladas dentro del PNPE se ha venido conformando como un corpus científico sólido ex novo para el conjunto de la alta montaña de Picos de Europa, complementando otros múltiples trabajos criosféricos precedentes

desde hace décadas. La progresiva aportación desde hace más de una década queda respaldada por lo todo lo expuesto en el presente texto contribuyendo firmemente a dar a conocer, al menos, tal fenómeno periglacial desde un punto de vista de su relevancia y una mejor caracterización de una criosfera que en Picos mantiene un carácter plenamente marginal tanto espacial como temporalmente. Pero sin duda, y a pesar de múltiples líneas de investigación que quedan por tomar, supone un más que adecuado respaldo para su contemplación e inclusión dentro de las actuales redes internacionales de control a gran escala y a largo plazo como el LTSE-Picos de Europa (LTER - Spain).

Referencias bibliográficas

Ballantyne, C.K. (2018)(Ed.). *Periglacial Geomorphology*. Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 545 pp.

Gómez-Lende, M. (2015). *Cuevas heladas en Picos de Europa: clima, morfologías y dinámicas*. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, 664 pp.

Gómez-Lende, M. y Serrano, E. (2021). Cave mountain permafrost environments in the Picos de Europa and their implications. Ambientes con permafrost de montaña subterráneo en los Picos de Europa y sus implicaciones. *Cuaternario y Geomorfología*, 35 (3-4), 55-76.

Martín Merino, M.A. (2017). Prosiguen los trabajos en la Torca de La Grajera (Castro Valnera, Espinosa de los Monteros, Burgos). *Cubía*, mayo 2017, 18-21.

Oliva, M., Nyvlt, D., Fernández-Fernández, J.M. (2022)(Eds.). *Periglacial Landscapes of Europe*. Springer, Switzerland, 523 pp.

Persoiu, A. y Lauritzen, S.E. (2018)(Eds.). *Ice caves*. Elsevier, United Kingdom, 729.

Sancho, C., Belmonte, A., Bartolomé, M., Moreno, A., Leunda, M., López-Martínez, J. (2018). Middle-to-late Holocene palaeoenvironmental reconstruction from the A294 ice-cave record (Central Pyrenees, northern Spain). *Earth and Planetary Science Letters*, 484, 135–144.



MÍNIMOS HIGROMÉTRICOS EXTREMOS EN DETERMINADAS CAVIDADES HELADAS DE PICOS DE EUROPA. EL CASO DE LA CUEVA HELADA DE ALTAIZ.

Gómez Lende, M.¹, Serrano, E.²

¹. Dpto. de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria

². Dpto. de Geografía, GIR-Pangea, Universidad de Valladolid

Resumen

Desde hace más de una década de control, estudio y puesta en valor del fenómeno de las cuevas heladas en la alta montaña del Parque Nacional de Picos de Europa (PNPE), un aspecto endoclimático singular se repite recurrentemente de forma llamativa. En determinados sectores de algunas de las cavidades heladas, que funcionan a modo de laboratorio experimental para control de este fenómeno criosférico dentro del PNPE, las humedades relativas registradas sucesivamente a lo largo de los meses de invierno son extremadamente bajas para los patrones climáticos normales y caracterizadores de este tipo de cavidades y ambientes criosféricos. Se trata de la cueva helada de Altaiz en la que sucesivamente desde el año 2011 durante los meses del invierno se registra, en el conocido como periodo abierto (periodo con fluctuaciones en los regímenes térmicos, con heterotermia acusada y flujos de aire contrastados), humedades relativas extremas llegando a descender hasta un 19,48% como sucedió en marzo de 2012. El contraste es mayor si se compara con los registros normales de la cavidad para el resto del año, o con los registros normales anuales en otras cavidades estudiadas (p.e. cueva helada de Verónica o Castil), en los que los valores mínimos nunca están por debajo del 90%. La tendencia de tales registros hasta la actualidad sigue marcando los mismos mínimos extremos en dicha cavidad. Las causas, a falta de ser asentadas de forma sólida, pueden ser variadas, al igual que sus consecuencias; abriéndose así nuevas metas de investigación meritorias, al menos por ello, de mantener la continuación temporal en años sucesivos de tales controles endoclimáticos dentro del PNPE.

Abstract

Control, research and enhancement of the ice caves in high mountain of the Picos de Europa National Park (PENP) insight a singular endoclimate aspect is repeated strikingly. In some of them, which work as experimental laboratory to control this cryospheric topic, the relative humidity recorded throughout the winter months are extremely low for this type of cavities and cryological environments. Since 2011 during the winter months, in Altaiz ice cave, within known as the open period (a period with fluctuations in thermal regimes, with marked heterothermia and air flows), extreme relative humidities are recorded, dropping to 19.48% as occurred in March 2012. The contrast is greater if it is compared with the normal records of the cavity for the rest of the year, or normal records throughout the year in other cavities researched (e.g. Veronica or Castil ice caves), in which the minimum values are never below 90%. Nowadays, the record evolution continues to register the same extreme minimum events in this cave. The causes, in the ab-

sence of being solidly established, can be varied, as can their consequences. In this way, new meritorious research goals are opened, at least for that reason; and it's necessary maintaining the continuation in future years of such endoclimate controls and research within the PNPE.

Palabras clave

Cuevas heladas, humedad relativa, criosfera, Picos de Europa

Keywords

Ice caves, relative humidity, cryosphere, Picos de Europa

1.- Introducción

El estudio de las cuevas heladas en Picos de Europa se inicia en 2010. Desde entonces profusamente determinados parámetros endoclimáticos se han venido monitorizando y estudiando en varias de los centenares de cavidades heladas que se dan en este entorno. En determinados sectores de alguna de ellas se han registrado pronunciados mínimos higrométricos en determinados momentos del año que no se han registrado en ninguna de las otras cavidades estudiadas en el parque nacional Picos de Europa (PNPE). Concretamente en la cueva helada de Altaiz (L1) se han obtenido humedades relativas mínimas extremas que no tienen igual en otras cavidades de la misma naturaleza criosférica. Humedades relativas que se repiten de forma consecutiva durante los inviernos (periodos de circulación cerrados) de los últimos diez años.

2.- La cueva helada de Altaiz

La cueva helada de Altaiz (L1) es una cavidad inserta en las calizas masivas de la fm. Picos de Europa (westfaliense-cantabriense) del macizo Central localizada en la base de la pared NE de la torre homónima (fig.1). Cuenta con un desarrollo vertical orientando sus dos bocas de entrada al NNE, situando a 2190 m la boca inferior como boca de entrada principal. Alberga, bajo condiciones climáticas endokársticas de ambiente de permafrost, un gran bloque de hielo metamórfico alimentado fundamentalmente por los inputs directos de nieve desde el exterior y su transformación. Desde el punto de vista de su comportamiento endoclimático se trata de una cavidad helada estatodinámica con dos entradas de aire desde el exterior que acaban en fondo de saco a una cota de -57 m. En la actualidad, el

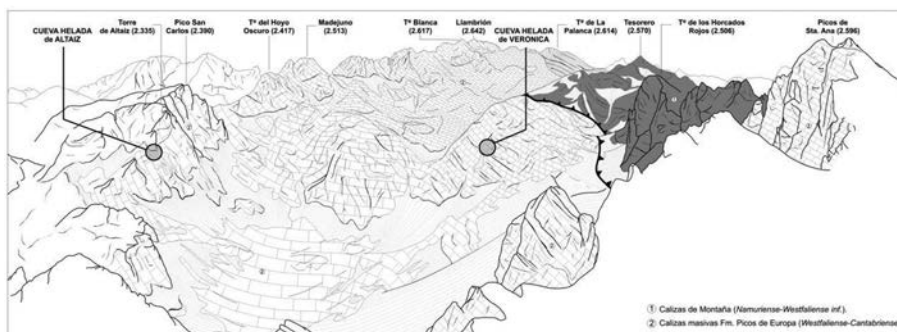


Figura 1. Localización de las dos cuevas heladas referenciadas en el texto: cueva helada de Altaiz y cueva helada de Verónica.

balance de masas de sus hielos perennes presenta registros marcadamente negativos, menguando ostensiblemente su volumen de hielo anualmente (fig.2). Desde el punto de vista termodinámico se diferencian dentro de la cavidad dos periodos principales: periodo abierto (genéricamente correspondientes con los meses de invierno) en los que las masas de aire frío del exterior penetran por diferencia de densidad y temperatura en el interior de la cavidad y se da una circulación interna de aire (periodo de registro heterotérmicos). Y un periodo cerrado (meses estivales) en el que el aire exterior, más cálido, no circula hasta la cota de profundidad de la cavidad, permaneciendo las masas de aire en el interior estacionariamente con una homotermia en torno a los 0°C y con una circulación de aire entre las dos bocas de entrada de la cavidad. Entre ambos periodos se dan periodos transicionales en los que los mencionados regímenes térmicos se ajustan a sus tendencias normalizadas. En la cavidad de Altáiz particularmente también los registros higrométricos marcan los dos periodos termodinámicos señalados, a diferencia de lo que se ha venido observando en las otras cavidades del PNPE monitorizadas.

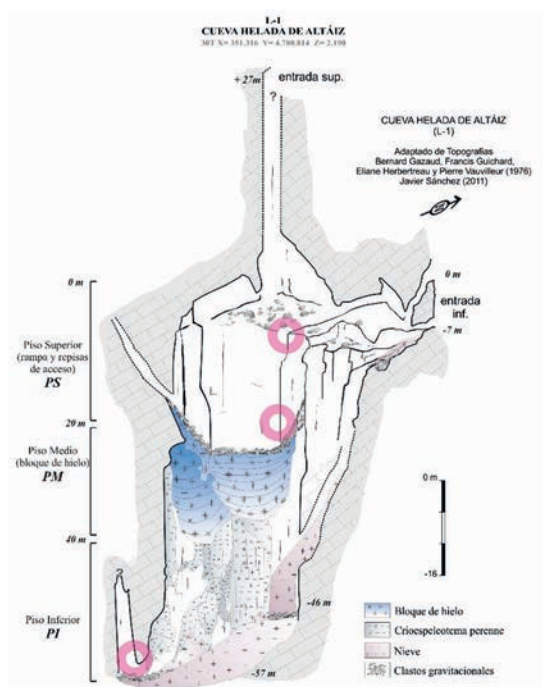


Figura 2. Topografía criomorfológica de la C.H.de Altaiz (L1). En círculo rojo, ubicación de los dataloggers.

3.- Instrumentación higrométrica

La cavidad fue equipada por primera vez en 2011 con distintos tipos de dataloggers ubicados de tal manera que se abarcase el máximo posible de superficie (figura 2). Desde entonces se ha mantenido el monitoreo continuo de temperaturas y algo más intermitente el higrométrico. Concretamente entre 2011-2012 se utilizaron ibutton termohigrómetros Hygrochron DS1923-F5 con una precisión en el registro de humedad de hasta 0,04% y un rango de funcionamiento térmico com-

prendido entre -20 y +85°C y hasta el 100% de humedad. El rango de precisión en la toma de temperaturas es programable entre 0,0625°C y 0,5°C, con una capacidad de toma consecutiva de 8192 lecturas equidistantes entre sí desde 1sg hasta 273 horas y software OneWireViewer Maxim®. En los últimos años (desde 2017) se han instalado HOBO U23 Pro v2 Ext Temp/RH (-40 to 70°C; ±0,2°C) con una precisión de ±0,25°C y resolución de 0,02°C (soft. HOBOware®).

4.- Resultados

Los registros que se obtuvieron con los primeros higrómetros instalados (2011-2012) reflejaban una situación igual de extrema que los que instalados en los últimos años (desde 2017). Apreciándose valores extremos de la HR durante el periodo abierto (meses invernales) con la penetración en el interior de masas de aire más frías desde el exterior, mayores corrientes de aire y una, correlativa, heterotermia acusada (Gómez Lende, 2015). La continuación de la monitorización más recientemente muestra el mismo comportamiento extremo de la cavidad, con valores mínimos absolutos de HR comprendidos entre 54,4% y 27,6% (febrero del 2022 y febrero del 2023, respectivamente), siempre con temperaturas por debajo de los 0°C. Permaneciendo en torno al 100% de HR durante el periodo cerrado (meses estivales)(fig.3).

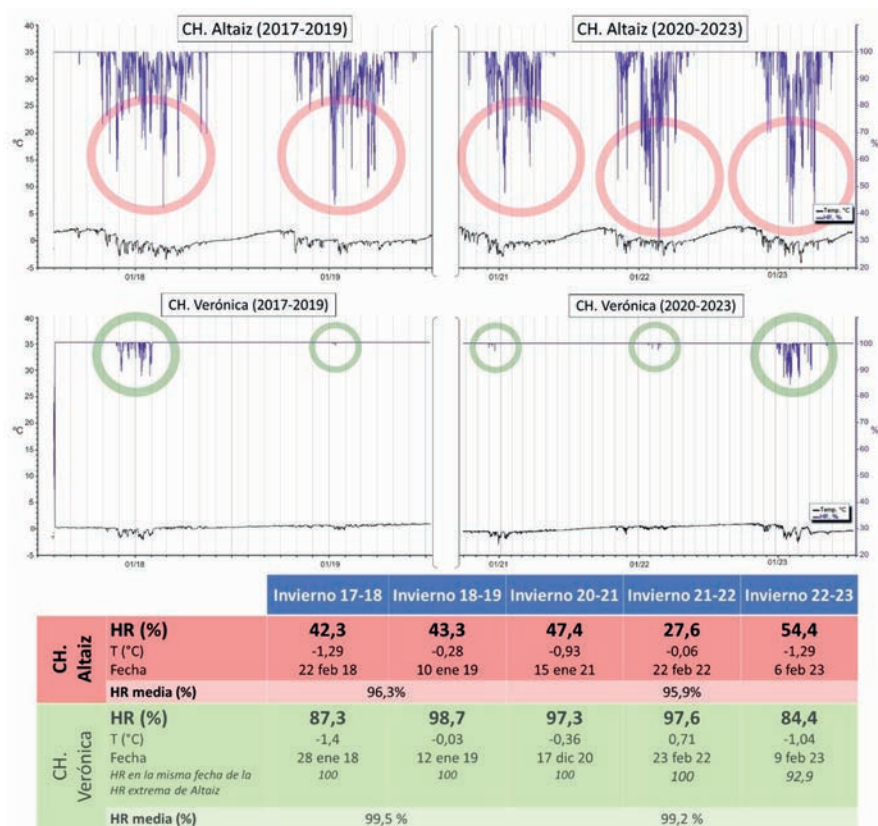


Figura 3. Registros comparativos termohigrométricos en las CH. de Altaiz y Verónica (2017-2019; 2020-2023). En rojo, los mínimos extremos de HR registrados en la cueva helada de Altaiz; en verde se señala para las mismas fechas la HR en la cavidad de Verónica.

Para las mismas fechas, sin embargo, en la cercana cueva helada de Verónica los datos reflejan una realidad higrométrica bien distinta para esas mismas fechas. Aunque igualmente las temperaturas se mantienen por debajo de los 0°C, las HR se mantienen completamente saturadas con registros del 100% en casi todos los casos, cuando menos en el 2023 con una HR de 92,9%. Pautas que se repiten similarmente en otras cavidades monitorizadas, pero algo más alejadas como la cueva helada de Castil (Gómez Lende, 2015).

5.- Discusión

Bajo estos registros higrométricos presentados para la cavidad de Altaiz se abren distintas perspectivas que, a futuro próximo, se deben abordar para seguir ahondando en el conocimiento del comportamiento climático de estos fenómenos criosféricos.

Por una parte, la corroboración de tales HR extremas en toda la cavidad ampliando la cobertura actual de dataloggers instalados en la cavidad tanto desde un punto de vista espacial (registros de las humedades en la boca superior y otras estancias menores), como desde un punto de vista temporal con la continuación a futuro de la monitorización higrométrica de la cavidad. Ello contribuiría a determinar si se trata de un patrón único para toda la cavidad o de un sector concreto, y si se podría dar en configuraciones endokársticas heladas similares. Del mismo modo se precisaría si tales bajadas extremas de HR están asociadas a determinados ambientes dentro de la cavidad o no (si se dan en aquellos sectores en exclusiva con ambientes de permafrost o son propias de todo el conjunto de la misma).

Igualmente se debería de cuantificar la influencia de tales HR extremas en procesos y ratios de sublimación experimentados en la cavidad y la fusión del bloque de hielo y de los criospeleotemas perennes tratando de determinar los balances de masa de hielo consecuentes. Siendo ésta una cuestión inminente debido al estado de conservación debilitado que tiene el bloque de hielo en la actualidad. Para ello, la instalación de instrumentación específica sería conveniente (anemómetros y barómetros de precisión).

Otro factor a relacionar con tales eventos extremos higrométricos sería la posible influencia de configuraciones sinópticas meteorológicas del exterior. Podría ser interesante ver las posibles influencias de situaciones atmosféricas secas de viento sur en el exterior y sus posibles afecciones en el interior de la cavidad. Y junto a ello, la elaboración de mapas de radiación solar en el exterior podría arrojar luz también contribuyendo a una caracterización climática de la cavidad más completa y en detalle o señalándose anomalías en las condiciones exteriores y su relación con las condiciones interiores de la cavidad (Bartolomé et al., 2023).

Finalmente, en cavidades turísticas patrimoniales, no heladas, los análisis isotópicos de $\delta^{18}O$ y δD registrados en sus aguas internas han mostrado valores más altos durante los periodos de ventilación de las cuevas que el resto del año, producto de la evaporación durante tales periodos abiertos debido a la ventilación de la misma y a HR bajas derivadas del orden del 60-80% (Liñán et al., 2021), o con HR medias más altas (Gázquez et al., 2022). En esta misma línea, en la cueva helada de Altaiz se podría comprobar los valores isotópicos de sus aguas, y registrar sus niveles en sus distintos periodos endoclimáticos.

6.- Conclusiones

Las cuevas heladas son uno de los elementos de la criosfera menos estudiado a pesar de venir despuntándose desde las últimas décadas como testigos de primer orden de tiempos y climas pasados recientes y con una especial sensibilidad a los cambios globales. A ello se le suma en nuestras latitudes medias, la presencia marginal de las condiciones periglaciares lo que hace de este tipo de cavidades tesoros remanentes sobre los que es acuciantemente necesario trabajar para comprender y valorar.

Bajo las necesarias continuaciones futuras en la investigación de las cuevas heladas dentro del PNPE, se mantienen a día de hoy líneas abiertas como la presentada aquí de procesos termodinámicos con registros hasta ahora no presentados en ninguna de las otras cavidades monitorizadas. Comprender el porqué de interrogantes similares no solo contribuye a enriquecer nuestro patrimonio natural, sino que también sin duda denota el nivel de sensibilidad cultural de una sociedad.

Referencias bibliográficas

Bartolomé, M., Cazenave, G., Luetscher, M., Spötl, C., Gázquez, F., Belmonte, A., Turchyn, A., López-Moreno, J.I. y Moreno, A. (2023). Mountain permafrost in the Central Pyrenees: insights from the Devaux ice cave. *The Cryosphere*, 17, 477-497.

Gázquez, F., Quindós, L., Rábago, D., Fuente, I., Celaya, S., Sanz, C. (2022). The role of cave ventilation in the triple oxygen and hydrogen isotope composition of condensation waters in Altamira Cave, northern Spain. *Journal of Hydrology*, 606, 127416.

Gómez-Lende, M. (2015). *Cuevas heladas en Picos de Europa: clima, morfologías y dinámicas*. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, 664 pp.

Liñán, C., Benavente, J., del Rosal, Y., Vadillo, I., Ojeda, L., Carrasco, F. (2021). Condensation water in heritage touristic caves: isotopic and hydrochemical data and a new approach for its quantification through image analysis. *Hydrological Processes*, 35 (5).

PROCESOS DE DEFORMACIÓN EN LA ZONA DE CIZALLA BASAL DE LA REGIÓN DE PICOS DE EUROPA DURANTE SU EMPLAZAMIENTO

Deformation processes in the basal shear zone of the Picos de Europa region during emplacement

de Paz-Álvarez, Manuel Ignacio^{1*}, Llana-Fúnez, Sergio¹, Alonso, Juan Luis¹

¹ Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco, s/n, 33005, Oviedo (*midepaz@outlook.es)

Palabras clave:

Zona Cantábrica, Mantos de cabalgamiento, Rocas de falla, Procesos de deformación

Keywords:

Cantabrian Zone, Thrust nappes, Fault rocks, Deformation processes

Resumen

La región de Picos de Europa constituye la parte más oriental de la Unidad de Bodón-Ponga de la Zona Cantábrica. Está formada por numerosas escamas cabalgantes imbricadas emplazadas sobre la potente sucesión terrígena de la Región del Pisuerga-Carrión. Las más inferiores son particularmente numerosas y delgadas, estando constituidas por las calizas de la fms. Alba y Barcaliente, en ocasiones formando dúplex de escala hectométrica. El sentido de transporte de estas láminas frontales es variable hacia el SSO-OSO.

En este trabajo se han estudiado muestras procedentes del cabalgamiento basal de la unidad Frontal, con el fin de caracterizar los procesos de deformación operativos más importantes que acompañaron el emplazamiento de la región de Picos de Europa. Las lutitas cabalgadas muestran una fábrica planar definida por superficies de disolución asociadas a la compactación por el peso orogénico. La lámina cabalgada, por su parte, posee en su base un tramo de espesor variable de entre 1 y 10 cm de rocas de falla de la serie de las cataclasitas, a menudo de aspecto foliado por la existencia de superficies de disolución penetrativas. En algunos casos, las ultracataclasitas muestran estructuras fluidales que podrían relacionarse con eventos de fluidificación asociados a un repentino incremento de la presión de fluido de poro en la zona de cizalla basal, posiblemente desencadenados por la propagación de eventos sísmicos desde sectores más profundos hacia la superficie.

Abstract

The Picos de Europa region conforms the southeasternmost sector of the Bodón-Ponga Unit of the Cantabrian Zone. It is formed by numerous imbricated thrust sheets emplaced over the thick terrigenous succession of the Pisuerga-Carrión Region. The lowermost sheets are particularly numerous and thin, and are formed by limestones of the Alba and Barcaliente fms., occasionally organised in hecto-

metric-scale duplex. The transport sense of the frontal thrust sheets is variable towards the SSW-WSW.

This contribution focusses on the study of samples from the basal thrust of the Frontal unit, with the aim of characterizing the operative deformation processes involved in the emplacement of the Picos de Europa region. The shales of the footwall display a planar fabric defined by dissolution seams related to the orogenic weight. In turn, the hangingwall displays at its base an interval ranging 1-10 cm formed by fault rocks of the cataclasite series, often foliated in appearance owing the existence of penetrative dissolution seams. In some cases, the ultracataclasites display fluid-like structures that could be related with fluidization events associated with a sudden increase in pore fluid pressure in the basal shear zone, likely triggered by the propagation of seismic events originated at depth towards the surface.

Introducción

La Zona Cantábrica se sitúa en el núcleo del arco Ibero-Armoricano, y constituye la zona externa del orógeno Varisco en la parte septentrional del Macizo Ibérico. Está estructurada en numerosas láminas de cabalgamiento que afectan a una sucesión paleozoica variablemente preservada. Estas láminas se emplazaron durante el Pensilvaniense (ca. 305 Ma) con un sentido de transporte dirigido a grandes rasgos hacia el núcleo del arco.

En concreto, la región de Picos de Europa se sitúa en la parte oriental de la Unidad de Bodón Ponga de la Zona Cantábrica (Alonso et al., 2009). Presenta una estructura relativamente simple formada por numerosas escamas cabalgantes imbricadas en las que son especialmente abundantes las calizas carboníferas de las fms. Alba, Barcaliente, Valdeteja y Picos de Europa, sobre las que se depositan discordantemente diversas formaciones sinorogénicas (e.g. Merino-Tomé, 2009). La región de Picos de Europa cabalga sobre la Región del Pisuerga-Carrión, que presenta en su zona superior una potente sucesión siliciclástica formada por lutitas, areniscas y conglomerados de los grupos Pontón y Valdeón y de la Fm. Remoña. El sentido de transporte de las láminas más meridionales de Picos de Europa, que constituyen la unidad Frontal, ha sido estimado hacia el SO-OSO (de Paz-Álvarez, 2023).

Objetivos

Pese al hecho de que la geología de la región de Picos de Europa ha sido estudiada por numerosos autores en las últimas décadas, se observa una relativa laguna en el conocimiento de los procesos de deformación asociados al emplazamiento de sus cabalgamientos que han podido quedar registrados en las rocas de falla y estructuras de deformación a escala de afloramiento asociadas a sus zonas de cizalla basales.

El objetivo principal de este trabajo, que ha formado parte de un proyecto de investigación doctoral (de Paz-Álvarez, 2023), es el de determinar los procesos de deformación que han acompañado el emplazamiento de los mantos en la Zona Cantábrica, y entre ellos, la región de Picos de Europa, en su zona de cizalla basal. Estos procesos no solamente pueden afectar al tipo de estructuras tectónicas formadas sino también al desarrollo de la cuña orogénica en este sector del orógeno Varisco.

Métodos

En el análisis tectónico de estas zonas de cizalla basales, se han empleado diversas metodologías, entre las que cabe destacar el trabajo de campo y el de gabinete, así como el uso de microscopía óptica y electrónica para la observación de microestructura de las rocas de falla.

Durante el trabajo de campo se han identificado afloramientos de la zona de cizalla basal de la unidad Frontal de Picos de Europa en los valles de Sajambre, Valdeón y Liébana. Una vez localizados, puesto que suelen estar recubiertos de derrubios de ladera, se han obtenido muestras de mano orientadas de la lámina cabalgada y de la cabalgante, mediante el uso de una maza y un cincel. Además, aunque no será objeto de descripción en el presente estudio, se llevaron a cabo medidas de orientación de estructuras en la zona de cizalla basal, tales como ejes de pliegues, pequeñas escamas, o fallas menores.

El trabajo de gabinete ha consistido, por un lado, en determinar el sentido de transporte de la unidad Frontal de Picos de Europa para cada región próxima a los afloramientos muestreados, utilizando para ello las medidas estructurales. Una vez conocida, se dibujó sobre las muestras de mano este sentido de transporte, con la finalidad de realizar un corte orientado de las mismas que muestre la sección XY del elipsoide de deformación, el más adecuado para realizar las observaciones petrográficas de interés.

Se han elaborado láminas delgadas de 30 μm de espesor con el fin de realizar un estudio microestructural de las muestras. Este se ha llevado a cabo de forma rutinaria mediante microscopía óptica de transmisión y reflexión en el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo. Una vez seleccionadas las muestras de mayor relevancia, estas se estudiaron mediante microscopía electrónica de barrido en los Servicios Científico-Técnicos de la misma universidad.

Resultados

En las inmediaciones del cabalgamiento basal, las lutitas de la lámina cabalgada (Región del Pisuerga-Carrión) presentan una fábrica planar muy desarrollada de orientación variable, formada por superficies de disolución. En muchos casos, esta fábrica es claramente oblicua al contacto, disponiéndose en posición P con ángulos que varían entre unos 10° y 30°. Algunas de estas superficies han sido rellenas por venas de calcita, a menudo con desarrollo de estrías que registran una dirección coherente con el emplazamiento de la región de Picos de Europa durante la orogenia Varisca, pero también direcciones N-S más asimilables a la compresión Alpina.

Las rocas de falla estudiadas en el cabalgamiento basal de la unidad Frontal de Picos de Europa presentan una gran variedad de tipologías de rocas de falla: como rasgo general, cabe destacar la escasa potencia de las mismas, que varía desde prácticamente inexistente a unas pocas decenas de centímetros. Estas suelen ser ultracataclasitas con fragmentos de caliza con las facies típicas de la Fm. Alba situada en la base de la lámina cabalgante, y matriz rica en minerales arcillosos, mayoritariamente illita, procedentes tanto de las margas de la Fm. Alba como de las formaciones cabalgadas. En algunos casos, estas cataclasitas presentan fragmentos de ultracataclasitas previas que preservan una laminación intensamente deformada por estructuras fluidales (de Paz-Álvarez, 2023).

Discusión y conclusiones

Existen muy pocos marcadores ampliamente reconocidos como evidencia del movimiento de una falla a velocidades sísmicas (i.e. varios dm/s) en rocas de falla (e.g. Rowe y Griffith, 2015). Entre ellos, el más importante es la presencia de pseudotaquilitas, formadas por la fusión repentina de las rocas en torno a la falla debido a su incapacidad para disipar las elevadas temperaturas generadas. No obstante, este tipo de roca de falla no se forma en rocas carbonatadas, puesto que estas sufren un proceso de decarbonatación previo a la fusión, cuyos productos son muy difíciles de identificar por su pequeño tamaño y su mezcla con otros componentes de la roca de falla (e.g. Rowe y Griffith, 2015).

Sin embargo, hay otros posibles indicadores, como aquellas texturas que indiquen que las rocas de falla han estado temporalmente fluidificadas, de modo que los fragmentos, suspendidos en un fluido, colisionan entre ellos (Otsuki et al., 2003). Esta situación suele producirse por la presurización termal de los fluidos en la falla durante su deslizamiento a velocidades sísmicas (e.g. Rowe y Griffith, 2015). Si el movimiento es muy rápido y las rocas de falla poco permeables, los fluidos dilatados por la compactación y la temperatura no pueden escapar, incrementando la presión de fluido en las rocas de falla y fluidificándolas. Algunas de las estructuras propuestas como evidencia de fluidificación son texturas fluidales extremadamente dúctiles como pueden ser pliegues isoclinales (Otsuki et al., 2009). Algunas de las texturas observadas en la zona de cizalla basal de Picos de Europa son muy similares morfológicamente a estas, por lo que se propone que podrían registrar desplazamientos a velocidades sísmicas a lo largo de la misma (de Paz-Álvarez, 2023).

Se interpreta que, en caso de haberse producido, la zona de cizalla basal de Picos de Europa habría actuado como zona de propagación de estos eventos sísmicos hacia la superficie, estando estos originados en zonas más profundas y favorables mecánicamente para su nucleación.

Bibliografía

Alonso, J.L., Marcos, A., Suárez, A. (2009). Paleogeographic inversion resulting from large out of sequence breaching thrusts: The León Fault (Cantabrian Zone, NW Iberia). A new picture of the external Variscan Thrust Belt in the Ibero-Armorican Arc. *Geologica Acta*, 7 (4), 451-473.

de Paz-Álvarez, M.I. (2023). Deformación y rocas de falla en las zonas de cizalla basales de los mantos cantábricos. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo.

Merino-Tomé, O.A., Bahamonde, J.R., Colmenero, J.R., Heredia, N., Villa, E., Farias, P. (2009). Emplacement of the Cuera and Picos de Europa imbricate system at the core of the Iberian-Armorican arc (Cantabrian zone, north Spain): New precisions concerning the timing of arc closure. *Geological Society of America Bulletin*, 121 (5-6), 729-751.

Otsuki, K., Monzawa, N., Nagase, T. (2003). Fluidization and melting of fault gouge during seismic slip: identification in the Nojima fault zone and implications for focal earthquake mechanisms. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108 (B4), 2192.

Rowe, C.D., Griffith, W.A. (2015). Do faults preserve a record of seismic slip: a second opinion. *Journal of Structural Geology*, 78, 1-26.

Contacto

Email del primer autor: midepaz@outlook.es

LOS SISTEMAS DE FALLAS DE LOS PICOS DE EUROPA Y SU RELACIÓN CON LOS PRINCIPALES EVENTOS TECTÓNICOS DEL FANEROZOICO

B. Gonzalo Guerra. CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC)

P. Farias. Departamento de Geología, Universidad de Oviedo pfarias@uniovi.es

J. García-Sansegundo. Departamento de Geología, Universidad de Oviedo

N. Heredia. CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME-CSIC)

F. Martín González. Departamento de Biología, Geología, Física y Química Inorgánica, Universidad Rey Juan Carlos

D. Pedreira. Departamento de Geología, Universidad de Oviedo

Resumen

La elaboración de un nuevo mapa geológico de detalle de la región de Picos de Europa-Cuera, ha permitido el análisis de las estructuras tectónicas (fallas y cabalgamientos) generadas durante los ciclos orogénicos Varisco y Alpino. A partir de criterios geométricos, cinemáticos y deformacionales, así como del análisis de las relaciones de intersección y tectónica-sedimentación extraídas tanto del mapa como de las evidencias de campo, se han definido cuatro conjuntos de fallas cuya génesis tuvo lugar en diferentes momentos del Fanerozoico: Cabalgamientos Variscos (Carbonífero superior), fallas de desgarre Tardi-Variscas (Carbonífero superior-Pérmico inferior), Fallas Normales Permo-Mesozoicas (Pérmico inferior-Triásico Medio y Cretácico) y Fallas Inversas Cenozoicas (Eoceno superior-Mioceno superior). El análisis de las interrelaciones entre los cuatro grupos de fallas ha permitido identificar la existencia de diferentes tipos de reactivación de estas estructuras en eventos de deformación posteriores al de su génesis inicial. Se ha observado asimismo que las características geométricas de las discontinuidades previas generadas en los diferentes eventos tectónicos impulsan y determinan la propagación de las estructuras desarrolladas en eventos de deformación posteriores.

Abstract

A new detailed geological map of the Picos de Europa-Cuera region allowed the analysis of the tectonic structures (faults and thrusts) generated during the Variscan and Alpine orogenic cycles. Based on geometric, kinematic and deformational criteria, as well as the analysis of intersection and tectonic-sedimentation relationships extracted from both the map and field evidence, four sets of faults have been defined, whose genesis took place at different times in the Phanerozoic: Variscan thrusts (late Carboniferous), Tardi-Variscan strike-slip faults (late Carboniferous-early Permian), Permo-Mesozoic normal faults (early Permian-Middle Triassic and Cretaceous) and Cenozoic reverse faults (Upper Eocene-Upper Miocene). The analysis of the interrelationships between the four groups of faults allowed to identify the existence of different types of reactivation of these structures in deformation events subsequent to their initial genesis. It has also been observed that the geometric characteristics of the previous discontinuities generated in the different tectonic events drive and determine the propagation of the structures developed in subsequent deformation events.

Palabras clave:

Picos de Europa, Ciclo Varisco, Ciclo Alpino, fallas

Keywords:

Picos de Europa, Variscan Cycle, Alpine Cycle, faults

Objetivos

La región de Picos de Europa-Cuera, situada principalmente en la parte oriental de Asturias y también en el norte de León y oeste de Cantabria, es un área de alto interés geológico caracterizada por un sustrato predominantemente calcáreo de edad paleozoica y afectado por una densa red de fallas, las cuales están especialmente bien expuestas debido a la relativamente escasa cubierta vegetal. Desde el punto de vista geológico el área se ubica en la parte más externa de la Zona Cantábrica del Orógeno Varisco y en la rama norte del Arco Ibero-Armoricano, donde las estructuras se disponen en dirección E-O y se desarrollaron fundamentalmente durante el Carbonífero superior. Otro sistema de fallas variscas, de trazado NNO-SSE y pertenecientes a la conocida como deformación tardi-varisca, tiene una amplia representación en la región, aunque hasta el momento no se había puesto de manifiesto su verdadera importancia y estaban mal reconocidas y caracterizadas. Tres episodios de deformación afectaron a estas rocas con posterioridad y durante el Ciclo Alpino, (i) un primer periodo extensional en el Pérmico inferior, relacionado con el colapso del Orógeno-Cordillera Varisca, (ii) la extensión polifásica ligada a la apertura del Golfo de Vizcaya durante el Mesozoico (Triásico-Cretácico Inferior) y (iii) la compresión relacionada con la Orogenia Alpina que dio origen a la Cordillera Cantábrica durante el Cenozoico. Estos tres episodios tuvieron lugar en relación con esfuerzos de dirección aproximada N-S, por lo que tanto las fallas extensionales como los cabalgamientos alpinos corresponden, en muchos casos, a la reactivación de fallas variscas.

En esta comunicación se trata de presentar los principales resultados de los trabajos desarrollados en el proyecto FALPINO (Heredia et al., 2022) y su continuación en el proyecto CANALAB (PID2020-118228RB-C21), en el marco de los cuales se desarrolló la tesis doctoral de Brais Gonzalo Guerra. Los objetivos de ambos proyectos consisten en la profundización en el conocimiento de los diferentes sistemas de fallas que se identifican en la región geológica de Picos de Europa-Cuera para establecer sus relaciones geométricas, su cinemática y su papel en los distintos eventos de deformación que se registran a escala regional, para finalmente poder desentrañar la larga y compleja historia geológica de esta región.

Materiales y Métodos

Para una correcta descripción de las fallas resulta imprescindible la realización en primer lugar de una cartografía geológica de detalle a diferentes escalas (1:10.000 a 1:25.000) luego generalizada a escalas mayores (como en la Figura 1). Esta se ha realizado a partir de información previa y trabajos de campo propios. Por otra parte, en un entorno poli-orogénico como este, la recogida de datos estructurales es tarea fundamental para caracterizar los diferentes grupos de fallas y su posterior análisis cinemático y su asignación genética. De esta manera, se necesita un estudio estructural de múltiples enfoques, entre los que destacan: (i) Geometría y topología de las fallas. Estos datos se recopilan en las categorías de

orientación de la falla (rumbo y buzamiento), forma y tamaño de la traza de falla, disposición geométrica, estructuras menores relacionadas y relaciones de corte con otras estructuras. (ii) La edad absoluta en el que se desarrollaron las estructuras o las relaciones de edad entre ellas. En este estudio, los datos que arrojan luz sobre este tema provienen del análisis de las relaciones de corte basado en la evidencia de campo y el análisis detallado del mapa geológico. (iii) Las relaciones tectónica-sedimentación y la edad de las mineralizaciones y alteraciones (dolomitización/silicificación) del macizo rocoso, relacionadas con algunos grupos particulares de fallas y que permiten una datación absoluta precisa. (iv) Cinemática de las estructuras, inferida a partir de criterios cinemáticos tales como fibras, estrías y escalones de crecimiento en espejos de falla, red de fracturas y orientaciones de clastos en brechas de falla. (v) Evidencia de comportamiento mecánico, basada en (a) la presencia, características y tipo de rocas de falla y (b) la evidencia del comportamiento reológico plástico o frágil en relación con diferentes grupos de fallas. (vi) El análisis de las relaciones sedimentarias que afectan a unidades deposicionales conocidas y significativamente relacionadas con eventos tectónicos regionales, que permite colocar las diferentes familias de fallas en el ámbito más amplio de la tectónica de placas. (vii) Finalmente, se han analizado las evidencias de paleoflujo de fluidos favorecido por fallas, que dio lugar a mineralizaciones y a dolomitizaciones y silicificaciones secundarias.

Resultados

Las diferentes familias de fallas presentes en la región analizada se desarrollaron durante los ciclos orogénicos Varisco (Cámbrico inferior-Pérmico inferior, Figura 1) y Alpino (Pérmico inferior-Mioceno superior, Figura 2) y se han agrupado según su edad, cinemática y orientación (Figura 1). Son frecuentes las reactivaciones de las estructuras, en la totalidad de su trazado o en segmentos favorablemente orientados. La descripción de las características geométricas y evolución de las estructuras en el tiempo es la siguiente:

Estructuras variscas:

Cabalgamientos Variscos: La región de Picos de Europa-Cuera consiste en un sistema imbricado de cabalgamientos con geometría lítrica, emplazados hacia el SE, S y SO según una secuencia hacia delante (o de bloque inferior). Como consecuencia, los cabalgamientos están casi verticales o incluso invertidos en la parte norte de la zona de estudio (al norte de las localidades de Tresviso y La Hermida, Figura 1) y muestran un buzamiento moderado en el sur. La edad de emplazamiento de estos cabalgamientos abarca unos cinco millones de años del Carbonífero superior, desde el Moscoviense superior para los primeros (Cuera), hasta el Gzheliense para los últimos (Picos de Europa) (Merino Tomé et al., 2009). Relacionados con estos cabalgamientos aparecen algunos pliegues, sobre todo en el Cuera y parte N de los Picos de Europa, siendo escasos en el resto de esta última unidad.

Fallas tardi-variscas: Un conjunto de fallas subverticales, de trazado anastomosado y dirección NO-SE a NNO-SSE (Figura 1), desplazan a los cabalgamientos variscos y resultan en ocasiones de su reactivación como fallas inversas con claro componente de desgarre dextro. La zona de falla asociada es en ocasiones muy amplia, con abundantes cataclasitas y calcita y cuarzo de origen hidrotermal; este es el

caso de la Falla de Cabañas, al Sur de Treviso, donde varias de estas fracturas se bifurcan y se juntan de nuevo entre el suroeste de Treviso y las cercanías de Cabañas (Figura 1). Estas fallas se desarrollaron durante la denominada deformación tardi-varisca y se encuentran fosilizadas por sedimentos pérmicos post-variscos,

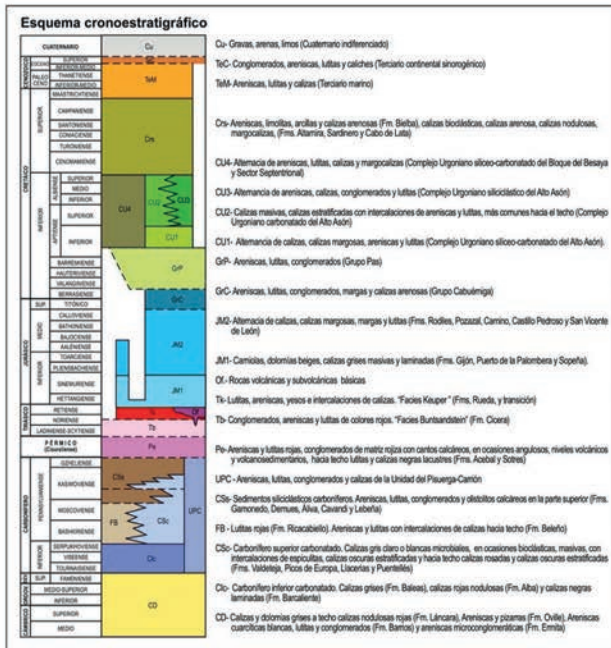
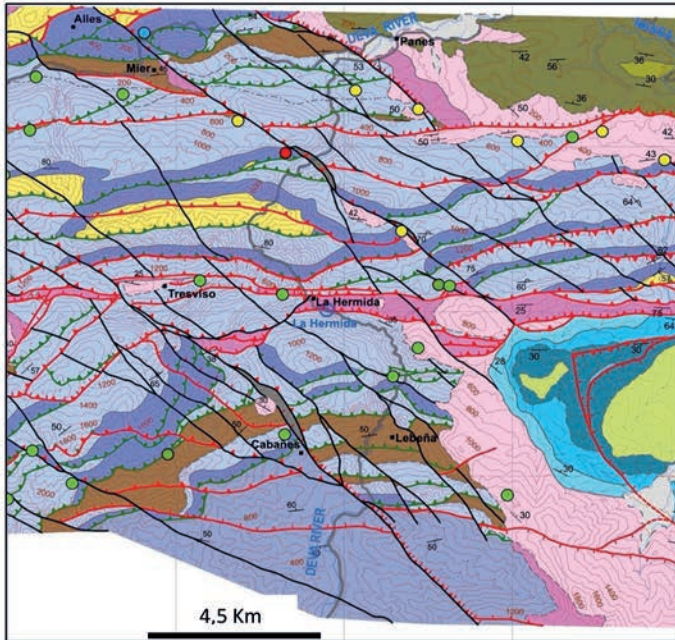


Figura 1
Mapa Geológico
del
entorno del Río Deva
(Asturias-Cantabria)



Figura 1. Mapa geológico del entorno del río Deva (basado en Heredia et al., 2022). Algunas de las unidades del esquema cronoestratigráfico no afloran en este mapa, fundamentalmente las de edad cenozoica.

datados en ~297 Ma. La actividad de estas fallas comprende un reducido periodo de tiempo (4-5 Ma) entre el Gzheliense (edad de los últimos cabalgamientos variscos) y el Asseliense inferior (edad de los sedimentos pérmicos más antiguos). Esta edad coincide con la estimada para el final del cierre del Arco Ibero-Armoricano, lo que sugiere que acomodaron los últimos esfuerzos compresivos variscos. Cerca de estas fallas son muy comunes las mineralizaciones de bario (Figura 1)

Estructuras del Ciclo Alpino:

Fallas normales del Pérmico inferior: Estas fallas constituyen los límites de las cuencas pérmicas y algunas de ellas resultan de la reactivación de cabalgamientos variscos. Estas cuencas son estrechas y alargadas y en su mayoría tienen dirección E-W, aunque algunas presentan orientaciones NE-SO o NO-SE, correspondiendo en este último caso a fallas tardi-variscas reactivadas (López Gómez et al., 2021) (Figura 1). La reactivación pérmica de fallas variscas produce amplias zonas brechificadas y dolomitizadas, relacionadas con la intensa actividad hidrotermal y magmática de ese periodo. La brechificación asociada a estas fallas se caracteriza por la presencia de cantos angulosos heterométricos de calizas, calizas dolomitizadas y calizas silicificadas, embebidos en una abundante matriz calcítica, dolomítica o silíceo hidrotermal. Las dolomitizaciones extensivas son muy comunes en las inmediaciones de estas fallas, sobre todo cuando afectan al basamento carbonatado, y también algunos yacimientos de mercurio, relacionados con la actividad volcánica pérmica.

Fallas normales mesozoicas: Los afloramientos mesozoicos en el entorno de la zona de estudio son principalmente de edad jurásica al este del desfiladero de La Hermida (parte sur del río Deva) y cruzan el valle de dicho río hacia el oeste en la parte norte, donde solo tienen edades cretácicas (Figura 1). La mayor parte de estos afloramientos se encuentran limitados por fallas de dirección E-O que coinciden con la de los cabalgamientos variscos pero también aparecen direcciones NO-SE, que coincide con la orientación de las fallas tardi-variscas (Heredia et al., 2022). Estas direcciones parecen limitar la cuenca jurásica al oeste del desfiladero de La Hermida (Figura 1), donde solo se habría depositado una fina secuencia de materiales triásicos y cretácicos, fundamentalmente del Cretácico Superior, los cuales hoy en día están erosionados y serían prolongación de los localizados más al norte, próximos al río Nansa (Esquina NE del mapa geológico de la Figura 1). Estas fallas llevan asociados yacimientos de flúor (triásicos) y plomo/zinc (cretácicos), estos últimos muy comunes en los Picos de Europa (Figura 1).

Fallas inversas y pliegues alpinos: Las fallas compresivas alpinas están directamente relacionadas con el levantamiento de la Cordillera Cantábrica que es la prolongación occidental de los Pirineos (Martín González y Heredia, 2011). La práctica totalidad de estas fallas en la zona estudiada constituye un sistema imbricado de cabalgamientos con trazado E-O y transporte tectónico hacia el Sur. Al Oeste del río Deva este conjunto está formado por fallas con direcciones entre E-O y NE-SO que definen una banda fracturada de más de 3 km de ancho, entre Sotres y Tresviso. Las fallas compresivas alpinas son subverticales o buzando al Norte unos 75° en la parte septentrional y 55-70° en la meridional. Al Norte de este sistema de fallas los cabalgamientos variscos de dirección E-O están invertidos buzando al Sur, mientras que al Sur tienen un trazado NE-SO y se inclinan al NO entre 75-85°, lo que ha condicionado la reactivación de los cabalgamientos

variscos durante la compresión Alpina. Durante la compresión alpina las cuencas pérmicas se deformaron poco y las fallas normales que las limitan solamente sufrieron una leve inversión tectónica. Sin embargo, donde las cuencas mesozoicas están mejor desarrolladas, como al este de La Hermida, estas se encuentran deformadas por pliegues de gran radio (Figura 1).

Conclusiones

En la región geológica de Picos de Europa-Cuera la cobertera permo-mesozoica está prácticamente ausente por erosión y/o no depósito, de modo que las deformaciones alpinas afectan principalmente al basamento Paleozoico, deformado previamente por la Orogenia Varisca.

En esta región se constata la presencia de cuatro conjuntos de fallas diferentes desde el punto de vista de su génesis y edad, a los cuales se asocian un conjunto de características que los definen desde el punto de vista descriptivo: Cabalgamientos Variscos (Carbonífero superior), fallas de desgarre Tardi-Variscas (Carbonífero superior-Pérmico inferior), Fallas Normales Permo-Mesozoicas (Pérmico inferior-Triásico medio a Cretácico) y Fallas Inversas Cenozoicas (Eoceno superior-Mioceno superior).

Para permitir una identificación óptima de la estructura y la correcta asignación de las fallas a un grupo genético concreto, se ha realizado una caracterización basada en datos combinados sobre (a) geometría, cinemática y rocas relacionadas con fallas (b) relaciones transversales y tectónico-estratigráficas, (c) mineralizaciones relacionadas con fallas y (d) control del relieve.

Es trabajo pone de manifiesto la compleja evolución de las estructuras, el control de las mismas en la sedimentación de las series permo-mesozoicas, la profusión de reactivaciones en diferentes momentos posteriores a su génesis original y su relación con diferentes mineralizaciones asociadas con los distintos eventos extensionales permo-mesozoicos.

Bibliografía

Heredia, N., Martín-González, F., Farias, P., García-Sansegundo, J., Pedreira, D., Gonzalo-Guerra, B., García-Davia, G., Mateos-Herrero, G., A.G. Flórez. (2022). *Geology of the Cabuérniga fault system: evolution of a large Alpine structure with Variscan inheritance*. Journal of Maps

Merino-Tomé, Ó.A., Bahamonde, J.R., Colmenero, J.R., Heredia, N., Villa, E., Farias, P. (2009). *Emplacement of the Cuera and Picos de Europa imbricate system at the core of the Iberian-Armorian arc (Cantabrian zone, north Spain): New precisions concerning the timing of arc closure*. Geological Society of America Bulletin

Arthaud, F., Matte, P. (1977). *Late Paleozoic strike-slip faulting in Southern Europe and Northern Africa - result of a right-lateral shear zone between Appalachians and Urals*. Geological Society of America Bulletin

López-Gómez, J., De la Horra, R., Barrenechea, J.F., Borrueal-Abadía, V., Martín-Chivelet, J., Juncal, M., Martín-González, F., Heredia, N., Biez, J.B., Buatois, L. (2021). *Early Permian during the Variscan orogenic collapse in the equatorial realm: insights from the Cantabrian Mountains (N Iberia) into climatic and environmental changes*. International Journal of Earth Sciences

Martín-González, F., Heredia, N. (2011). *Geometry, structures and evolution of the western termination of the Alpine-Pyrenean Orogen reliefs (NW Iberian Peninsula)*. Journal of Iberian Geology

LA DEFORMACIÓN ALPINA EN LOS PICOS DE EUROPA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS Y LOS CEMENTOS DE CALCITA ASOCIADOS

A. G. Flórez-Rodríguez, J. García-Sanseguno, A. Martín-Izard, D. Pedreira

Filiación: Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo

Contacto ponente: florezadriana@uniovi.es

Introducción

La escasez de cubierta vegetal en las zonas de mayor altitud de los macizos de Ándara, Los Urrieles y El Cornión, permite contemplar extensas superficies de roca, algo poco común en otras zonas de la Cordillera Cantábrica, donde la relación entre las diversas unidades geológicas debe deducirse a partir de afloramientos discontinuos. Sin embargo, los Picos de Europa plantea otras dificultades, como la similitud de las unidades de calizas carboníferas, que son sus principales componentes. Dada esta circunstancia, la cartografía geológica de esta zona se vio favorecida en gran medida por estudios de bioestratigrafía, basados en la identificación de organismos fósiles de edades conocidas, y en el reconocimiento de depósitos detríticos contemporáneos a la deformación varisca, como las formaciones Lebeña y Áliva (Merino-Tomé et al., 2009; Villa et al., 2015). La cartografía de esa zona experimentó notables avances en las últimas décadas, llegando a caracterizarse con detalle la estructura principal de esta región, adquirida durante la orogenia Varisca y constituida por una secuencia de cabalgamientos imbricados. Esta estructura fue retocada por varios episodios de deformación posteriores, de los cuales existen varios vestigios en los tres macizos. Actualmente, se están planteando estrategias que permitan reconocer esos rasgos de deformación posteriores.

Objetivos

Se ha planteado la posibilidad de identificar estructuras de diferentes eventos de deformación basándose en el análisis estructural detallado de algunas zonas de falla y la caracterización de las mineralizaciones asociadas. Para aplicar esta estrategia es necesario que existan diferencias entre los minerales asociados a las sucesivas etapas de deformación, como pueden ser diferencias en su composición isotópica o en su temperatura de formación.

Los minerales asociados a fracturas pueden ser contemporáneos con las deformaciones o posteriores. Es frecuente que los minerales que cementan una zona de falla sean contemporáneos a ella, por dos motivos. Por un lado, el desplazamiento de las fallas propicia la migración de fluidos en el subsuelo. Por otro lado, la apertura de fracturas genera espacios abiertos sometidos a menor presión que la roca circundante, siendo frecuente que los fluidos migren hacia esos espacios y den lugar a la precipitación de fases minerales. Si la precipitación es simultánea al desplazamiento de las fallas, la distribución de los minerales y la textura de los cementos pueden registrar la dirección del desplazamiento acomodado por dichas fallas, lo cual permite establecer una relación directa entre los minerales de una generación y un evento de deformación.

Además de identificar las estructuras y los minerales de distintas generaciones, resulta de interés establecer su edad relativa. Con este fin, se evalúan sus relaciones de corte. Una vez se conoce la edad relativa de las estructuras y los cementos minerales, es posible vincularlos con eventos de deformación concretos conocidos, puesto que la cinemática deducida para las fallas, es decir, su sentido de desplazamiento, será coherente con determinados contextos tectónicos, pero no con otros. En el caso de los minerales, los criterios que pueden emplearse para descartar determinados contextos geodinámicos son su temperatura de formación y la composición de sus inclusiones fluidas, la cual refleja la naturaleza de los fluidos mineralizadores. La temperatura de formación de los minerales representa un valor comprendido entre la temperatura original de los fluidos mineralizadores y la temperatura de enterramiento, es decir, la temperatura ambiente determinada por la profundidad de enterramiento de las rocas y el gradiente geotérmico imperante.

Este estudio se ha centrado en las fallas de San Carlos y Liordes, de dirección NO-SE a ONO-ESE y longitud cartográfica kilométrica. En concreto, se han seleccionado dos sectores en los que las fallas se asocian espacialmente con yacimientos de sulfuros metálicos (galena y esfalerita variedad blenda acaramelada). Así, el estudio de la falla de San Carlos se ha concentrado en el sector de la falla que atraviesa la zona alta del macizo de Ándara, concretamente entre la canal de San Carlos, que limita el sector por el Este, y el collado adyacente al pico Boru, que lo limita por el Oeste. La falla de Liordes se ha estudiado en el macizo de Los Urrieles, entre los Tornos de Liordes y la canal de Asotín.

Materiales y métodos

La caracterización estructural se ha llevado a cabo principalmente mediante trabajo de campo, que ha permitido reconocer la arquitectura de las zonas de falla y medir la orientación de las estructuras. Caracterizar las estructuras a escala microscópica ha requerido la toma de muestras para la elaboración de láminas delgadas. El estudio de las mineralizaciones también ha conllevado la toma de muestras, destinadas tanto a la aplicación de técnicas de microscopía como a diversos análisis geoquímicos. Se ha medido en la calcita un parámetro conocido como $\Delta 47$ que representa el agrupamiento de isótopos pesados de oxígeno y carbono en las mismas moléculas. Este análisis, llevado a cabo en la Universidad de Utrecht (Países Bajos), permite aplicar una técnica de termometría conocida como “clumped isotope thermometry”.

Resultados

El trazado de la Falla de San Carlos representado en los mapas geológicos de Marquín (1989) y Merino-Tomé et al. (2014) tiende a coincidir con afloramientos de dolomía secundaria reconocibles en fotografías aéreas y en el campo. Este trazado se corresponde con la zona de falla principal del sistema de fallas de San Carlos. La zona de falla tiene una longitud kilométrica y muestra un rumbo variable, predominantemente ONO-ESE, pero incluyendo segmentos de rumbo NO-SE. En la proximidad del Pozo de Ándara, unos 110 m al sudoeste de la zona de falla principal (ZF-SC) del sistema de fallas de San Carlos y formando parte de dicho sistema, hemos reconocido una zona de falla menor, a la que hemos denominado “zona de falla del Lago de Ándara” (ZF-LA). La ZF-LA presenta una lon-

gitud hectométrica y un rumbo paralelo al de la zona de falla principal (ZF-SC). Las relaciones de corte de la ZF-SC y la ZF-LA no son visibles, puesto que la zona en la que convergen está intensamente dolomitizada y no es reconocible. Por tanto, se desconoce si estas zonas de falla se unen en profundidad o una de ellas corta y desplaza a la otra. Los motivos por los que se considera que ambas zonas de falla pertenecen al mismo sistema son su orientación similar, su proximidad y la menor escala de la ZF-LA.

En el caso de la ZF-SC, la superficie concreta de la falla principal no aflora, aunque se observan superficies de falla subparalelas a ella, desarrolladas en la zona fracturada del bloque superior, con una orientación paralela a la de la falla principal. La parte del bloque inferior adyacente a la falla principal no aflora, por lo que no es posible determinar si el bloque inferior contiene una zona de fractura equivalente a la desarrollada en el bloque superior o si, alternativamente, la ZF-SC es asimétrica y el bloque inferior no presenta una zona de fracturación bien definida. Se han reconocido varias localizaciones de especial interés para la caracterización de las estructuras y cementos asociados a las ZF-LA y ZF-SC. En el caso de la ZF-SC, destaca por su calidad de preservación el tramo que atraviesa las vegas de Ándara. En cuanto a la ZF-LA, el lugar idóneo para observar las estructuras es una zona muy próxima al Cueto de la Cueva. La ZF-LA separa las calizas oscuras y laminadas de la Formación Barcaliente, presente en su bloque inferior, de las calizas claras y masivas de la Formación Picos de Europa, en su bloque superior. Si bien la Formación Picos de Europa es más joven que la Formación Barcaliente, debe tenerse en cuenta que la secuencia pretectónica varisca se encuentra repetida por cabalgamientos variscos. Así, la Formación Picos de Europa se encuentra presente en niveles suprayacentes a la Formación Barcaliente, pero también en sectores estructuralmente inferiores. La cartografía geológica del sector estudiado no permite determinar si las calizas de la Formación Picos de Europa observadas en el bloque superior de la ZF-LA proceden de un sector suprayacente a las calizas de la Formación Barcaliente del bloque inferior, como el representado más al oeste en el mapa geológico, o de una lámina cabalgante varisca infrayacente. Sin embargo, un análisis estructural detallado de la zona de falla ha permitido determinar un desplazamiento normal. Las estructuras desarrolladas en la zona fracturada son superficies de falla paralelas a la principal, fallas de tipo "Riedel" sintéticas oblicuas a las anteriores, y superficies de disolución por presión. Ambos tipos de fallas presentan asociadas fibras de calcita que se han sometido al estudio de termometría, obteniéndose una temperatura de precipitación de 222-223°C (199-250°C con el margen de error analítico).

La ZF-SC presenta estructuras menores asociadas similares a las de la ZF-LA, aunque con una orientación diferente. En este caso, el desplazamiento registrado por las estructuras y las fibras de calcita asociadas es oblicuo dextro con una componente menor inversa. La temperatura obtenida para las fibras de calcita también es muy diferente, de 51°C (45-57°C con el margen de error). Las estructuras y cementos asociados al desplazamiento descrito cortan cementos de calcita previos de mayor temperatura, con valores de 230-253°C (157-359°C) comparables a los asociados al desplazamiento normal de la ZF-LA. Localmente, la calcita de alta temperatura forma parte de una asociación mineral más amplia, en la que se incluyen la galena y la esfalerita variedad blenda acaramelada.

Otras muestras de calcita y datos estructurales tomados en las localizaciones descritas y en otras del mismo sector confirman la existencia de dos grandes grupos de temperatura. Los precipitados de calcita de menor temperatura se relacionan con desplazamiento dextro a dextro inverso en la ZF-SC. Los cementos de mayor temperatura se han identificado tanto en relación a la ZF-LA como a la ZF-SC, si bien solamente la ZF-LA preserva estructuras indicativas de un desplazamiento de falla normal.

Discusión y conclusiones

Dada la relación espacial de la ZF-SC con la calcita de alta temperatura, es probable que esta zona de falla estuviera activa en la etapa en la que se produjeron las mineralizaciones.

Alternativamente, la ZF-SC pudo constituir una estructura preexistente que actuó como una discontinuidad permeable, permitiendo la circulación de fluidos mineralizadores. En caso de que la ZF-SC estuviera activa en la misma etapa que la adyacente ZF-LA, probablemente presentó una cinemática equivalente, puesto que su orientación es comparable. Esta inferencia se apoya en la relación teórica existente entre la dirección de desplazamiento de una falla con una orientación determinada y el estado de esfuerzos: la dirección de deslizamiento es la dirección de máximo esfuerzo de cizalla resuelto en la superficie de falla que, en condiciones ideales, está determinado por la orientación del campo de esfuerzos regional (Angelier, 1984).

Las relaciones de corte entre cementos de alta y baja temperatura observados en la ZF-SC sugieren que el desplazamiento dextro a dextro inverso de la ZF-SC es posterior a la etapa en la que la ZF-LA, y posiblemente también la ZF-SC, acomodaron un desplazamiento normal y en la que se produjo la precipitación de calcita de alta temperatura. Mientras que la ZF-SC se reactivó acomodando un desplazamiento dextro ligeramente inverso, la ZF-LA se mantuvo inactiva, preservando intactas las estructuras que registran su desplazamiento normal. Considerando el contexto geológico de los Picos de Europa, el desplazamiento normal de las fallas del sistema de San Carlos puede adscribirse a alguno de los varios eventos de extensión descritos para el Pérmico y el Mesozoico. Se está determinando la edad exacta a partir del estudio de isótopos de plomo en la galena de los Picos de Europa, cuyos resultados serán publicados próximamente. El desplazamiento dextro a dextro inverso de la ZF-SC se vincula, por tanto, a la orogenia Alpina.

Conocer la relación existente entre las etapas de deformación y las diferentes generaciones de minerales para el sistema de fallas de San Carlos proporciona una vía de estudio valiosa para otras fallas cuando el grado de preservación de las estructuras es pobre pero se observan adecuadamente los minerales asociados. Este es el caso, por ejemplo, de la zona de falla de Liordes. El desplazamiento dextro ligeramente inverso acomodado por la zona de falla de San Carlos durante la orogenia Alpina es equiparable al desplazamiento inverso dextro registrado de manera puntual en la zona de falla de Liordes. En ambos casos, los cementos de calcita asociados presentan una temperatura relativamente baja. Las similitudes en la cinemática de las dos zonas de falla y en la temperatura de precipitación de los cementos respaldan una actividad similar para las dos fallas en el Cenozoico (orogenia Alpina). Al igual que las fallas del sistema de San Carlos, también la zona

de falla de Liordes preserva cementos de calcita de alta temperatura, sugiriendo que la falla de Liordes estuvo activa durante la etapa extensional previa Pérmica o Mesozoica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo económico de los proyectos de investigación MCI- 21-PID2020-118228RB-C21, concedido por el Ministerio de Economía y Competitividad, y SV- PA-21-AYUD/2021/51293, del Gobierno del Principado de Asturias, así como la ayuda BP19-148 del Programa de Ayudas “Severo Ochoa” para la formación en investigación y docencia, financiada por el Gobierno del Principado de Asturias. Agradecemos la labor de todas aquellas personas encargadas de gestionar el PNPE, por facilitar la investigación científica.

Referencias bibliográficas

Angelier, J. (1984). Tectonic analysis of fault slip data sets. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89 (B7), 5835-5848.


Marquínez, J. L. (1989). Síntesis cartográfica de la Región del Cuera y los Picos de Europa. *Trabajos de Geología*, 18, 137-144.

Merino-Tomé, O., Bahamonde, J. R., Samankassou, E. y Villa, E. (2009). The influence of terrestrial run off on marine biotic communities: an example from a thrust-top carbonate ramp (Upper Pennsylvanian foreland basin, Picos de Europa, NW Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 278 (1-4), 1-23.

Merino-Tomé, O. A., Suárez-Rodríguez, A. y Alonso, J. L. (2014). Mapa Geológico Digital Continuo E. 1: 50.000, Zona Cantábrica (Zona-1000). En: J. Navas (Ed.), GEODE. *Mapa Geológico Digital continuo de España*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Villa, E., Merino-Tomé, O. y Bahamonde, J. R. (2015). Late Moscovian to early Kasimovian fusulines from the Ándara massif, Picos de Europa (Pennsylvanian, Cantabrian Zona, northern Spain). *Journal of Foraminiferal Research*, 45 (3), 264-292.





DINÁMICAS ESPACIO-TEMPORALES DEL METABOLISMO FLUVIAL EN LOS RÍOS DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA.

Zarauza Martínez, R.¹, Peñas Silva, F.¹, Angulo Rodeles, A.¹, Álvarez Cabria, M.¹ & Barquín Ortiz, J.¹

¹IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

1. RESUMEN:

El metabolismo fluvial contempla la totalidad de los flujos de fijación (producción primaria, PP) y mineralización (respiración ecosistémica, RE) del carbono del ecosistema fluvial e integra la respuesta a una amplia gama de factores naturales y humanos. Los objetivos de este trabajo son 1) analizar las dinámicas espacio-temporales del metabolismo fluvial en ríos del entorno de los Picos de Europa durante la última década y 2) mejorar nuestra comprensión sobre cuáles son los factores ambientales que gobiernan esa variabilidad. Para alcanzar estos objetivos, se estimó el metabolismo en 13 tramos de ríos desde 2013 a 2022 durante la época estival. Así mismo, se analizaron cuáles fueron los factores ambientales, que desempeñaron un rol determinante en esas dinámicas. Los resultados muestran un incremento significativo de la RE durante los últimos años, es decir, los ecosistemas están tendiendo hacia una mayor heterotrofia, y una mayor emisión de gases de efecto invernadero. Además, se muestra que la PP y la RE están principalmente condicionadas por el caudal, la temperatura del agua y la radiación solar. Estos resultados son de especial relevancia ya que pocos estudios tienen en cuenta este efecto de retroalimentación positiva de los ríos de montaña sobre el calentamiento global. Así mismo, se evidencia la importancia de realizar seguimientos a largo plazo, de múltiples indicadores ecológicos que permitirán conocer la evolución de espacios con un alto interés científico y de conservación, como los Picos de Europa.

SUMMARY:

River metabolism includes the totality of fluxes of carbon fixation (primary production, PP) and mineralisation (ecosystem respiration, ER) by the biomass of the river ecosystem and integrates the response to a wide range of natural and human factors. The objectives of this work are 1) analyse the spatio-temporal dynamics of river metabolism in rivers around Picos de Europa during the last decade and 2) improve our understanding of which environmental factors govern this variability. To achieve these objectives, metabolism was estimated in 13 river reaches from 2013 to 2022 during the summer season. The environmental factors that played a determining role in these dynamics were also analysed. The results show a significant increase in ER during the last few years, i.e. ecosystems are tending towards greater heterotrophy, and higher greenhouse gas emissions. Furthermore, it is shown that PP and ER are mainly conditioned by flow, water temperature and solar radiation. These results are of particular relevance as few studies consider this positive feedback effect of mountain rivers on global warming. This shows the importance of long-term monitoring of multiple ecological

indicators that will allow us to understand the evolution of areas of great scientific and conservation interest, such as Picos de Europa National Park.

Palabras clave:

Metabolismo fluvial, Respiración ecosistémica, Cambio climático, Carbono, Cordillera Cantábrica.

Keywords:

Fluvial metabolism, Ecosystem respiration, Climate change, Carbon, Cordillera Cantábrica.

2. OBJETIVOS:

Los objetivos principales de este estudio son:

Estimar la variación espacio-temporal y tendencias del metabolismo fluvial en los ríos del entorno de Picos de Europa.

Mejorar nuestro conocimiento sobre los factores clave que determinan la variabilidad espacio-temporal del metabolismo fluvial en estos ríos.

3. MATERIAL Y MÉTODOS:

3.1. Área de estudio y diseño de muestreo:

Para este estudio se han seleccionado 13 tramos fluviales en las cuencas del Deva-Cares y Sella, algunos de los cuales se encuentran en una condición prácticamente prístina, mientras que otros están potencialmente impactados. Así, los tramos afectados por vertidos orgánicos se localizan en el río Duje a su paso por Tielve, el río Cares en Valdeón y el río Bulnes, mientras que los tramos afectados por escorrentía se localizan en el río Duje y el río Arenal. Los tramos sin grandes afecciones se encuentran en el río Ponga, Casaño, Salvorón, Seco y Sella. Además, se han incluido tramos fluviales alimentados por manantiales, algunos de ellos afectados por vertidos orgánicos y por la pérdida de bosque de ribera, como son el manantial del Deva, y un manantial afluente al Ponga, y otro sin grandes afecciones, el manantial de Farfada.

3.2. Estimación de metabolismo:

Se ha estimado el metabolismo fluvial mediante la metodología de una estación de caudal abierto, tomando mediciones de diferentes variables durante la época de estiaje, desde el año 2013 hasta el 2022. Concretamente, para la estimación del metabolismo se han tomado medidas de 1) luz fotosintéticamente activa mediante el dispositivo HOBO (Pendant Temperature/Light Data Loggers; UA-002-64, Onset), 2) presión barométrica mediante HOBO (Water level logger range 0 to 30.6m, Onset) y 3) concentración de oxígeno disuelto en el agua y temperatura a través de MiniDOT loggers. Finalmente, se tomaron medidas de caudal en cada muestreo mediante el equipo de aforado acústico Doppler (SonTek, flowtracker 2). A partir de esos datos, el metabolismo fluvial se calculó mediante un modelo bayesiano inverso implementado en el paquete StreamMetabolizer versión 0.12.0 (Appling, A. et al, 2018), del software - R versión 4.2.2 (RStudio Team, 2022), basándose en el siguiente modelo:

$$\frac{dO_{i,d}}{dt} = \left(\frac{GPP_d}{\bar{z}_{i,d}} \times \frac{PPFD_{i,d}}{PPFD_d} \right) + \left(\frac{ER_d}{\bar{z}_{i,d}} \right) + f_{i,d}(K600_d)(O_{sat,i,d} - O_{i,d})$$

Siendo $dO_{i,d}/dt$ el cambio diario de concentración de oxígeno disuelto en el agua, GPPd el ratio de producción de oxígeno fotosintético, ERd el ratio de consumo de oxígeno y K600d el coeficiente de intercambio de gases. Los inputs del modelo fueron Z (profundidad, m), PPFd (densidad de flujo de fotones fotosintéticos, $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) y Osat (saturación teórica de oxígeno si el agua y el aire estuvieran en equilibrio) (Ruegg, J. et al, 2021) (Bernhardt, E. et al, 2018).

3.3. Análisis de la dinámica temporal del metabolismo fluvial:

Para conocer la variación temporal, se han analizado las tendencias de la serie de PP y RE a lo largo de la década estudiada. Para ello se realizó un análisis de tendencias Mann-Kendall y una regresión lineal con las medias anuales de PP, RE, caudal y temperatura del agua, de todos los puntos de muestreo.

3.4. Contribución de los factores clave en el metabolismo fluvial:

Finalmente, para conocer la contribución de los factores ambientales clave en el metabolismo se generó un modelo Random Forest con PP y RE diarios como variables respuesta y el caudal, temperatura del agua y luz diarios como variables predictoras. Así mismo, se incluyeron otras variables estáticas al modelo para mejorar su capacidad de predicción, incluyendo la sombra, el porcentaje de cobertura vegetal en la cuenca topográfica y en un buffer de 200 m a ambos lados de la orilla, la elevación del tramo fluvial y el área de la cuenca vertiente al tramo fluvial.

4. RESULTADOS:

4.1. Análisis de la dinámica temporal del metabolismo fluvial:

Un análisis visual de tendencias muestra una tendencia positiva de la PP en 5 ríos y negativa en 8 (Figura 1). Sin embargo, el análisis Mann-Kendall revela que sólo son significativas las tendencias negativas en los tramos del río Cares y el Seco ($p < 0,05$).

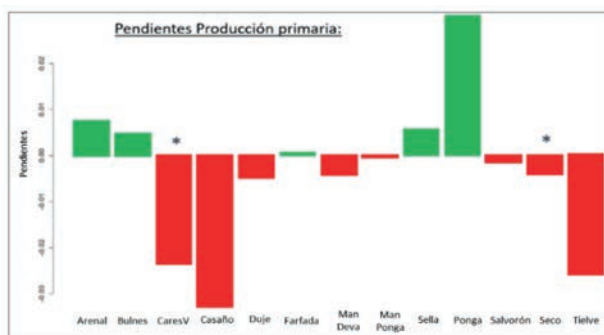


Figura 1: Pendientes de la recta de regresión (coeficiente a en los modelos lineales $y = ax + b$) de la variación temporal de la PP en cada río.

Además, los resultados de la regresión lineal con las medias anuales de PP de todos los puntos de muestreo, para ver la significación de la variación de la PP en el tiempo, no han sido significativos ($PP = b_0 + b_1 \cdot \text{temp. agua} + b_2 \cdot \text{caudal}$) ($R^2 = 0,682$, $p > 0,05$).

Por otro lado, se ha observado que la RE sigue una tendencia creciente muy marcada en todos los ríos estudiados excepto en el río Seco (Figura 2). El análisis de tendencias de tipo Mann-Kendall ha sido significativo ($p < 0,05$) en 5 de los ríos estudiados.

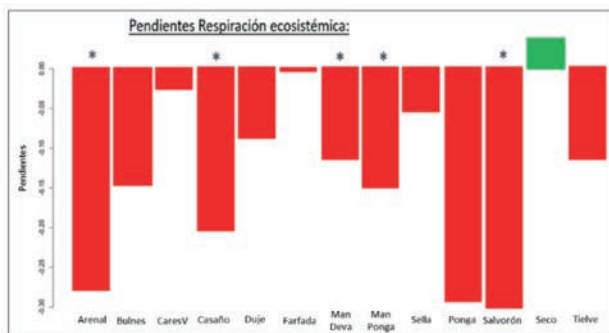


Figura 2: Pendientes de la recta (coeficiente a en los modelos lineales $y = ax + b$) de la variación de la RE por sitio.

Además, la regresión lineal con las medias anuales de RE con todos los puntos de muestreo, indica una relación decreciente y significativa ($RE = b_0 + b_1 \cdot \text{temp. agua} + b_2 \cdot \text{caudal} + b_3 \cdot \text{PP}$) ($R^2 = 0,469$, $p < 0,05$).

4.2. Contribución de los factores clave en el metabolismo fluvial:

El modelo Random Forest desarrollado explicó el 75,51% de la variabilidad de los datos, con un error cuadrático medio de 0,084 para la PP. Los resultados de este modelo indican que, por orden de importancia, el caudal, la elevación, la sombra y la temperatura del agua son los factores que más contribuyen a la variación de la PP en los ríos estudiados (Figura 3).

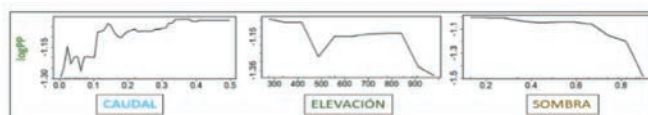


Figura 3: Variación del logaritmo de PP ($\text{gO}_2/\text{m}^2\text{d}$) en función de los factores más influyentes.

Por otro lado, en el caso de la RE, el modelo Random Forest ha explicado un 69,37% de la variabilidad de los datos, siendo el error cuadrático medio de 0,072 y las variables más influyentes, el caudal, la temperatura del agua y la PP (Figura 4).

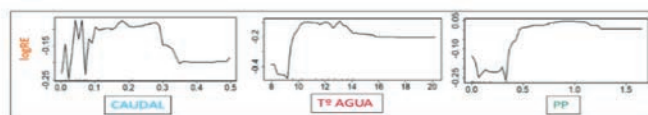


Figura 4: Variación del logaritmo de RE ($\text{gO}_2/\text{m}^2\text{d}$) en función de los factores más influyentes.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:

5.1. Análisis de la dinámica temporal:

Los resultados mostraron tendencias variables de la PP en función de los distintos ríos estudiados. Esto puede deberse a la heterogeneidad ambiental de los puntos, que puede ocasionar diferentes abundancias de comunidades autótrofas y heterótrofas.

Respecto a la RE, nuestros resultados demuestran tendencias positivas y significativas de aumento en la última década, incluso en los tramos de manantial, como el Ponga y el Deva. Estas surgencias son, por norma general, sistemas muy estables en cuanto a los cambios en los niveles de caudal y temperatura, por lo que este resultado podría estar mostrando un aumento de la temperatura media del acuífero, evidenciando la problemática a la que nos enfrentamos con el cambio climático. Los cambios en los regímenes térmicos del agua de los ríos pueden afectar a los organismos y las funciones que desempeñan en estos sistemas, tanto por la aceleración de algunas tasas enzimáticas, favoreciendo la descomposición de carbono, como por la estimulación del crecimiento de plantas, y, por ende, de su respiración (Battin, T. et al, 2023). Esto produce que los ríos de Picos de Europa se estén convirtiendo en sistemas más heterótrofos, metabolizando más carbono, lo que puede suponer un aumento importante en las emisiones de gases de efecto invernadero (Bernhardt, E. et al, 2018) (Song, C. et al, 2018).

Pocos estudios documentan este efecto de retroalimentación positiva del cambio climático de los ríos de montaña, por lo que se insta a seguir investigando las contribuciones e impactos globales que puede tener el aumento de la respiración de los muchos kilómetros de cabecera de estos ríos en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Además, estos resultados demuestran la importancia que tiene el seguimiento de los ecosistemas fluviales a largo plazo, pues permite evaluar las variaciones en las fuentes y sumideros de carbono, y la resistencia y resiliencia de la PP y la RE a los cambios (Peñas, F. et al, 2015).

5.2. Contribución de los factores clave en el metabolismo fluvial:

Los resultados del modelo desarrollado para la PP demostraron que esta variable se ve notablemente influenciada por el caudal circulante. Se observó un incremento de la PP al aumentar el caudal, lo que puede llevar a una disminución de la fijación de carbono durante los periodos de sequía, cada vez más frecuentes. Además, la elevación también desempeña un papel significativo, disminuyendo la PP según nos acercamos a tramos de cabecera. Esto podría deberse a que la elevación es una variable que covaría con otros factores ambientales, como son la temperatura, la cobertura vegetal o el área de la cuenca, produciéndose una reducción de estas variables al incrementarse la elevación y, por ende, una reducción de la PP. Además, el incremento de la sombra también contribuye a la reducción de la PP, ya que, al aumentar la cobertura de bosque de ribera, los organismos fotosintéticos reciben menos luz solar, lo que conlleva una reducción de la fotosíntesis. Por último, el aumento de la temperatura del agua contribuye al incremento de la PP, ya que esta regula directamente la actividad enzimática, y suele covariar con la radiación solar.

En el caso de la RE, esta también se ve influenciada por el caudal. Valores medios de caudal durante la época estival producen un aumento de RE, mientras que, a valores más altos, disminuye. Esto podría deberse al arrastre que generan los altos

caudales, produciendo un barrido de biomasa y materia orgánica, fuente de alimentación de organismos heterótrofos. El aumento de la temperatura del agua también aumenta la RE, dado que al elevarse la temperatura aumenta la actividad enzimática y el metabolismo. Finalmente, la RE crece paralelamente a la PP, lo que puede estar relacionado con una mayor biomasa y/o actividad de los productores primarios, que consumen oxígeno en ausencia de luz.

Por todo ello, los escenarios de cambio climático a los que nos enfrentamos pueden ser muy relevantes en las dinámicas funcionales de los ecosistemas fluviales de montaña. En este sentido, atendiendo estos escenarios, se prevé un aumento de las temperaturas, de la intensidad de las sequías y de las lluvias torrenciales. Esto puede generar cambios en los factores determinantes del metabolismo fluvial, y, por tanto, provocar variaciones en las dinámicas de PP y RE, generando profundas alteraciones en los flujos naturales de carbono entre el río y la atmósfera (Song, C. et al, 2018). La comprensión de los factores que controlan la variabilidad de las tasas metabólicas permitirá mejorar los planes de conservación de estos espacios con alto interés científico y para la conservación como son los Picos de Europa (Peñas, F. et al, 2015).

6. BIBLIOGRAFÍA:

Appling, A., Hall, R., Yackulic, C. et al. (2018). Overcoming Equifinality: Leveraging Long Time Series for Stream Metabolism Estimation. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 123(2): 624–45. <https://doi.org/10.1002/2017JG004140>.

RStudio Team (2022). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

Rüegg, J., Conn, C., Anderson, E. et al. (2021). Thinking like a consumer: Linking aquatic basal metabolism and consumer dynamics. *Limnology and Oceanography Letters*. 6(1): 1-17. doi:6. 10.1002/lol2.10172.

Bernhardt, E., Heffernan, J., Grimm, N. et al. (2018). The metabolic regimes of flowing waters. *Limnol Oceanogr*. 63(S1): S99–S118. <https://doi.org/10.1002/lno.10726>.

Battin, T., Lauerwald, R., Bernhardt, E. et al. (2023). River ecosystem metabolism and carbon biogeochemistry in a changing world. *Nature*. 613(7944): 449-459. doi: 10.1038/s41586-022-05500-8.

Song, C., Dodds, W., Rüegg, J. et al. (2018). Continental-scale decrease in net primary productivity in streams due to climate warming. *Nature Geoscienc*. 11(6): 415–420. doi:10.1038/s41561-018-0125-5.

Peñas, F., Barquín, J., Álvarez-Cabria, M. (2015). Optimización de las redes de seguimiento del estado de conservación en ríos de alta montaña. *Proyectos de Investigación en Parques Nacionales*. 35-61.

Email: raquel.zarauza@unican.es

ESCENARIOS HIDROLÓGICOS Y TÉRMICOS EN LOS RÍOS DE PICOS DE EUROPA.

Francisco J. Peñas¹, Ivan Rivero¹, Alexia M. Gonzalez-Ferreras¹,
Laura Concostrina-Zubiri¹, Eduardo García¹, José Barquín¹

¹IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

RESUMEN

Los regímenes de caudal y temperatura del agua son fundamentales en los ríos de montaña, determinando múltiples patrones físico-químicos y biológicos e influyendo en todos los procesos biogeoquímicos. Por tanto, disponer de series de caudal y temperatura de alta resolución es esencial para entender los cambios a largo plazo que tienen lugar en estos ecosistemas. En este trabajo se presentan los resultados de dos modelos calibrados para la estimación de ambas variables en la red fluvial de los ríos Sella y Deva-Cares. Estos modelos se basaron en diferentes características de la cuenca, sus valles y riberas, incluyendo variables climáticas, topográficas, vegetación y usos del suelo, generando series diarias de caudal y temperatura para tramos fluviales de menos de 2 km de longitud. Para el caudal se adaptó un modelo espacialmente distribuido (SPHY) que considera los cambios en el almacenamiento y los flujos en la cuenca. En el caso de la temperatura se optó por un modelo de aprendizaje automático (Redes Neuronales). Las series modeladas mostraron un grado de ajuste elevado en ambos casos (modelo hidrológico NSE >0.7; modelo temperatura R²>0.9). La obtención de estas series ha permitido evaluar la tendencia de diferentes índices hidrológicos a largo plazo. Además, estos modelos permiten analizar el efecto de diferentes escenarios climáticos y de gestión del territorio, como base para analizar las implicaciones potenciales que estos cambios puedan tener en los ríos de Picos de Europa.

PALABRAS CLAVE:

hidrología; temperatura del agua; río; seguimiento; cambio climático,

ABSTRACT

Hydrological and thermal scenarios in rivers of the Picos de Europa National Park. Flow and water temperature regimes are essential in mountain rivers, determining multiple physico-chemical, and biological patterns and influencing all biogeochemical processes. Therefore, providing high-resolution flow and temperature time series represents a critical issue to understand the long-term changes occurring in these ecosystems. This study presents the results of two models for estimating both variables, calibrated for the river network of Picos de Europa National Park. These models were based on the structure and configuration of the catchment, including land uses, and a set of climatic variables, generating daily flow and temperature series for river segments of <2 km in length. For the flow, a spatially distributed model (SPHY) that considers changes in storage and flows in the basin was adapted for the study area. In the case of temperature, a machine learning model (Neural Networks) was chosen. The modelled series showed a high degree of fit in both cases (hydrological model NSE >0.7; temperature model R²>0.9). Obtaining these series has also allowed assessing the long-term trends of different

hydrological indices. Furthermore, the models will enable the analysis of the effect of different climate and land management scenarios, serving as a basis for analysing the potential implications these may have on the river ecosystems of Picos de Europa National Park.

KEYWORDS:

hydrology; water temperature; river; monitoring; climate change.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El caudal y la temperatura del agua son dos factores críticos de los ecosistemas fluviales de montaña, controlando múltiples patrones físicos, químicos y biológicos e influyendo en todos los procesos biogeoquímicos (Bunn y Arthington, 2002; Leach et al., 2023). Por tanto, a la hora de entender los patrones espacio-temporales y las tendencias a largo plazo de las comunidades y funciones biológicas que ocurren en estos ecosistemas es imprescindible disponer de series de caudal y temperatura del agua que cuenten con resolución espacial y temporal adecuadas. Sin embargo, habitualmente no se dispone de esta información a escala de red, en un determinado periodo de interés y para para todos los tramos objetivo. Por tanto, es necesario desarrollar herramientas de modelado que permitan generar la información de interés de manera sintética, pero con alta fiabilidad. El desarrollo de estas herramientas nos permite simular no solo la situación pasada y presente, sino generar series de caudal y temperatura ante diferentes escenarios climáticos y, a partir de estas, predecir el efecto sobre el ecosistema fluvial, su biodiversidad y la evolución de los servicios que estos proveen.

Por tanto, el objetivo de este trabajo es el desarrollo de series de caudal y temperatura del agua diarias con una alta resolución espacial para la red fluvial completa de los ríos Sella y Deva-Cares. Así mismo, en el caso de la hidrología, se pretende analizar las tendencias de cambio a largo plazo bajo un escenario de cambio climático.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Desarrollo de un modelo hidrológico

En este estudio se desarrolló un modelo espacialmente distribuido, el cual disgrega el ámbito de estudio en una malla regular, lo que mejora la representación de la variabilidad espacial de los procesos hidrológicos y permite obtener resultados en cualquier punto de la red fluvial. El modelo distribuido aplicado para las cuencas del Sella y Deva-Cares ha sido el modelo SPHY (Terink et al., 2015). De acuerdo a los datos disponibles sobre las características de las cuencas Sella y Deva-Cares, en este estudio se han utilizado los módulos de agua subterránea, enrutamiento simple y nieve para calibrar el modelo SPHY. En ambas cuencas los resultados del modelado hidrológico se obtuvieron a una resolución espacial de 100 m y temporal de escala diaria.

La calibración de los parámetros del modelo se realizó usando una serie de caudal aforada en cada una de las cuencas objetivo (Puentellés para el Deva-Cares y Villamayor para el Sella) durante un periodo de 3 años. El grado de ajuste del modelo se ha analizado mediante el coeficiente de Nash-Sutcliffe efficiency “log NSE”. Valores de log NSE <0,5 se consideran inaceptables, mientras que valores entre 0,6 y 0,8 se consideran buenos. En el caso de la validación del modelo,

que se realizó para el periodo histórico completo, con datos observados de cada aforo, utilizándose dos criterios: el coeficiente log NSE y el porcentaje de Bias (PBIAS), donde valores absolutos de PBIAS menores a 15% se consideran aceptables.

2.2. Desarrollo de un modelo de temperatura del agua

En el caso del modelo de temperatura del agua se ha optado por el uso de un modelo de aprendizaje profundo como son las redes neuronales. Su principal ventaja radica en la capacidad de aprender patrones complejos y no lineales directamente de los datos, lo que las hace especialmente útiles para tareas que involucran grandes cantidades de datos y aquellas situaciones en las que las relaciones entre las variables no son evidentes. Los datos observacionales de temperatura del agua (°C) utilizados para generar el modelo, consistieron en series de temperatura quince-minutales (31639 datos en total) tomados en 40 puntos de la red fluvial. Del total de puntos, 33 contaban con series de 1 año (2015) y otros 7 contaban con series de 7 años (2012-2020). Así mismo, se utilizó una base de datos de variables ambientales estáticas (usos del suelo y vegetación, topografía, geología) previamente desarrollada por IH Cantabria (plataforma de modelado de cuencas virtuales) y variables climáticas dinámicas como precipitación, temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima, presión de vapor de agua, radiación solar y velocidad del viento, generadas a partir de recursos de reanálisis climático EMO-1 y ERA-5. El modelo fue entrenado con un conjunto de datos de entrenamiento considerando el 80% de los datos, y su desempeño y capacidad predictiva se ha evaluado sobre un 20% del total de los datos (datos de test). Esta evaluación se ha llevado a cabo mediante los estadísticos Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) y el coeficiente de Determinación (R²) que informan sobre la desviación de nuestras predicciones respecto a las observaciones y qué porcentaje de la variación de la variable dependiente es explicado por el modelo, respectivamente.

2.3. Análisis de escenarios hidrológicos

Partiendo del modelo hidrológico calibrado previamente (sección 2.1), se lanzaron dos simulaciones para toda la red fluvial, una para el periodo histórico (PP; 1971-2015) y otra para el periodo futuro bajo el escenario de cambio climático RCP8.5 (CC; 2016-2097). Para el presente análisis se extrajeron las series diarias de caudal en 28 localizaciones específicas, distinguiendo el tipo de localización entre tramos altos, medios y bajos. Dichos datos se han usado para calcular y comparar una serie de índices hidrológicos que dan cuenta de los diferentes atributos del régimen de caudales.

3. RESULTADOS

3.1. Desarrollo de un modelo hidrológico

La evaluación del ajuste del modelo hidrológico obtuvo un valor de LogNSE de 0,72 para el periodo 2007-2009 en el aforo de Puentellés y de 0,68 para el periodo 2002-2004 en el aforo de Villamayor. En el caso de la validación del modelo, que se realizó para el periodo histórico completo, ambas cuencas obtuvieron los valores de Log NSE >0,6 y valores de PBIAS <15% (Figura 1). Se puede observar cómo la simulación representa adecuadamente la forma y el carácter del

hidrograma observado, aunque subestima los caudales máximos de algunos eventos ocasionales.

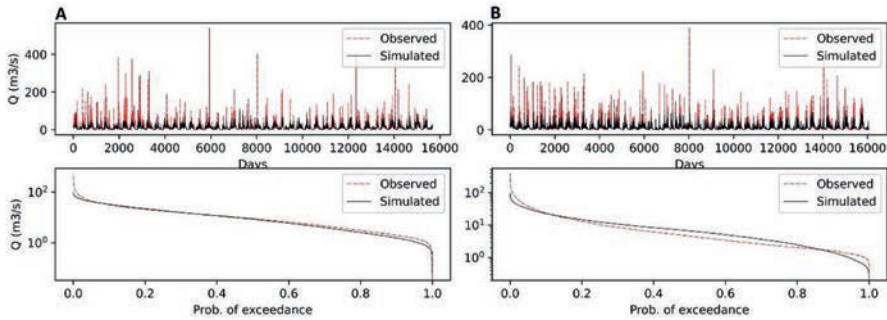


Figura 1: Validación del modelo. Comparación entre el caudal observado y simulado y ajuste de las curvas de excedencia de ambas series en el aforo de Puentellés (A) y Villamayor (B) para el periodo de validación.

3.2. Desarrollo de un modelo térmico

El modelo de redes neuronales de la temperatura del agua obtenido a partir de todos los datos de entrenamiento obtuvo un RMSE de 0.62 y un R2 de 0.93 (Figura 2A). Esto significa que el modelo desarrollado es capaz de explicar más del 90% de la variabilidad de los datos observados y que las predicciones de la temperatura del agua en un periodo determinado tendrán una incertidumbre de ± 0.31 oC, lo que puede considerarse un resultado excelente. No obstante, el desempeño y la capacidad predictiva del modelo difieren notablemente entre ríos de diferente naturaleza hidrológica. En este contexto, los ríos alimentados por escorrentía mantienen los niveles de ajuste y capacidad predictiva descritos (Figura 2B), mientras que el desempeño y capacidad predictiva de los modelos alimentados por aguas subterráneas (manantiales) se ve mermado (R2 de 0.33; Figura 2C). En todos los casos, las variables más influyentes, como se esperaba inicialmente, fueron variables relacionadas con la temperatura del aire (media, máxima y mínima), la presión del aire, la elevación y diversas variables de cobertura y usos del suelo en la cuenca (Figura 2D).

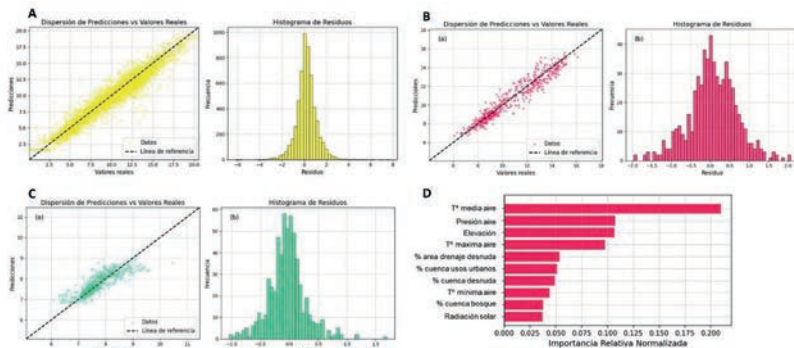


Figura 2: Gráficos de dispersión comparando las predicciones y los valores reales e histogramas de residuos del modelo para el conjunto de datos test para el set completo de datos (A), para un río alimentado por escorrentía (B; Bulnes) y para un río alimentado por agua subterránea (C). Importancia relativa normalizada de las variables predictoras más influyentes ordenadas de mayor a menor (D).

3.3. Análisis de escenarios hidrológicos

La comparación de las series de caudal históricas frente a las series futuras de los índices hidrológicos que informan sobre la “Magnitud de caudales anuales y mensuales” indicaron una disminución del caudal medio anual (I1) de un 18% y un 21% en los ríos Sella y Deva-Cares, respectivamente (Figura 3). El índice I2, que da cuenta de la varianza de las series, se reduce de forma similar en un futuro con valores del 12% y el 19%, respectivamente. Por el contrario, se prevé que diferentes índices relacionados con la asimetría y la variabilidad de la serie de datos (Icv: coeficiente de variación, Ica: asimetría e Ikur: kurtosis o forma) aumenten en el escenario futuro, lo que podría entenderse como una mayor probabilidad del incremento de la variabilidad en los caudales y eventos extremos (i.e. sequías y crecidas).

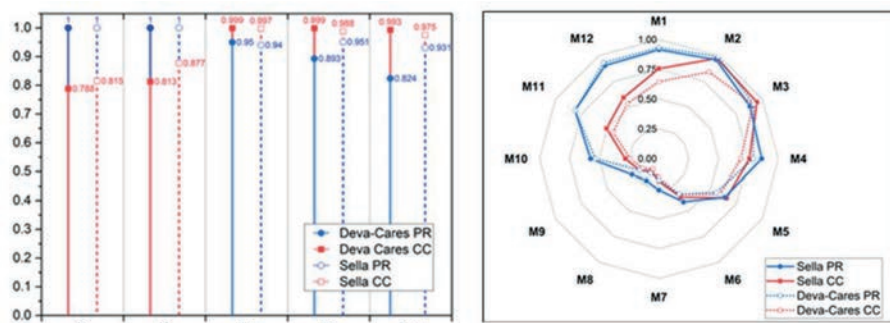


Figura 3: Índices hidrológicos normalizados de los valores medios de I1, I2, Icv, Ika y Ikur para cada periodo considerado (PR y CC) en las cuencas del Sella y Deva-Cares.

En referencia a la media del caudal mensual para ambos periodos, se observa una reducción generalizada del caudal (Figura 3), con mayores diferencias entre los meses de octubre a enero (M10-M1), dónde el modelo predice una disminución media del 25%. Además, se observa un adelanto del pico de caudal primaveral (de M4 a M3).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Nuestros resultados muestran la capacidad de diferentes estrategias de modelado para generar datos hidrológicos de alta resolución espacial y temporal para los ríos de Picos de Europa. En relación con la hidrología, se obtuvo un modelo que presentó buen rendimiento y una adecuada representación de la forma y el carácter del hidrograma observado. Es decir, este modelo permitió obtener series de caudal con una incertidumbre relativamente baja que podrán ser utilizados como variable explicativa de otros procesos ecológicos que tiene lugar en estos ríos. No obstante, nuestros resultados también pusieron de manifiesto que SPHY subestima los caudales máximos de algunos eventos ocasionales, los cuales tienen cierta relevancia para los ecosistemas fluviales (Bunn & Arthington, 2022). Esto se debe a que los modelos hidrológicos necesitan acotarse durante su calibración a un rango determinado de caudales altos o bajos. Esta acotación debe decidirse de acuerdo con los objetivos del estudio, mientras que resulta complicado poder modelar de manera óptima ambos eventos (crecidas y sequías) a partir de una parametrización única del modelo.


No obstante, el alto rendimiento de SPHY permitió analizar y comparar con alto grado de confianza los escenarios hidrológicos históricos y futuros bajo una proyección de cambio climático. Este análisis identificó disminuciones significativas en la cantidad total de agua en los ríos de Picos de Europa en las próximas décadas. Además, nuestros análisis han puesto de manifiesto que los regímenes de caudales presentarán mayor variabilidad inter e intranual. En este contexto, los resultados indicaron un adelanto en el pico de caudal mensual. Esto podría relacionarse con el aumento de las temperaturas y la disminución de la precipitación y su efecto sobre diferentes procesos nivales en los ríos de Picos de Europa (Barranco et al., 2018). Todos estos cambios podrían generar cambios sustanciales en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas fluviales (e.g. poblaciones de anfibios o salmónidos) y en los servicios ecosistémicos que proveen estos ríos (e.g. agua para consumo), por lo que supone un elemento crítico a la hora de planificar los usos de este espacio protegido.

Por otro lado, el uso de herramientas basadas en inteligencia artificial para modelar la temperatura del agua, como las redes neuronales, ha producido resultados excelentes ($R^2 > 0,7$ en todos los casos). Estos resultados ofrecen una fuente de datos de muy alta fiabilidad para entender, posteriormente, los patrones espacio-temporales de las diferentes comunidades biológicas que habitan el ecosistema fluvial (bacterias y hongos, productores primarios, invertebrados o peces) y, en consecuencia, ayudar a entender las reacciones causa-efecto de multitud de procesos ecológicos que se producen en estos ecosistemas (e.g. metabolismo fluvial, descomposición, reciclado de nutrientes, etc). No obstante, también hay que indicar que, de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, existe un margen de mejora en la calibración de los modelos de temperatura del agua en ríos alimentados por aguas subterráneas. Estos sistemas están sometidos a procesos de amortiguación hidrológica y térmica únicos, a la vez que sustentan una variedad significativa de biodiversidad e importantes funciones ecológicas (Fernández-Martínez et al., 2023). Por tanto, es crítico ahondar en el entendimiento y la cuantificación de los procesos que determinan su estabilidad térmica e hidrológica.

Finalmente, el desarrollo de este trabajo sienta las bases para la generación de herramientas de ayuda a la toma de decisiones en el entorno de Picos de Europa, como los gemelos digitales. Los gemelos digitales son representaciones o replicas virtuales de sistemas, en este caso de las cuencas fluviales, que integran múltiples modelos y simulaciones nutridos por información recogida a tiempo real (e.g. sensores in situ o remotos/satélites) o escenarios previstos. Finalmente, a partir de este grupo de modelos y datos que configuran el gemelo digital es posible reflejar con precisión el comportamiento potencial de estos espacios en el mundo real. Es decir, los gemelos digitales permitirían simular, analizar y optimizar el funcionamiento de estas cuencas ante diferentes escenarios futuros, incluyendo la implementación de diferentes medidas de gestión, para poder tomar decisiones informadas en base a los resultados generados por esta herramienta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bunn, S. E. & Arthington, A. H. (2002) Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity, *Environmental Management*, 30, 492–507.
- Barranco, L.M., Dimas, M., Jiménez, A. & Estrada, F. (2018). A New Assessment of the Future Effect of Climate Change on Water Resources in Spain. *Ingeniería Civil* 191.




Fernández-Martínez, M., Barquín, J., Bonada, N., Cantonati, M., Churro, C., Corbera, J., Delgado, C., Dulsat-Masvidal, M., García, G., Margalef, O., Pascual, R., Peñuelas, J., Preece, C., Sabater, F., Seiler, H., Zamora-Marín, J.M. & Romero, E. (2023). Mediterranean springs: Keystone ecosystems and biodiversity refugia threatened by global change. *Global Change Biology*. Online version.

Leach, J., Kelleher, C., Kurylyk, B.L., Moore, R.D. & Neilson, B.T. (2023) A primer on stream temperature processes. *WIREs water*, 10 (4), 1-18

Terink, W., Lutz, A.F., Simons, G.W.H., Immerzeel, W.W. & Droogers, P. (2015). SPHY v2.0: Spatial Processes in HYdrology. *Geoscientific Model Development* 8(7): 2009–2034.





VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS COMUNIDADES DE INVERTEBRADOS EN LOS RÍOS DE PICOS DE EUROPA DURANTE UNA DÉCADA

M. Álvarez-Cabria, A. Goldenberg, P. Díaz & J. Barquín

IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander 39011 España

RESUMEN

Los ríos de montaña son muy sensibles a las alteraciones que genera el cambio global (clima, usos del suelo, etc.). Sin embargo, debido a su pequeño tamaño de cuenca, gran parte de las redes fluviales de montaña no se incluyen en la clasificación tipológica establecida en el Plan Hidrológico Nacional, quedando excluidas de los programas de seguimiento diseñados por las Demarcaciones correspondientes. Para determinar la evolución a largo plazo de las comunidades de invertebrados en los ríos de Picos de Europa se diseñó una red compuesta por 13 puntos, diferenciando puntos Control e Impactados por presiones antrópicas (efluentes puntuales y procesos de escorrentía). Esta red de seguimiento se ha explotado ininterrumpidamente desde el año 2012 hasta la actualidad. Los datos obtenidos sobre las comunidades de invertebrados fluviales en este tiempo se han integrado con otros estudios europeos a largo plazo para determinar la tendencia temporal de la diversidad de estas comunidades en Europa. Los resultados de este estudio comparativo muestran un estancamiento en la recuperación de la biodiversidad de los ríos europeos en los últimos 10-20 años. En el presente trabajo se muestra la tendencia de estas comunidades en los Picos de Europa. Además, se analizan las distintas variables ambientales (e.g. clima o calidad del agua) que pueden estar gobernando estos patrones temporales durante la última década.

Mountain rivers are sensitive to global change alterations (climate, land use, etc.). However, due to the small size of its basin, part of the mountain river networks is not included in the typological classification defined in the National Hydrological Plan, being excluded from the monitoring programs established by Demarcations. To determine the long-term evolution of river invertebrate communities in Picos de Europa, a network of 13 river stretches was designed differentiating Control stretches and stretches Impacted by anthropic pressures (punctual effluents and catchment runoff processes). This monitoring network has been operated uninterruptedly from 2012 to present. The data obtained on river invertebrate communities during this time have been integrated with other long-term European studies to determine the temporal trend of their biodiversity in Europe. These results, recently published in the journal Nature, show a stagnation in the recovery of the biodiversity of European rivers in the last 10-20 years. In this work we show the trend of these communities in Picos de Europa. In addition, we analyzed at local level which may be the environmental variables (e.g. climate or water quality) that may be generating these temporal patterns in the last decade.

PALABRAS CLAVE:

Esp: Cambio Global, Seguimiento a Largo Plazo, Diversidad de Invertebrados, Cordillera Cantábrica.

Eng: Global change, Long Term Monitoring, Invertebrate Diversity, Cordillera Cantábrica.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos de montaña son muy sensibles y vulnerables a las alteraciones que, como consecuencia del cambio global, se dan en las condiciones ambientales que los caracterizan. Por este motivo son reconocidos como centinelas del cambio global, ya que sus características físicas y biológicas muestran patrones de cambio más fácilmente identificables que los observados en otros ambientes (Zamora et al. 2016). Los gradientes altitudinales característicos de las áreas montañosas influyen en otras variables clave (e.g. temperatura o pendiente) creando unas condiciones muy particulares que determinan la estructura y composición de las comunidades biológicas que se desarrollan en estos ecosistemas. Estas características acentúan la fragilidad y susceptibilidad de los ecosistemas de agua dulce de montaña frente a los cambios en los regímenes de temperatura y precipitación asociados con el calentamiento global, así como frente a los cambios en los usos y coberturas del suelo.

Para monitorizar los efectos que el cambio global genera a largo plazo sobre los ecosistemas fluviales del Parque Nacional (PN) de los Picos de Europa, y sus inmediaciones, se diseñó una red de seguimiento que se puso en marcha en el año 2012. Los datos referentes a las comunidades de invertebrados generados durante el periodo 2012-2018 se incluyeron en una base de datos global a nivel europeo. Los primeros resultados obtenidos indicaron que las comunidades de invertebrados de los Picos de Europa mostraron una de las tasas de pérdida de biodiversidad más elevadas de las descritas en Europa, siendo de -1,72% para el periodo 2012-2018, mientras que el promedio registrado en Europa mostraba un incremento del 0,73% en el periodo 1968-2020 (Hasse et al., 2023). Estos resultados motivaron la realización del presente estudio, el cual se plantea para cumplir con el objetivo principal de determinar los patrones de cambio más relevantes que se pueden estar dando en las comunidades de invertebrados del PN de los Picos de Europa, y alrededores, en un amplio periodo temporal (2012-2023). Para llegar a este objetivo principal, se plantea alcanzar los siguientes objetivos parciales:

- Determinar los cambios ambientales más relevantes que se puedan estar dando en estos ecosistemas a largo plazo, tanto a escala local, como regional.
- Determinar cómo las comunidades de invertebrados responden a dichos cambios ambientales, poniendo especial atención en los patrones espaciales y temporales de diversidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se diseñó una red de seguimiento formada por 13 puntos de estudio localizados en los ríos (10) y manantiales (3) de las cuencas del Sella y Deva-Cares, en el PN de los Picos de Europa y sus inmediaciones. Esta red se estableció siguiendo una aproximación Control-Impacto, identificando 4 puntos afectados por vertidos, 2 por procesos de escorrentía de cuenca y 7 puntos control. En cada uno de estos puntos se realizaron campañas de muestreo

anuales en periodo estival (2012-2022). En cada campaña se muestrearon los siguientes componentes del ecosistema fluvial:

1. Comunidades de invertebrados, para lo cual se tomaron muestras en 3 pozas y 3 rápidos de estos tramos con una red tipo surber de 0,5 mm de malla.
2. Calidad del agua (concentración de distintos iones, conductividad eléctrica, pH, etc.).
3. Recursos tróficos (materia orgánica, clorofila a, carbono epilítico).
4. Metabolismo fluvial: respiración y producción ecosistémica.

Además, para completar esta red de puntos de muestreo se contó con una red de 8 aforos que miden el nivel y la temperatura del agua en continuo (ver picoseuropa.ihcantabria.com), a partir de cuyos datos, junto con otros aportados por la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, se modeló el régimen hidrológico y térmico de los distintos tramos que componen la red fluvial que drena las cuencas del Sella y Deva-Cares para todo el periodo de estudio (datos medios diarios por tramo).

Para mejorar los resultados expuestos por Hasse et al. (2023) en referencia a las comunidades de invertebrados de los Picos de Europa, primero se actualizó la base de datos incluyendo toda la información generada hasta el año 2022, rehaciendo los cálculos de tasa de pérdida/ganancia de biodiversidad con la base de datos completa (2012-2022). Posteriormente, se realizaron otros análisis para determinar las variables ambientales que más influyeron en la estructura y composición de estas comunidades en el mismo periodo. Para ello, se realizó una ordenación no-métrica (NMDS), empleando el índice de similaridad de Bray-Curtis, de las comunidades muestreadas en los 10 puntos fluviales en estos 11 años (110 muestras), conjuntamente con 42 variables ambientales (4 térmicas, 17 hidrológicas, 2 metabolismo fluvial, 11 recursos tróficos y 8 de calidad del agua) y 12 índices que reflejan la integridad de estas comunidades. Además, para conocer con mayor exactitud el papel que estas variables ambientales juegan a la hora de determinar la diversidad de las comunidades de invertebrados se realizaron diferentes modelos de regresión generalizada (GLM) para diferentes índices de diversidad con las 13 variables ambientales que mostraron relaciones significativas con los dos primeros ejes de la ordenación NMDS. Finalmente, se relacionó la integridad de las comunidades de invertebrados con el desarrollo del bosque ripario en cada uno de estos 11 puntos (i.e. tramos). Para ello, se calculó el porcentaje de sombra en cada tramo mediante fotografía vertical con cámara dotada de objetivo gran angular (ojo de pez) y el uso posterior del programa informático GAP Analyzer, el cual permite determinar el porcentaje de la superficie del tramo que está en condiciones de sol y de sombra. Para explorar de forma más directa la relación que se establece entre el bosque de ribera y la conservación del medio fluvial, reflejada en el desarrollo de comunidades de invertebrados más íntegras y diversas, se realizó una nueva correlación, esta vez entre el porcentaje de sombra en el cauce y el valor promedio que cada uno de los 10 puntos de estudio obtuvo en el eje 1 del NMDS.

RESULTADOS

Con la base de datos que caracteriza las comunidades de invertebrados entre los años 2012 y 2022 se calculó la tasa de pérdida/ganancia de biodiversidad, observando que, esta tasa no es negativa, como se describe en Haase et al. (2022),

si no que, en realidad, es una tasa positiva para el conjunto de puntos de estudio (+0,27%), siendo de -0,53% para las comunidades de puntos control y de +1,20% para las de puntos afectados por vertidos. Además, se observa que, si se repite este análisis de forma anualizada, la tendencia que muestra este periodo es positiva, con un patrón de máximos y mínimos crecientes (Fig. 1).

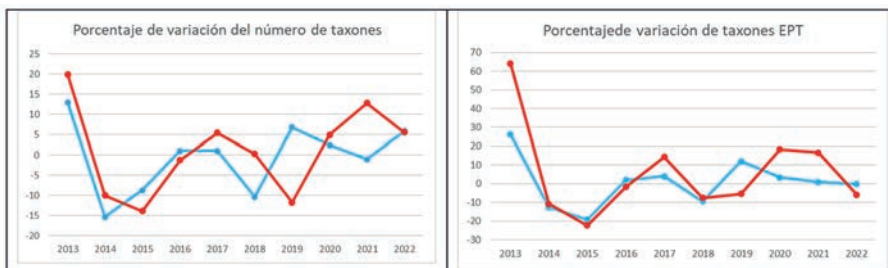


Figura 1: Tasa de variación del número de taxones y del número de taxones de efemerópteros, plecópodos y tricópteros (EPT) de las comunidades de invertebrados del Parque Nacional de Picos de Europa y sus inmediaciones. Azul: comunidades de puntos control. Rojo: comunidades de puntos afectados por vertido.

El análisis de ordenación realizado con las 110 muestras de invertebrados (10 puntos x 11 años), en relación a la similaridad de su estructura y composición, muestra como las comunidades de puntos control se sitúan en la parte más positiva del eje de abscisas, al igual que los índices de calidad y otras variables relacionadas con las crecidas de caudal y las temperaturas bajas, mientras que las comunidades de sitios impactados se localizan en la parte negativa del mismo eje, junto con variables que indican estabilidad de condiciones (e.g. cantidad de musgo; Fig. 2). Por lo tanto, las comunidades situadas en la parte de valores altos de este eje 1 se pueden considerar mejor conservadas y con mayor diversidad que las situadas en la zona negativa del mismo. Por el contrario, las comunidades afectadas por vertidos, y las del Casaño, se sitúan en la parte positiva del eje 2, al igual que diversas variables relacionadas con la mala calidad del agua, como son la conductividad eléctrica del agua o la concentración de fosfatos y nitratos (Fig. 2).

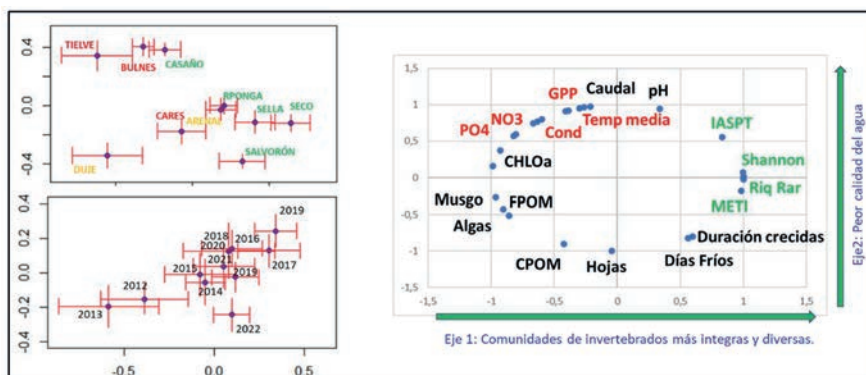


Figura 2: Análisis de ordenación-no métrica para las 110 comunidades invertebrados de Picos de Europa y su entorno (10 sitios * 11 años) y relación de los ejes con las 25 variables que mostraron un ajuste significativo en la ordenación.

Posteriormente a este análisis, los modelos GLM realizados con las variables ambientales más relevantes en la ordenación NMDS indicaron que los índices de diversidad: 1) número de taxones, 2) riqueza rarefactada, 3) riqueza de taxones de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT; poco tolerantes a la degradación del ecosistema fluvial) y 4) el índice de Shannon, mostraron relaciones positivas y significativas con la concentración de clorofila a, la cantidad de materia orgánica bentónica total, de hojarasca bentónica y con el número de días fríos (i.e. días en los que la temperatura media del agua fue inferior a la media mensual menos el doble de la desviación estándar). Además, estos índices de diversidad mostraron relaciones significativamente negativas con la concentración de nitratos y fosfatos, así como con la cantidad de musgo en el lecho fluvial. Por otro lado, la densidad de invertebrados y la riqueza de taxones no-insectos, más tolerantes a la degradación del ecosistema fluvial, mostraron relaciones contrarias a estas, ya que se correlacionaron positiva y significativamente con la cantidad de musgo y de materia fina particulada, así como con la concentración de fosfatos.

En el caso de la calidad del agua se observa que la relación entre la riqueza de taxones y la concentración de fosfatos y nitratos está afectada principalmente por un patrón espacial, dominado por la elevada concentración que estos iones alcanzan principalmente en el punto de estudio localizado en el río Duje, aguas abajo de la localidad de Tielve, donde las comunidades de invertebrados presentan una baja riqueza taxonómica. Por otro lado, se observa que, aunque la relación temporal entre el número de taxones y ambos iones es débil, la calidad del agua ha ido mejorando desde el año 2012, aunque en 2022 se vuelven a obtener elevadas concentraciones de nitratos y fosfatos. Además, existe una elevada correlación entre la riqueza taxonómica de las comunidades de invertebrados en los 10 puntos correspondientes a ríos y el número de días fríos ($R^2=0,42$) y la cantidad de hojarasca bentónica ($R^2=0,57$), así como entre el número de taxones y la concentración temporal de clorofila a ($R^2=0,89$) y hojarasca ($R^2=0,78$). Estos resultados indican la afección que generan los vertidos puntuales sobre la calidad del agua en ríos de montaña y la respuesta negativa que tiene la diversidad de las comunidades de invertebrados al enriquecimiento orgánico del agua. Igualmente, también indican la importancia que tiene el número de días fríos que se registran en los 6 meses previos a la toma de muestras de invertebrados y la cantidad de hojarasca bentónica para que estas comunidades mantengan su diversidad. Ambas variables, número de días fríos y cantidad de hojarasca, pudieran estar relacionadas, a su vez, con el desarrollo del bosque de ribera, dado que éste evita la entrada de energía solar por el efecto sombra y favorece la incorporación de hojarasca y otros materiales en el cauce. Con el objetivo de explorar esta relación, se realizó una regresión entre la biomasa de hojarasca y el número de días fríos observado en cada punto de estudio, con el porcentaje de sombra en cada tramo. Como se observa en la figura 3, tanto la cantidad de hojarasca, como el número de días fríos, mostraron correlaciones positivas con el porcentaje de sombra en el cauce, el cual depende principalmente del desarrollo del bosque de ribera ($R^2= 0,47$ y $0,75$, respectivamente; Fig.3).

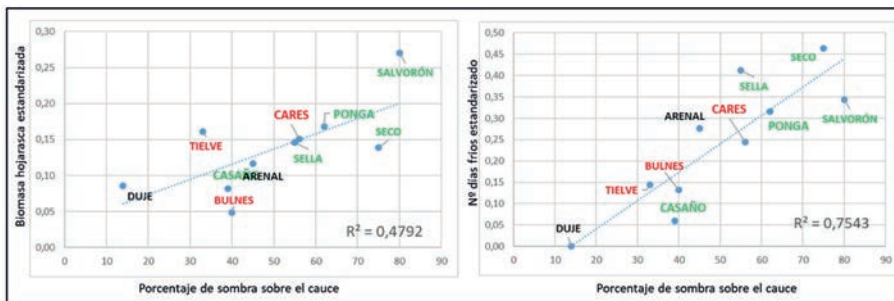


Figura 3: Correlación entre la biomasa media de hojarasca bentónica y el número de días fríos promedio para cada punto de estudio en relación al porcentaje de sombra en el cauce. En rojo se muestran los puntos afectados por vertidos, en negro los afectados por escorrentía y en verde los puntos control.

Este sencillo análisis permite ver la importancia que tiene mantener un bosque de ribera bien conservado para evitar el deterioro del ecosistema fluvial y sus comunidades biológicas, ya que la correlación entre ambas variables mostró un ajuste muy alto ($R^2 = 0,73$; Fig. 4). En esta relación se puede observar cómo los puntos de estudio afectados por vertidos se ordenan en el eje de integridad del NMDS en relación al porcentaje de sombra. Es decir, un mayor porcentaje de sombra (i.e. un bosque de ribera mejor estructurado) hace que el efecto del vertido sea menor para las comunidades de invertebrados, probablemente porque frena la incidencia solar, reduciendo los efectos del vertido sobre el desarrollo de los organismos productores, que a su vez modifican el metabolismo fluvial (i.e. relación producción/respiración ecosistémica). Este mismo patrón también se observa en los dos puntos afectados por procesos de escorrentía e incluso en los puntos control (Fig. 4).

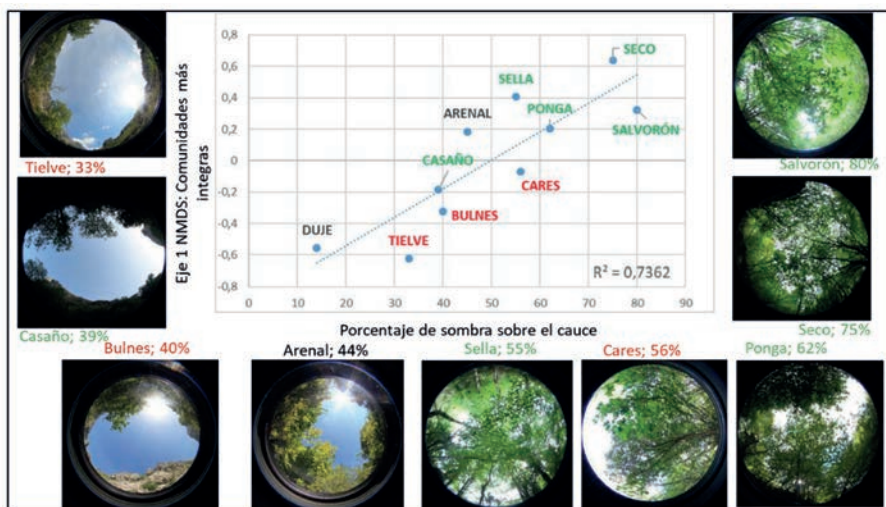


Figura 4: Correlación entre el porcentaje de sombra y la integridad de las comunidades de invertebrados, definida a partir de su posición en el eje x de la ordenación NMDS mostrada en la figura 2.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados mostrados revelan que las comunidades de invertebrados se ven afectadas tanto por factores locales, como por patrones hidrológicos y climáticos que actúan a escalas temporales más amplias, de ahí la importancia de contar con programas de monitoreo que cubran largos periodos, ya que los resultados puntuales no son suficientemente robustos para determinar la integridad del medio acuático, ni mucho menos su dinámica temporal. Igualmente, estos resultados muestran la importancia de aplicar una periodicidad adecuada en la toma de muestras/datos en seguimientos a largo plazo, ya que la selección de periodos temporales aleatorios (e.g. una campaña cada 5 años) puede generar errores en la interpretación de los datos obtenidos. El seguimiento a largo plazo proporciona datos adecuados para analizar los efectos del cambio global sobre los ecosistemas acuáticos. Este enfoque ayuda a entender mejor el estado de las comunidades acuáticas, así como a identificar medidas de conservación apropiadas que promuevan la conservación de la biodiversidad y la integridad de los procesos ecosistémicos en medios acuáticos.

El análisis de la interacción entre variables ambientales locales y de largo plazo es necesario para predecir cambios en las comunidades biológicas fluviales. Además, se pone de manifiesto la importancia de contar con un bosque de ribera bien desarrollado para garantizar el estado de conservación de estas comunidades, tanto en condiciones de afección, como en tramos no afectados por alteraciones antrópicas. También se observa que la abundancia y la riqueza de invertebrados siguen patrones opuestos en ríos de montaña, ya que muestran relaciones diferentes respecto a variables relacionadas con la calidad del agua y la estabilidad del ecosistema.

REFERENCIAS

Haase P., et al. (> 90 authors), 2023. The recovery of European freshwater biodiversity has come to a halt. *Nature*. DOI: 10.1038/s41586-023-06400-1.





SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO LARGO PLAZO: EVALUACIÓN DE ACTUACIONES DE GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL CAMBIO GLOBAL

Ignacio Granados y Ángel Rubio

Centro de Investigación, Seguimiento y Evaluación. Parque Nacional Sierra de Guadarrama

El proceso del cambio global supone una transformación de los ecosistemas a escala global sin precedentes en la historia humana. Esta transformación está guiada tanto por cambios a escala local (alteración o intensificación de los usos del suelo) como a escala global (contaminación y cambio climático). Los ecosistemas acuáticos de alta montaña son especialmente frágiles frente a estos cambios, aunque apenas hay información sobre su capacidad de recuperación o resiliencia tras determinadas actuaciones de restauración. El seguimiento limnológico de la laguna de Peñalara se inició hace unos 30 años motivado por su deficiente estado de conservación y ha permitido, en primer lugar, cuantificar con precisión el tiempo necesario para alcanzar tras su restauración un estado análogo al preexistente a la degradación por eutrofización y erosión y, en segundo lugar, establecer las tendencias a largo plazo una vez alcanzado este nuevo estado en el contexto del cambio global. Este ejemplo sirve para resaltar la necesidad de disponer de largas series temporales para poder evaluar adecuadamente tanto las actuaciones de gestión como los efectos del cambio global, sobre todo para los espacios naturales protegidos.

The Global Change process involves an unprecedented in human history transformation of ecosystems on a global scale. This transformation is driven both by changes at the local scale (alteration or intensification of land use) and at the global scale (pollution and climate change). High mountain aquatic ecosystems are particularly fragile in the face of these changes, although there is little information on their capacity for recovery or resilience after certain restoration actions. The limnological monitoring of Peñalara lake began some 30 years ago, motivated by its poor state of conservation, and has made it possible, firstly, to accurately quantify the time required to reach a state similar to that prior to degradation due to eutrophication and erosion after its restoration and, secondly, to establish long-term trends once this new state has been reached in the context of global change. This example serves to highlight the need for long time series to be able to properly assess both management actions and the effects of global change, especially for protected natural areas.





SEGUIMIENTO DE *HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS* EN EL PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA

Suárez Menes, Miguel. Técnico del Área de Conservación. P.N. Picos de Europa



Resumen

En septiembre de 2022 y en la primavera y verano de 2023 se realizó una revisión del estado de las masas de fresno (*Fraxinus excelsior*) en la parte del Principado de Asturias. El objetivo principal de este seguimiento era la comprobación del estado fitosanitario de las mismas. Para ello se desarrolló un muestreo zonificado a nivel visual de los pies de fresnos presentes en las distintas zonas. En primer lugar se realizó el muestreo en las majadas próximas a los Lagos de Covadonga, para después pasar – una vez más conocido el Parque Nacional – a zonas de Cabrales y Amieva. Como se explicará en líneas anteriores y en la presentación, los resultados y visión son a futuro, teniendo en cuenta el escenario de cambio climático del que las masas forestales no son ajenas.

Objetivos

Los objetivos del seguimiento realizado entre los meses de abril y julio han sido de encontrar los mencionados en líneas anteriores pies resistentes a la enfermedad. Para ello se han ampliado las zonas de muestreo (aumentándose el número de majadas principalmente inventariadas en la zona de Lagos y comenzando el seguimiento en la zona de Cabrales). Además de buscar los pies resistentes se ha hecho un conteo de los pies que se han ido observando en las zonas muestreadas. Los esfuerzos de investigación y manejo se centran en comprender la biología del hongo, patrones y distribución del mismo, identificar variedades resistentes de fresnos y para posteriormente desarrollar estrategias de control para mitigar los efectos negativos en los bosques de este Parque Nacional.

Como objetivo último de este seguimiento, se espera contribuir a la preservación de las formaciones de fresnos, al igual que la presencia de estos en masas mixtas en este Parque Nacional y a la implementación de estrategias de manejo sostenible para garantizar la supervivencia de esta valiosa especie arbórea en este entorno único.

Material y métodos

Para realizar este seguimiento se ha diseñado una ficha por el área de conservación del Parque Nacional, la cual se adjuntará una imagen a continuación.

FICHA DE SEGUIMIENTO DE LA INCIDENCIA DE *HYMENOSCYPHUS FRAXINEUS* DE LOS PIES DEL FRESNO DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA

Fecha: /05/2023
 Coordenada: UTM zona 30N Coordenada X: m Coordenada Y: m
 Paraje:
 Técnicos actuantes:
 PLANO UBICACIÓN DE LA ZONA CON SUS DIVISIONES (habrá zonas con una única zona, dos o tres zonas)



Nivel de infestación apreciado:

Zona	Nivel de infestación presente
A	
B	
C	

Muestreo y conteo de pies:

Zona	Pies totales	Pies podados	Pies no podados
A			
B			
C			

Estado de la masa:

Zona	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
A				
B				
C				

Regeneración:

Zona	Regeneración	Regeneración sana	Regeneración infectada
A			
B			
C			

Observaciones:

- Tipo de masa:
 - Regular
 - Semirregular
 - Irregular
- Tamaño de las manchas en las hojas:
- Rasgos indicativos de la presencia de la enfermedad: (Falta de hojas, marchitamiento de hojas, presencia de ramas secas, estado de las yemas)
- Especies acompañantes dentro de la masa y porcentaje aproximado de las mismas respecto del total:

ORTOFOTO PARA INDICAR LOS PIES SANOS (regeneración posiblemente sana o algún dato de interés)



- Observaciones:

Una vez en campo, con esta ficha se va realizando el conteo dentro del 'Estado de la masa', clasificando cada pie en función de la cantidad de hoja y estado visual vital que presenta (defoliación, semilla, estado de ramas y yemas). También se indica si dicho pie está podado o no (en caso de que la poda sea antigua se indica que está podado, pero que la poda es antigua). En cuanto a 'Nivel de infestación presente' se refiere a, en una palabra, describir el estado de la masa, siendo las categorías empleadas leve, moderado, grave o muy grave. Posteriormente se indica si hay regeneración o no, y si está o no afectada. También se tiene en cuenta la el tipo de masa que es y las especies acompañantes dentro de la masa. Por último, se indican los rasgos indicativos de la enfermedad y observaciones que se quieran indicar que el observador crea convenientes.

Para realizar un seguimiento más efectivo y certero, se han diseñado unos recorridos para hacer los transectos de investigación. Estos recorridos son:

- Itinerario 1. Teón : Teón - Gunmartini - Fana - Acebeu - majada de Ilex aquifoliums - Sohornin - Uberdón - Comeya - La Piedra del Llagu.
- Itinerario 2. Vega de Enol : Vega de Enol - Vega la Cueva - Vega la Piedra.
- Itinerario 3: Belbin: Las Reblagas - El Bricial - parking Buferrera- majada de Buferrera (La Llomba) - Collado de La Llomba - Belbin.
- Itinerario 4. Ercina - Ceñal: La Canaleta - La Vega el Texu - El Tolleyu- Collado de Ceñal (Fuente Escondida).
- Itinerario 5. Ercina - Las Bobias: La Veguina - El Brazu - Vegaviella - Las Bobias.
- Itinerario 6. Moferos: Severin - Las Mestas de Orandi - Orandi - Les Llacieries - Moferos - Peñalba.

- Itinerario 7. Sigüenco 1: Ñiajentes - Jucárabo - Soperi de Arriba - Soperi de Abajo - Espadañal - Collao Cebeo.
- Itinerario 8. Sigüenco 2: Narves - Vizcalluenga - Gusñuebu.
- Itinerario 9: Valle de Curies.
- Itinerario 10: Valle de Angón.
- Itinerario 11. Pista de acceso al Parque Nacional de Oceño a Carraspión: Desde paso canadiense - collao Trespandiu - majada de la Fagus sylvatica.
- Itinerario 12. Pandébano - la Jelguera - Bulnes.
- Itinerario 13: Invernales de Calmor - invernales del Vierru.
- Itinerario 14: Pista de Invernales del Texu - Pandébano.

Resultados

Uno de los aspecto más fácilmente observables es que en la mayoría de las zonas, se trata de zonas donde los pies han sido podados, con una poda más o menos reciente, pero de manera mecánica con motosierra ó con tijera pero muy probablemente sin desinfectar, por lo que en caso de estar un solo pie afectado en una masa, se propagará más fácil al realizar la poda.

Otro de los puntos a tener en cuenta es, relacionado con el punto anterior, el estado avanzado de abandono que ha sufrido el monte estas últimas décadas. Por consiguiente, masas más abandonas conllevan facilidad de accesibilidad de las enfermedades (como ocurre con una persona o animal).

Discusión y conclusiones

Durante estos meses de seguimiento (un seguimiento demasiado corto) se pudieron ir modificando ciertas visiones conforme avanzaba el muestreo. Uno de los aspecto que más se cambió fue la visión de la enfermedad, tratándose al final como algo a futuro, que es complejo controlar pero debe de afrontarse, pero no desde una visión presente-futuro o incluso pasada (la enfermedad ya está presente en las masas).

Otro punto a tener en cuenta es que la presencia de *Hymenoscyphus fraxineus* es un hecho, pero no de la forma acusada que se cree. Si es cierto que ha habido presencia en Cabrales y más tarde en Covadonga, pero también es cierto que los síntomas de la enfermedad coinciden con la mayoría de los síntomas que provocan otros hongos (sequedad de yemas y ramas, marchitez de hojas, manchas y defoliaciones acusadas). Hay que tener en cuenta que zonas como el valle de Angón en Amieva o Orandi están prácticamente defoliadas, pero no se puede llegar a saber con total seguridad a nivel visual si es provocado por este hongo u otros hongos que afectan al fresno.

También algo que se pretendió modificar pero ya estaba el estudio en su etapa final fue la flexibilidad los niveles III y IV de la ficha. Es imposible encontrar pies perfectos (clase IV), pero con este diseño se pretendió dar una idoneidad de pies, que si se continúa haciendo podrían tenerse en cuenta características como gran presencia de semilla, defoliación escasa (teniendo en cuenta la poda natural (que no se tuvo hasta los meses finales al observar las masas densas en majadas)).

En conclusión, se cree que es un proyecto más que interesante, muy a tener en cuenta y que debería de seguir realizándose para conseguir obtener si el parasito es el estudiado (que tiene muchas papeletas para serlo), u otros que perfectamente podrían ser (por formaciones, latitudes, clima y exposiciones). Las líneas

siguientes a realizar serían una extracción de semillas, brotes y esquejes para reproducción vegetativa de los mismos. Esto se realizaría con el objetivo de emplear ejemplares para enfrentarlos en condiciones controladas al hongo (manteniendo unos pies libres de hongo) y comprobar posibles variedades resistentes. Esto se realizaría con el objetivo de incorporar los ejemplares de variedades resistentes al hongo para realizar plantaciones de los mismos, evitando una propagación de la enfermedad y una pérdida de dinero, recursos y tiempo en un territorio de la máxima figura de protección como es un parque nacional.

Para ir terminando este resumen, y tras haber estado en comunicación la empresa Árbol Técnico, se cree conveniente el continuar realizando el muestreo, ya bien sea por parte del equipo técnico como la guardería (ya disponen de la información para cumplimentar la ficha). Se debe de tener en cuenta que se debe de flexibilizar los niveles, y más teniendo en cuenta que el muestreo en campo es bastante difícil detectar qué hongo es. Se cree conveniente que el nivel IV quede reservado a aquellos pies de la clase III que tienen una buena cantidad de semilla, y de los cuáles se recogerán estaquillas o semillas para reproducirlo vegetativamente y muestra para analizar las plagas presentes. No se cree conveniente sacar muestras de todas las zonas, se ha visto que hay zonas más afectadas por lo que tener muestras de ciertas zonas, como pueden ser Vega de la Piedra, Gunmartini, la Canaleta, Vegaviella, las Bobias en la zona de Lagos, en el valle de Angón hacia el final en las últimas parcelas hacia el Restañó en la zona de Amieva y en la zona del Vierru, y en el camino de Pandébano a Bulnes en la zona de Cabrales. Al igual que las zonas buenas, es conveniente observar las zonas con altas tasas de defoliación para conseguir abarcar en que zonas está el hongo *Hymenoscyphus fraxineus*.

Y como se agradeció en su día, agradecer la colaboración del personal del Parque que me facilitaron y acompañaron en esta actividad, destacando guardería y el equipo de guías.

Referencias

Bakys, R., Vasaitis, R., Barklund, P., & Thomsen, I. M. (2009). Occurrence and pathogenicity of fungi in necrotic and non-symptomatic shoots of declining common ash (*Fraxinus excelsior*) in Sweden. *European Journal of Forest Research*, 128(1), 51-60

McKinney, L. V., Nielsen, L. R., Hansen, J. K. & Kjer, E. D. (2012). Presence of natural genetic resistance in *Fraxinus excelsior* (Oleaceae) to *Chalara fraxinea* (Ascomycota): an emerging infectious disease. *Heredity*, 109(5), 297-304.

Palabras clave

Hymenoscyphus fraxineus

Fraxinus excelsior – fresno

Parque Nacional de los Picos de Europa

Fitopatología

Seguimiento

E-mail de contacto del ponente: msuarezm@pnpeu.es / miguelgrao97@gmail.com

CARACTERIZACIÓN DEL POTENCIAL GERMINATIVO EN BOSQUES MADUROS DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA

Autores: Pardos M¹, Caballero C², Calama R¹, Parras A¹, Benito L¹, Rubio-Cuadrado A³, Montes F¹

¹Departamento de Dinámica y Gestión Forestal (ICIFOR, INIA-CSIC)

²Universidad Autónoma de Madrid

³ETSI de Montes. Universidad Politécnica de Madrid

pardos@inia.csic.es

RESUMEN:

Los bosques maduros son ecosistemas de alto valor ecológico, donde la disponibilidad de semilla y su viabilidad son procesos clave. En el marco del proyecto OLDFORES se ha estudiado la vulnerabilidad y resiliencia de los bosques maduros de los Parques Nacionales de montaña. Uno de los aspectos analizados es la influencia de la edad del árbol sobre los atributos biométricos de la semilla, viabilidad, capacidad germinativa y nascencia en especies que se encuentran en el límite meridional de su distribución. En el Parque Nacional de Picos de Europa se ha estudiado el roble (*Quercus petraea*). Se seleccionaron entre 25 y 27 árboles de cada especie, tomándose sus coordenadas y atributos biométricos (diámetro y altura). Se estimó la edad mediante la extracción de cores a 1,30 m de altura. Se recogieron entre 11 y 40 piñas y bellotas por árbol, realizándose la caracterización morfológica de las semillas (peso, longitud, diámetro). Se realizaron ensayos de viabilidad y de germinación. Los resultados preliminares muestran diferencias significativas entre árboles en la caracterización morfológica de las semillas. Las diferencias asociadas a la edad en los parámetros morfológicos analizados, así como en la germinación, nascencia y viabilidad están íntimamente ligadas a la especie. Los resultados de este trabajo permiten profundizar en el conocimiento de la estructura y dinámica forestal de los bosques maduros, para su gestión y conservación. Se pone de manifiesto la capacidad de los árboles de más edad para mantener una capacidad reproductiva relativamente elevada, que permitiría asegurar su persistencia.

ABSTRACT:

Old-growth forests are ecosystems with high ecological value, where seed availability and viability are key processes. Within the framework of the OLDFORES project, the vulnerability and resilience of old-growth forests in mountain Spanish National Parks has been studied. One of the aspects analyzed is how the age of mother tree of *Quercus petraea* influences seed size, viability, germination capacity and nascence. Twenty-five were selected in mountains of Picos de Europa National Park, taking the biometric attributes (diameter and height). Age was estimated by extracting cores at a height of 1.30 m. Between 30 and 50 acorns per tree were collected to study seed characteristics (weight, length, diameter) and germination capacity. Preliminary results show significant differences between trees

in the seed size. The differences associated with age in the morphological parameters analyzed, as well as in germination, birth and viability, are closely linked to the species. The results of this work aim to improve the understanding of forest structure and dynamics for their management and conservation in mature forests. The ability of older trees to maintain a relatively high reproductive capacity would ensure their persistence.

PALABRAS CLAVE:

Bosque maduro; viabilidad semilla; germinación; tamaño semilla; roble (old-growth forests; seed size; seed viability; germination capacity; sessile oak).

INTRODUCCIÓN:

Los bosques maduros se caracterizan por proporcionar numerosos servicios ecosistémicos: albergan una alta diversidad, aumentan la resiliencia ante eventos climáticos adversos o almacenan carbono a largo plazo (aproximadamente un 10% de la productividad neta global). Los Parques Nacionales son áreas privilegiadas debido a que la protección que ofrece esta figura permite favorecer una evolución semejante a la que sería la dinámica natural de los individuos, hasta alcanzar características estructurales y funcionales propias del bosque maduro. Al envejecer la masa, la competencia favorece la diferenciación y origina fenómenos de mortalidad y decaimiento que aumentan la heterogeneidad de la estructura y la diversidad. Las especies tolerantes están mejor adaptadas para establecerse y desarrollarse bajo un régimen de perturbaciones que incluyen episodios de decaimiento y mortalidad (Manion 1991), por lo que la ausencia de intervenciones selvícolas favorecería a especies más tolerantes a la sombra, particularmente durante las primeras fases de desarrollo, como las de los géneros *Abies* y *Fagus*, frente a otras poco tolerantes a la sombra como las de los géneros *Pinus* y *Quercus* (Frelich 2002). La longevidad de las distintas especies y el régimen de perturbaciones en cada bosque son factores determinantes para la composición y estructura de la masa forestal y, junto con la eficacia reproductiva y la vulnerabilidad frente al clima de las diferentes especies, determinan la dinámica de la masa conformando un mosaico heterogéneo de estructuras y edades que constituye el bosque maduro.

La regeneración se considera un proceso clave en la persistencia del bosque que conlleva etapas consecutivas, que se identifican como umbrales sucesivos de supervivencia de las plántulas (Pukkala y Kolström 1992). La regeneración natural depende de diferentes factores, algunos intrínsecos a cada especie, pero otros relacionados con la gestión forestal, el ambiente y el clima (Calama et al. 2017), que se pueden modular a través de la silvicultura. Existen evidencias de que la senescencia en los árboles no disminuye la fecundidad en edades avanzadas en términos de producción de semillas (Mukassabi et al. 2012). Sin embargo, podría haber efectos maternos asociados a la edad que reduzcan la germinación de las semillas y la viabilidad de las plántulas en fases tempranas críticas para la regeneración. De esta forma habría senescencia desde el punto de vista de la reproducción efectiva (de la contribución real a la siguiente generación), que es determinante en la eficacia biológica de los individuos, y en definitiva, en la estructura y diversidad futura del bosque.

Dentro del PN de Picos de Europa encontramos bosques maduros de *Fagus sylvatica* y *Quercus petraea*. En este trabajo se estudia el efecto de la edad del árbol

(tomando el diámetro normal como proxy) sobre los atributos biométricos de las semillas, su capacidad de germinación, nascencia y aparición de los primeros órganos fotosintéticos (POF) en *Quercus petraea*. Las hipótesis de partida son: (i) ¿Existen diferencias en los atributos biométricos de las semillas asociados a la edad?; (ii) ¿Existen diferencias en la germinación, nascencia y aparición de los primeros órganos fotosintéticos (POF) asociados a la edad del árbol?; (iii) ¿Tienen los atributos biométricos de las semillas efecto sobre su germinación y aparición de los POF?; (iv) ¿Conserva *Quercus petraea* su capacidad reproductiva una vez alcanzado la fase de envejecimiento?

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se seleccionaron 25 árboles en la zona de La Bermeja (Soto de Sajambre, León), a una altitud de 1000 m. Se midieron la altura y diámetro normal de los árboles. A partir del diámetro normal se clasificaron los árboles en cuatro categorías (Tabla 1). Además, se tomaron muestras dendrocronológicas para estimar su edad, estando en fase de análisis. En la actualidad, se dispone de estimaciones de edad a partir de una muestra de árboles distribuidas a lo largo del Parque Nacional (Figura 1), que muestran un rango de edades entre 17 y 350 años.

Clase Diámetro	Altura (m)	Altura copa (m)	Nº de árboles
18<DBH1<36	14,31±1,22	7,66±0,61	8
36<DBH2<50	12,85±0,76	7,42±0,38	8
50<DBH3<100	18,08±0,61	10,54±0,30	6
100<DBH4<201	20,63±2,03	12,32±1,02	3

Tabla 1: Caracterización de los árboles en función del diámetro normal (DBH, en cm).

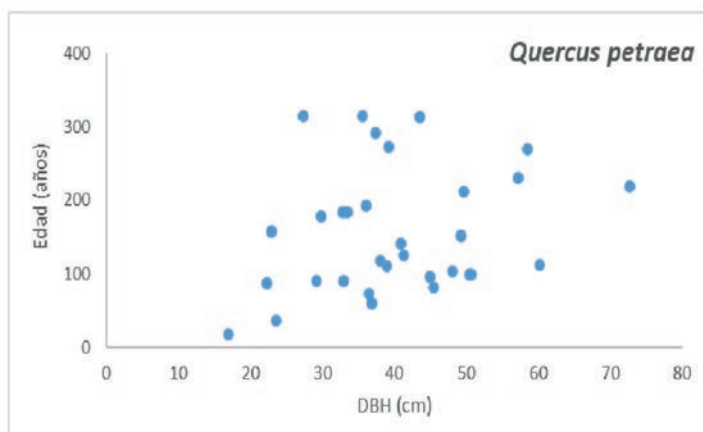


Figura 1: Relación entre el diámetro normal y la edad en una muestra de árboles seleccionada a lo largo del área de distribución de *Quercus petraea* en el Parque Nacional.

En noviembre de 2022 se recolectaron 10-30 bellotas de los árboles seleccionados, que se caracterizaron biométricamente (diámetro, longitud y peso fresco). Posteriormente, se realizó un ensayo de germinación en 25 semillas por árbol, bajo condiciones controladas (en bandejas con perlita, 20-28° C). Se tomaron diariamente datos de: emergencia de la raíz, aparición del epicotilo, y aparición

de los primeros órganos fotosintéticos (POF), estimándose los siguientes parámetros: (1) Germinación diaria máxima, Nascencia máxima y aparición de primeros órganos fotosintéticos; (2) Porcentaje de germinación, nascencia y aparición de cotiledones; (3) Tiempo para alcanzar germinación total, nascencia, y aparición de los POF final; (4) Tiempo para alcanzar la máxima germinación, nascencia y aparición de los POF máximos diarios; (5) Tiempo medio para alcanzar el 50% de la Germinación total; (6) Energía de la germinación; (7) Valores de la Germinación según Czabator y Djavanshir & Pourbelk; (8) Curvas de Germinación. Se determinó el efecto de la clase diamétrica y los efectos inter e intrafamiliar mediante un modelo mixto y test de Tukey de comparación de medias. Se calcularon las correlaciones entre los caracteres biométricos de las semillas y los porcentajes de germinación y emergencia acumulados. Los valores de germinación acumulada se ajustaron a una función logística (Torres & Frutos, 1989): $G=A/(1+e^{\beta-kt})$.

RESULTADOS

Los datos de los atributos biométricos de las semillas mostraron una gran variabilidad inter e intrafamiliar ($P<0.001$). Se registraron valores medios de 3,5 g de peso fresco, 22,9 mm de longitud y 23,3 mm de diámetro de las semillas. El efecto de la clase diamétrica sobre los atributos biométricos de las semillas (longitud, diámetro y peso) sólo resultó significativo para el diámetro de la semilla ($P=0,05$), con valores mayores en los árboles de la clase diamétrica superior. Los porcentajes finales de germinación fueron del 71,9%, con una gran variabilidad interfamiliar ($P<0,05$) (Figura 2). Se encontraron diferencias significativas

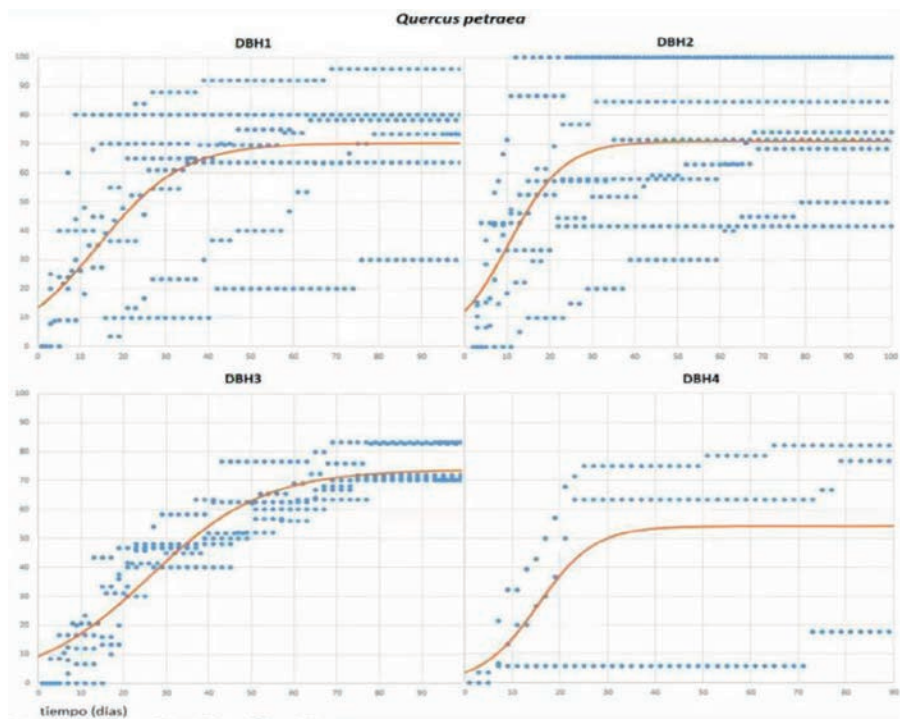


Figura 2: Resultados de germinación acumulada final por clase de diámetro (porcentaje final)

en el tiempo para alcanzar la máxima germinación diaria ($T_{max G}$; $P = 0,031$), con valores mayores en los árboles de mayor diámetro.

Los parámetros de nascencia y aparición de los órganos fotosintéticos calculados para cada clase diamétrica también mostraron gran variabilidad interfamiliar. Se han observado diferencias significativas en el tiempo para alcanzar la nascencia diaria máxima ($T_{max N}$, $P = 0,098$) y la aparición de los POF máxima ($T_{max C}$, $P = 0,071$), requiriendo más tiempo para alcanzar estos eventos los árboles de mayor diámetro (clase diamétrica DBH4).

El análisis de correlación mostró que a mayor longitud de la semilla se requirieron mayores tiempos total de germinación, total de nascencia, de nascencia diaria máxima, total de aparición de los POF y de aparición de los POF diaria máximo. También se encontró un menor valor de germinación las semillas de mayor longitud.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se ha observado una elevada variabilidad intrafamiliar, indicando un fuerte efecto materno no genético, relacionado con las limitaciones fisiológicas en el reparto de recursos dentro del mismo individuo (Pardos et al., 2020). Las semillas de mayor tamaño se registraron en los árboles de mayor diámetro, aunque no estuvo acompañado de un aumento en el peso fresco, a pesar de estar dichos parámetros correlacionados. La germinación y nascencia están fuertemente ligadas a factores ambientales (Xu et al., 2016) y genéticos (Mao et al., 2014), pudiendo ser estos más influyentes que la edad del árbol. En este estudio, el diámetro del árbol (como proxy de la edad) no afectó a la germinación, tal como se ha obtenido en otras especies (ej. Alejano et al. 2019; Pardos et al. 2022). La germinación fue lenta y las semillas germinadas procedentes de los árboles de mayor diámetro tardaron más en la nascencia y la aparición de los POF. Una germinación y emergencia más lenta puede suponer una mayor dispersión, pero también una mayor probabilidad de que las semillas sean predadas (Calama et al., 2017) y una desventaja al compartir espacio con especies más competitivas, como *Fagus sylvatica* que desplaza a *Quercus petraea* (Rozas, 2002; Rubio-Cuadrado et al., 2019). Las semillas de mayor longitud han tenido una germinación y emergencia más lenta, así como un menor valor de germinación. Sin embargo, un mayor tamaño de las semillas en *Quercus* no siempre es beneficioso en términos de regeneración, puesto que tienen una mayor incidencia de depredación post-dispersión (Gómez, 2004). Se concluye que se mantiene la capacidad reproductiva de la especie aún en las fases de envejecimiento de la misma, lo que asegura su persistencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alejano, et al (2019). The age of black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco) mother trees has no effect on seed germination and on offspring seedling performance. *Ann For Sci*, 76 (1), 15.

Calama, R. et al. 2017. Natural regeneration in Iberian pines: A review of dynamic processes and proposals for management. *For Syst*, 26: eR02S


Czabator, F.J. (1962) Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *For Sci*, 8 (4), 386–396.

Djavanshir, K. & Pourbeik, H. (1976) Germination value-A new formula. *Silvae Genetica*. 25(2), 79–83



- Frelich LE. 2002. Forest dynamics and disturbance regimes, studies from temperate evergreen–deciduous forests. Cambridge University Press, Cambridge
- Manion, P.D. 1991. Tree Disease Concepts, 2nd ed. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, USA.
- Mao, Pet al. (2014). Effects of Age and Stand Density of Mother Trees on Early *Pinus thunbergia* Seedling Establishment in the Coastal Zone, China. The Scientific World Journal, 2014
- Mukassabi TA, Polwart A., Coleshaw T, Thomas PA. 2012. Scots pine seed dynamics on a waterlogged site. *Trees* 26: 1305-1315.
- Pardos, M. et al (2020). Efecto del envejecimiento sobre la capacidad reproductiva de *Quercus suber* en bosques maduros de espacios protegidos. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 45(3), 19-36.
- Pardos, M., et al. (2022). Does the Age of *Pinus sylvestris* Mother Trees Influence Reproductive Capacity and Offspring Seedling Survival? *Forests*, 13(6), 937.
- Pemán, J., et al. (2012). Producción y manejo de semillas y plantas forestales: Tomo I. Naturaleza y parques nacionales. Serie forestal
- Pukkala and Kölstrom, 1992. A stochastic spatial regeneration model for *Pinus sylvestris*. *Scand. J. For. Res.* 7: 377-385.
- Torres, M. C. & Frutos, G. (1989). Analysis of germination curves of aged fennel seeds by mathematical models. *Environ Exp Bot*, 29(3), 409-415.
- Xu, Y. et al (2016). Germination and early seedling growth of *Pinus densata* Mast. provenances. *J For Res* 27(2): 283-294.







LOS UNGULADOS SILVESTRES Y EL LOBO EN EL PARQUE NACIONAL DE LA SIERRA DE GUADARRAMA

Fernando Horcajada. Centro de Investigación, Seguimiento y Evaluación.
Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama.

Isabel Barja. Universidad Autónoma de Madrid. Dpto. Biología, Unidad Zoología.
isabel.barja@uam.es



El asentamiento de las poblaciones de lobo durante los últimos años en el Parque Nacional, ha modificado el equilibrio poblacional de los ungulados silvestres en general y de las poblaciones de corzo en particular. Gracias a la colaboración establecida entre el Centro de Investigación del Parque Nacional y la Universidad Autónoma de Madrid, se ha podido analizar este delicado equilibrio. El análisis microscópico de los patrones cuticulares de los pelos encontrados en más de 900 excrementos de lobo, han desvelado que durante los últimos 7 años de seguimiento, el corzo pasa en pocos años de ser la presa principal del lobo, presente en más del 50% de los excrementos, a ser una presa residual (9% en 2022), sustituida por el jabalí, con una presencia del 65% en los excrementos recogidos en 2022. Aunque la suma de corzos y jabalíes consumidos por el lobo se ha mantenido estable durante estos 7 años, las frecuencias entre las dos especies han ido variando sustancialmente. En relación a la cabra montés, y a pesar de ser el ungulado silvestre más abundante, la frecuencia de aparición sigue siendo muy baja, en torno al 5%, manteniéndose estable durante estos siete años. En la actualidad en el Parque Nacional se considera prioritaria la conservación de las poblaciones de ungulados, ya que algunos de ellos, podrían verse afectados por este escenario multipresa, en caso de no replantear medidas de mitigación y adaptación a esta nueva situación.



The settlement of wolf populations in recent years in the National Park, has modified the population balance of wild ungulates in general and roe deer populations in particular. Thanks to the collaboration established between the National Park Research Center and the Universidad Autónoma de Madrid, it has been possible to analyze this delicate balance. The microscopic analysis of the cuticular patterns of the hairs found in more than 900 wolf faecal sample, has revealed that during the last 7 years of monitoring, the roe deer goes from being the main prey of the wolf, present in more than 50% of faeces, to become residual prey (9% in 2022), replaced by the wild boar, with a presence of 65% in the fecal samples collected in 2022. Although the sum of roe deer and wild boar consumed by the wolf has remained stable during these seven years, the frequencies between the two species have been varying substantially. In relation to the Spanish Ibex, and despite being the most abundant wild ungulate in the park, the frequency of appearance remains very low, around 5%, remaining stable during these 7 years. Currently, the conservation of ungulate populations is considered a priority in the National Park, since some of them could be affected by this multi-prey scenario, if mitigation and adaptation measures are not reconsidered to this new situation.



CONTROL POBLACIONAL DEL LOBO Y DEPREDACIÓN SOBRE EL GANADO EN EL PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA

Ángel Serdio
Consejería de Desarrollo Rural, Ganadería, Pesca y Alimentación del
Gobierno de Cantabria.

La gestión de las poblaciones del lobo viene siendo fuente de gran controversia, especialmente en lo referente a su coexistencia con la actividad humana y del conflicto que suponen los daños causados por la especie a la ganadería.

Con la aprobación de la Orden TED/980/2021, de 20 de septiembre, por la que se modifica el Anexo del Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas, que incluyó todas las poblaciones de lobo en el Listado de Especies en Régimen de Protección Especial (LESPRE), se han endurecido las medidas de control de ejemplares de la especie, que suponían una de las en las que se basaba el modelo de gestión que se venía realizando en el PNPE, donde se ha mantenido una población estable y en un estado de conservación favorable, que actualmente está compuesta por al menos 6 grupos familiares, pese a que se han controlado un total de 180 ejemplares de lobo desde 1986, fecha de su recolonización de los territorios del Parque Nacional .

Aunque Cantabria, con algo más de 15300 ha, únicamente representa el 22.8% de la superficie del PNPE su cabaña ganadera aporta el 35% del total, con especial predominancia de la reciella, que supone el 44.6% del total. En el presente trabajo se analizan los daños a la ganadería producidos por el lobo en los tres municipios cántabros que aportan territorio al PNPE y el efecto que sobre los mismos del control poblacional sobre el lobo para el periodo 2011-2022, periodo en el que se han producido un total de 692 ataques con el resultado de 2103 cabezas muertas y se han realizado un total de 37 controles letales sobre ejemplares de la especie.

Los resultados indican que el control poblacional selectivo de un número determinado de ejemplares reduce la depredación puntual, que puede ser localmente significativa al estar focalizada sobre explotaciones determinadas o lugares concreto, a la vez que mantiene los niveles de población garantizando el mantenimiento de la especie en un estado de conservación favorable y compatibilizando la presencia de la especie con el desarrollo de la ganadería extensiva.



ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE DISPERSIÓN DE LAS COMUNIDADES ALPINAS ENTRE Y DENTRO DE MACIZOS DE LA CORDILLERA CANTÁBRICA, Y SUS POSIBLES CONSECUENCIAS EN UN CONTEXTO DE CALENTAMIENTO GLOBAL

Peña, R., Obeso, J.R., Illera J.C., and Laiolo P.

Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (CSIC-Universidad de Oviedo-Principado Asturias), Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, Asturias.

Resumen

El calentamiento global está desplazando el óptimo bioclimático de las especies hacia las cimas de las montañas, pero la capacidad de los organismos para seguir estos cambios depende de sus habilidades dispersivas. Aquí, estudiamos la variación de rasgos morfológicos indicadores de la capacidad de dispersión en comunidades de montaña a lo largo del gradiente altitudinal, y evaluamos cómo afecta este proceso al intercambio de especies a lo largo de las laderas montañosas y entre cumbres aisladas. Para ello, nos centramos en diferentes taxones presentes en la Cordillera Cantábrica, incluyendo el Parque Nacional de los Picos de Europa. Estos taxones se caracterizan por poseer alto (aves y líquenes) e intermedio-bajo potencial de dispersión (saltamontes y abejorros). Las especies de alta montaña de los taxones muy móviles, i.e. aves y líquenes, presentaron rasgos que sugieren un elevado potencial de dispersión (p. ej. formas de alas puntiagudas o propágulos pequeños que favorecen la dispersión a larga distancia); mientras que las especies que ocupan zonas más bajas son, en términos relativos, potencialmente más limitadas en su movimiento (p. ej. alas más redondeadas o propágulos de mayor dimensión) que las especies de alta montaña. En alta montaña, las especies de abejorros y saltamontes presentaron rasgos que limitaban la dispersión (p.ej. apterismo o alas más cortas) respecto a sus congéneres de baja altitud, siendo éstas buenas voladoras. Este resultado sugiere que el desplazamiento a lo largo de las laderas para saltamontes y abejorros sería más fácil que el movimiento entre cumbres, ya que sólo las especies de baja altitud serían mejores dispersantes. En los líquenes y las aves encontramos el patrón opuesto, en el cual los mejores dispersantes, en términos relativos, los encontramos entre las especies que habitan en altitudes mayores. Estos resultados indican distintas presiones selectivas a lo largo del gradiente altitudinal, que serían responsables de la diferenciación de características fenotípicas, entre ellas, aquellas asociadas a la dispersión. Así, el proceso de dispersión finalmente influenciaría la composición de las comunidades y su riqueza de especies. Por un lado, para abejorros y saltamontes las montañas representarían “islas”, ya que las especies alpinas no pueden desplazarse entre cumbres; si bien las especies de los valles sí podrían alcanzar refugios climáticos a lo largo del gradiente altitudinal. Por otro lado, las montañas podrían funcionar como “barreras” para aves y líquenes de baja altitud, mientras que las especies que habitan las cumbres estarían mejor conectadas entre sí a través de movimientos dispersivos de larga distancia.



Abstract

Climate warming is shifting the bioclimatic optima of species towards mountain-tops, but the ability of organisms to track these changes also depends on their dispersal abilities. Here, we studied the variation along elevation of morphological traits that are proxies of dispersal skills, assessing how differences in dispersal abilities of species affect the interchange of species along mountain slopes and between isolated summits. We focused on different taxa inhabiting the Cantabrian Mountains and Picos de Europa National Park, representing groups with potentially very high (birds and lichens) or intermediate-low (grasshoppers and bumblebees) dispersal skills. In birds and lichens, although all species had high absolute dispersal potential, in relative terms species from higher elevations exhibited traits values that favoured dispersal more than species from low altitudes (e.g., wing shapes or propagules favouring long distance movements in upland species). Conversely, both grasshoppers and bumblebees from high elevations had traits limiting dispersal (e.g., wingless or relatively short wings), while low-altitude species had traits that were more favourable for dispersal (e.g., long-wings in lowlands). Consequently, in birds and lichens the biotic interchange of high-altitude species between isolated summits is less limited than upland shifts. In grasshoppers, movements among summits are instead more constrained than upland shifts. These results reveal that the structure of mountain communities is conditioned by the dispersal limitations of some of its inhabitants and has implications for species conservation in warming climates. Thus, mountains are “islands” for insects, since there is little potential for movement between summits, although they can reach climatic refuges along the altitudinal gradient, but at the same time, mountains represent “barriers” for lichens and birds, as movements of lowland species towards mountain peaks are more constrained than movements of high-altitude species, between peaks.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático causado por la actividad antrópica está provocando un aumento generalizado de las temperaturas globales, junto a cambios en los patrones altitudinales de diversos factores abióticos (p.ej. gradiente vertical de temperatura, precipitación, etc.). En este contexto, la migración altitudinal es o será un fenómeno obligado para muchas especies, que a través de este comportamiento hacen frente a los desafíos cambiantes que presentan los nuevos escenarios climáticos. Los sistemas de montaña, debido a su limitada superficie, son particularmente sensibles a estas variaciones. Concretamente, a medida que el clima se vuelve más cálido, las especies presentes en los valles de las montañas están ampliando su rango de distribución hacia cotas más altas, y, por el contrario, las especies de alta montaña están viendo reducida su área de distribución, restringiéndose ésta hacia las cumbres montañosas.

Los gradientes ambientales ofrecidos por las montañas proporcionan un contexto singular para estudiar la evolución de adaptaciones, así como para entender el reemplazamiento de especies a lo largo del gradiente altitudinal. Las características de las especies (i.e., rasgos funcionales como son los morfológicos, comportamentales o fisiológicos) evolucionan en respuesta a las presiones ambientales locales y, a su vez, determina la distribución de las especies y, por ende, la estructura de las comunidades. A parte de los filtros ambientales, la dispersión (i.e. movimiento



de individuos o sus propágulos) permite a los organismos rastrear condiciones ambientales óptimas, por lo que representa un mecanismo de resiliencia frente a ecosistemas con condiciones cambiantes. Es importante señalar que no todas las especies están presentes en todos aquellos lugares ecológicamente adecuados para ellas, por diferentes motivos, siendo uno de ellos sus diferentes capacidades de dispersión (p.ej. rasgos como el tamaño de semilla o la longitud de las alas). Así, la presencia de rasgos específicos relacionados con el potencial de dispersión de los organismos podría aumentar su probabilidad de colonizar nuevos hábitats o zonas remotas, así como de conectar poblaciones geográficamente aisladas, como podrían ser las cumbres en los sistemas alpinos. En este sentido, conocer las características de las especies colonizadoras, como, por ejemplo, aquellos rasgos relacionados con la dispersión, es determinante para predecir los cambios en las comunidades y las posibles consecuencias funcionales para el ecosistema. En este estudio presentamos en conjunto los resultados de investigaciones en diferentes taxones que habitan la Cordillera Cantábrica, incluyendo el Parque Nacional de Picos de Europa, caracterizados por presentar diferente potencial dispersivo (Laiolo et al. 2023, y Peña et al. 2023). Por un lado, estudiamos aves y líquenes, que tendrían, potencialmente, elevadas capacidades dispersivas; mientras que saltamontes y abejorros, a priori, caracterizarían a grupos con dispersión limitada. Así, presentamos resultados relativos a la variación de rasgos morfológicos indicadores de la capacidad de dispersión de comunidades de montaña con la elevación, y evaluamos cómo afecta el proceso de dispersión al intercambio de especies a lo largo de las laderas montañosas y entre cumbres aisladas.

2. MÉTODOS

2.1 Sistema de estudio

Nuestro estudio se centró en la Cordillera Cantábrica, que ofrece un extenso gradiente altitudinal que abarca desde el nivel del mar hasta los 2650 m s. n. m. En concreto, nos centramos en las zonas más elevadas de estas montañas, que comprenden los tres macizos de Picos de Europa y las circundantes sierras de Corisco y Montaña Palentina. Esta región muestra una variedad de hábitats caracterizadas por las secuencias altitudinales de los principales pisos de vegetación (p. ej., bosque caducifolio-mixto, pastizal, matorral), y el efecto de presiones antrópicas seculares (tala histórica, uso del fuego, y ganadería extensiva). Las características topográficas y de vegetación se comparten entre pisos térmicos. En concreto, la baja y media montaña se caracterizan por la presencia de restos de bosques que contienen fragmentos de tamaño variable de bosque primario y, más comúnmente, bosque secundario que incluye árboles caducifolios y perennes, integrados en una extensa matriz de pastizales con prados pedregosos y brezales. A mayor altitud, los fragmentos de bosque acaban desapareciendo, dominando los pastizales alpinos que forman manchas interconectadas interrumpidas por rocas escarpadas calizas, silíceas o mixtas.

Las comunidades animales estudiadas se corresponden con dos grupos de insectos (saltamontes y abejorros) y un grupo de vertebrados (aves). Para ello se muestrearon las especies presentes en más de 400 parcelas circulares de 100 m de radio a lo largo de todo el gradiente altitudinal durante el periodo comprendido entre 2009- 2021 (Laiolo et al., 2020). El área muestreada albergó 72 especies de aves, 35 especies de saltamontes y 24 especies de abejorros (sin incluir a los

abejorros cucos). Para los líquenes, utilizamos inventarios de especies publicados sobre la presencia de líquenes a lo largo de la Cordillera Cantábrica (Aragón et al., 2006; De la Torre Fernández & Fernández Ordóñez, 2000; Peña et al. 2023), que incluían un total de 587 especies presentes en 84 parcelas situadas en los tres macizos de Picos de Europa.

2.2 Rasgos indicadores del potencial de dispersión de las especies

Como indicador de la capacidad de dispersión de aves e insectos utilizamos una medida del ala relacionada con las habilidades de vuelo de estos organismos. En primer lugar, para las aves utilizamos el índice mano-ala (Hand-Wing Index, HWI). Este índice relaciona la distancia entre la primera pluma secundaria y la punta de la primaria más larga (esta medida se la conoce como la distancia de Kipp) y la longitud de cuerda alar total. Esta métrica está asociada positivamente a la distancia de dispersión. Así, especies con vuelos largos y frecuentes tienden a tener alas más estrechas y puntiagudas, mostrando un HWI alto; mientras que alas redondeadas están relacionadas con vuelos más cortos y mejor maniobrabilidad. Los datos de esta medida fueron obtenidos de repositorios públicos (Tobias et. al 2022). Para saltamontes y abejorros, estimamos la longitud relativa de las alas de cada especie a partir de medidas en especímenes recolectados en el área de estudio. Esta medida fue calculada como la distancia desde la región axial hasta el ápice del ala anterior, dividida por un indicador del tamaño corporal (i.e., la longitud total del cuerpo en saltamontes y la anchura del tórax en abejorros). En este caso, la longitud relativa del ala está positivamente relacionada con un mayor potencial de dispersión. Como estimas del potencial de dispersión para las comunidades de cada taxón presentes en cada parcela, calculamos de manera independiente la media ponderada de la comunidad de los valores de HWI para aves (CWM-HWI), y de la longitud relativa de las alas para saltamontes y abejorros.

Los líquenes son organismos complejos formados por la relación simbiótica de un hongo heterótrofo y un alga autótrofa o cianobacteria. Como aproximación a su capacidad de dispersión, nos centramos en el tipo de diásporas o propágulos, estrechamente relacionados con la estrategia reproductiva. Éstos pueden mostrar reproducción sexual, que se produce a través de esporas que sólo portan el hongo, o también reproducción vegetativa, producida a través de diversos propágulos (p.ej., soredios, isidios o fragmentos vegetativos del talo) que en este caso portan a ambos simbiontes simultáneamente. La dispersión de los líquenes es producida principalmente por el viento (anemocoria), por lo que la spora, más pequeña que los otros propágulos vegetativos ($< 20 \mu\text{m}$ frente a $50 \mu\text{m} - 1 \text{mm}$), permite mayores distancias de dispersión. Por tanto, clasificamos las especies de líquenes que presenten principalmente reproducción sexual (i.e., esporas), como aquellas que tendrán un mayor potencial de dispersión, y por otro lado, líquenes que presenten principalmente reproducción con propágulos vegetativos, como taxones con un limitado potencial dispersivo. A partir de esta clasificación, estimamos la proporción de líquenes dispersados por esporas dentro de cada parcela (CM-espora).

2.3 Análisis de datos

Evaluamos el efecto de la elevación en la variación de rasgos funcionales específicos relacionados con la dispersión ajustando un Modelo Lineal Mixto Generalizado (GLMM) para cada grupo taxonómico. Adicionalmente, para los taxones con

alto potencial de dispersión en Picos de Europa (i.e., aves y líquenes), exploramos el intercambio de especies entre las comunidades presentes a lo largo de la ladera (i.e., entre media y alta montaña), y entre las de cumbres aisladas, aplicando un algoritmo basado en permutaciones (PER-SIMPER) y un índice de dispersión-nicho continuo (DNCI; Gibert & Escarguel, 2019). El parámetro DNCI nos informa sobre el efecto de la limitación de dispersión en la estructura de la comunidad. Así, valores muy negativos de DNCI indicarían una mayor limitación de dispersión que, por cambios en las características ambientales, y por tanto por procesos ligados al nicho ecológico.

3. RESULTADOS

En relación a la variación de rasgos específicos de dispersión con la elevación, detectamos dos patrones diferentes, siendo cada uno de éstos compartido entre taxones con similares habilidades de dispersión. En primer lugar, tanto saltamontes como abejorros, es decir, organismos con un potencial de dispersión bajo y/o intermedio, exhibieron una disminución de la capacidad de dispersión al incrementar la elevación (Fig. 1a-b). En otras palabras, las especies de abejorros y sal-

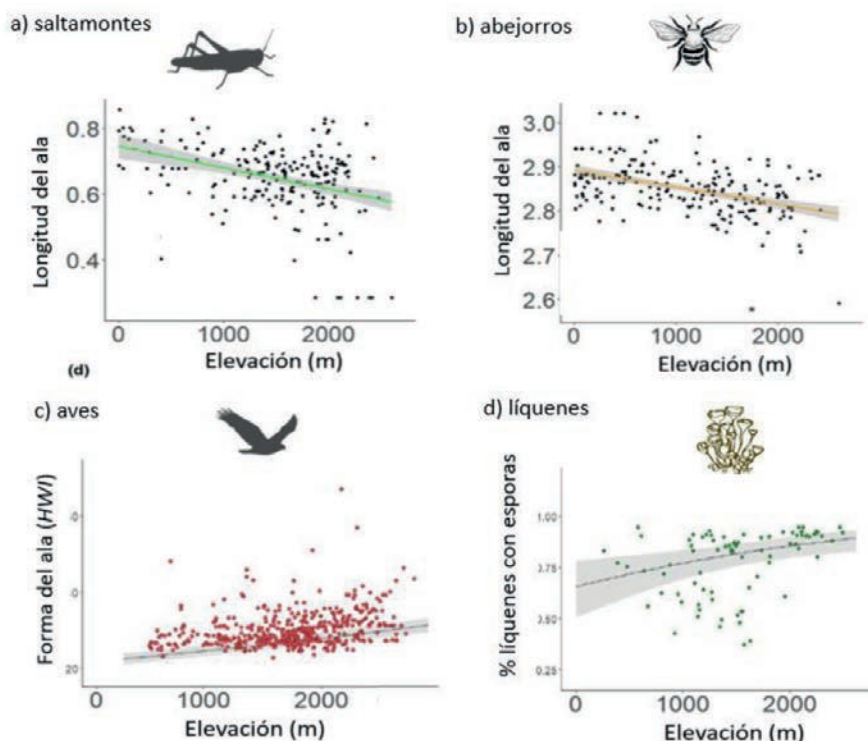


Figura 1: Relación de la variación de rasgos morfológicos indicadores de la capacidad de dispersión de comunidades de montaña con la elevación en diferentes grupos taxonómicos. Los rasgos específicos utilizados fueron la longitud relativa del ala en saltamontes y abejorros (a,b), la forma de ala (HWI) en aves (c), y la proporción (%) de líquenes con esporas (d) en cada uno de las comunidades locales. Los puntos representan la media ponderada de la comunidad de especies local presentes en cada parcela de los valores de rasgos específicos de dispersión (información detallada en métodos). Las líneas de tendencia indican relaciones estadísticamente significativas entre las variables tras ajustar modelos mixtos lineales generalizados (GLMM). Figuras modificadas de Laiolo et al. 2023 y Peña et al. 2023.

tamontes de alta montaña tenían rasgos que limitaban su desplazamiento (p. ej. apterismo o alas más cortas) con respecto a especies de baja altitud, siendo estas últimas mejores voladoras. En segundo lugar, en aves y líquenes, organismos con un alto potencial dispersivo, encontramos el patrón opuesto, donde las especies de alta montaña mostraron un mayor potencial de dispersión que aquellas que están en los valles de las montañas (Fig. 1c-d). Es decir, las comunidades de aves y líquenes de alta montaña incluyen, en términos relativos, elementos con mejores habilidades dispersivas que aquellas que se distribuyen en cotas altitudinales más bajas.

Los análisis de la composición de la comunidad para evaluar el intercambio biótico a lo largo de las laderas y entre cumbres mostraron que las comunidades de aves y líquenes presentes en las cumbres presentaron una mayor conectividad entre ellas, que entre las especies que se encontraban en comunidades de cotas más bajas (DNCI_{alta} < DNCI_{media}; Fig. 2). Es decir, el movimiento entre cumbres sería más fácil que el movimiento a lo largo de las laderas en aves y líquenes, lo que podría ser explicado gracias al mayor potencial de dispersión de las especies alpinas y a que las especies de baja altitud son peores dispersantes.

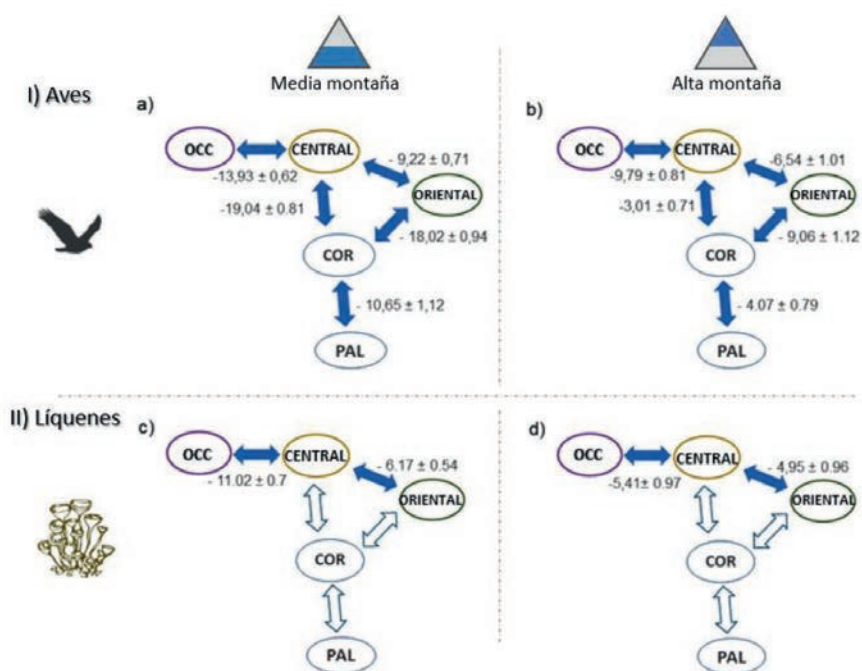


Figura 2: Redes que representan el Índice de Dispersión-Nicho Continuo por pares (DNCI ± SE) entre el cinturón altitudinal de media montaña (izquierda) y el de alta montaña (derecha) para las comunidades locales de I) aves (a y b), y II) líquenes (c y d), construidas a partir de los datos de presencia-ausencia de especies. Los nodos (i.e., los círculos) representan diferentes macizos de la Cordillera Cantábrica: Macizo Occidental (OCC), Central y Oriental de Picos de Europa, y el Corisco (COR) y Montaña Palentina (PAL). Las flechas entre nodos indican el mecanismo de ensamblaje dominante de las comunidades (i.e., valores negativos indican papel dominante del proceso de dispersión). En los líquenes, no se disponía de datos para COR y PAL (flechas rellenas de blanco). Figura modificada de Peña et al. 2023.


DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Factores ambientales y topográficos suponen importantes barreras que impiden el intercambio biótico y la dispersión de organismos, llegando a determinar en gran medida la distribución de las especies en zonas montañosas. Aunque los filtros ambientales se han propuesto como la fuerza dominante de la composición de las comunidades en los ecosistemas de montaña, nuestros resultados demuestran que las comunidades de montaña están afectadas por procesos de dispersión, en concreto, por limitaciones de dispersión, incluso en aquellos taxones que presentan un alto potencial dispersivo. En este sentido, el grado de aislamiento de hábitats locales a lo largo del paisaje, junto a la topografía escarpada de las montañas, puede limitar el desplazamiento de individuos. Además, sin olvidar las diferencias intrínsecas en las capacidades de dispersión de las especies a través de la elevación, las cuales pueden influir sustancialmente en el papel de los procesos relacionados con la dispersión.


En cuanto, a las aves y líquenes, nuestro estudio muestra que las adaptaciones que afectan a la movilidad tienen efectos que se traducen en cambios predecibles en la composición de las comunidades. Concretamente, nuestros resultados revelan que la dispersión tiene una influencia muy importante a la hora de configurar la estructura de las comunidades de montaña, circunstancia que podría tener implicaciones en el contexto actual de cambio global. La disminución de las presiones ambientales podría inducir movimientos ascendentes de las especies que ocupan las cotas altitudinales bajas, así como modificar también el intercambio biótico entre las cumbres de diferentes elevaciones, pero estos procesos diferirán según el potencial de dispersión del taxón, pero también dentro de éste, entre las especies de baja y alta montaña. Por un lado, para abejorros y saltamontes las montañas representarían “islas”, ya que las especies alpinas no pueden desplazarse entre cumbres, pero las especies de los valles sí podrían alcanzar refugios climáticos a lo largo del gradiente altitudinal. Por otro lado, las montañas serían más similares a “barreras” para las aves y los líquenes de baja altitud, mientras que las cumbres parecen estar mejor conectadas para las especies de alta montaña que presentan un mayor potencial de dispersión.

Referencias:

- Aragón, G., Martínez, I., Burgaz, A. R., Belinchón, R., Prieto, M., & Otálora, M. A. (2006). Inventariación de la diversidad líquénica del Parque Nacional de los Picos de Europa. *Proyectos de Investigación En Parques Nacionales 2006*, 77-104 (20).
- De la Torre Fernández, F., & Fernández Ordóñez, M. C. (2000). Catálogo de líquenes de Asturias. *Acta Botanica Malacitana*, 25 (1996), 45-59. <https://doi.org/10.24310/abm.v25i0.8471>
- Gibert, C., & Escarguel, G. (2019). PER-SIMPER—A new tool for inferring community assembly processes from taxon occurrences. *Global Ecology and Biogeography*, 28(3), 374-385. <https://doi.org/10.1111/geb.12859>
- Peña, R., Obeso J.R., & Laiolo P., 2023. Dispersal constrains the biotic connectivity of mountain assemblages (enviado).
- Laiolo, P., Illera, J.C. & Obeso, J.R., 2023. Stuck on top of a mountain: Consequences of dispersal limitations for alpine diversity. *Journal of Biogeography*, 50(2), pp.282-290. <https://doi.org/10.1111/jbi.14513>
- Tobias, J. A., Sheard, C., Pigot, A. L., Devenish, A. J. M., Yang, J., Sayol, F., Neate-Clegg, M. H. C., Alioravainen, N., Weeks, T. L., Barber, R. A., Walkden, P. A., MacGregor, H. E.



A., Jones, S. E. I., Vincent, C., Phillips, A. G., Marples, N. M., Montaña-Centellas, F. A., Leandro-Silva, V., Claramunt, S., ... Schleuning, M. (2022). AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. In *Ecology Letters* (Vol. 25, Issue 3, pp. 581–597). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/ele.13898>.



TRABAJOS DE INVENTARIO, SEGUIMIENTO Y MEJORA DE CONOCIMIENTO DE LA COMUNIDAD DE MURCIÉLAGOS EN LOS MONTES DE VALSAÍN (PARQUE NACIONAL SIERRA DE GUADARRAMA)

Marisol Redondo Rodríguez

Centro Montes de Valsain y Cabeza de Hierro. Organismo Autónomo Parques Nacionales.
Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (MITECO).

RESUMEN

Los Montes de Valsaín, localizados en la ladera norte de la sierra de Guadarrama, son dos Montes de Utilidad Pública propiedad del OAPN, que aportan una importante superficie al PN Sierra de Guadarrama, ubicado entre la CCAA de Castilla y León y la CCAA de Madrid.

Desde la Unidad Centro Montes de Valsain y Cabeza de Hierro del OAPN, se llevan a cabo diversos programas de conservación dirigidos a diferentes componentes de la diversidad biológica. Uno de estos programas de trabajo está dirigido al grupo de los murciélagos.


Los primeros trabajos realizados en 2016 perseguían los objetivos principales de conocer con precisión la composición de la comunidad de murciélagos de los Montes de Valsaín, identificar sus amenazas, diseñar un programa de seguimiento y proponer medidas de conservación.

Los datos obtenidos revelaron una importante representación de los murciélagos, tanto por la presencia de un elevado número de especies, más del 70% de las especies presentes en la Península Ibérica, como por su abundancia. Y se diseñó para su seguimiento un programa consistente en estaciones de esfuerzo constante que se muestrean anualmente.

Una de las especies de gran interés y mejor representada es *Nyctalus lasiopterus*. Para mejorar el conocimiento sobre ella, se han llevado a cabo trabajos dirigidos a su ecología espacial, mediante el uso de dispositivos GPS/VHF, y a su ecología trófica, mediante la aplicación de metabardcoding.

Además, se está testando la detección canina como herramienta para obtención de información sobre refugios de murciélagos forestales.







INCIDENCIA DE PATÓGENOS EMERGENTES DE ANFIBIOS EN EL PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA

Jaime Bosch & Barbora Thumsová

IMIB, Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad, CSIC-Universidad de Oviedo-Principado de Asturias. Edificio de Investigación 5ª planta, Universidad de Oviedo, Campus de Mieres, 33600 Mieres.



Los anfibios son los vertebrados más amenazados del planeta y, cada vez más, sus patógenos emergentes específicos se están convirtiendo en una de sus principales amenazas. El PNPE alberga importantes poblaciones de anfibios de hasta 9 especies, pero la afluencia masiva de visitantes y el calentamiento global en las zonas de montaña están favoreciendo la emergencia de dichos patógenos. En 2005 confirmamos las primeras mortalidades masivas de anfibios del parque por virus del género Ranavirus (Rv), y detectamos la presencia del hongo quitridio introducido *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd). En 2007 se estableció un ambicioso programa de seguimiento con objeto de evaluar las tendencias de 25 poblaciones de las especies más abundantes del parque. El análisis de las tendencias poblacionales mostró un acusado impacto de Rv, pero no así de Bd. Por otro lado, la especie hermana de Bd, *B. salamandrivorans*, sigue confinada en España en el área de Barcelona, y aún no se encuentra presente en el PNPE. En los últimos años hemos avanzado en el conocimiento del papel de las distintas especies y fases de desarrollo en la dinámica de la quitridiomycosis y la ranavirosis, y hemos documentado la ocurrencia y las consecuencias de la coinfección por ambos patógenos. Además, hemos comenzado a estudiar la incidencia de estos patógenos en los anfibios del PNPE a nivel de individuo mediante el marcaje con microchip de ejemplares adultos de sapo común y sapo partero común, y dentro de un estudio que incluye todos los parques nacionales de montaña de la España peninsular. Por último, y de forma pionera en el mundo, estamos realizando los primeros ensayos de tratamiento de ejemplares infectados con Rv y de control de la ranavirosis en el medio natural.





SEGUIMIENTO DE LA FAUNA SILVESTRE Y DOMESTICA DESDE UNA PERSPECTIVA VETERINARIA EN EL PNPE DE LOS PICOS DE EUROPA 2018/2023

Gloria González (Veterinaria Senior Tragsatec, A.T. PNPE)
Miguel Menéndez (Biólogo/Ex – Director Adjunto del PNPE/Jubilado)

RESUMEN

En 1992 planificamos un banco de informes sobre el P. N. de la Montaña de Covadonga y de los Picos de Europa iniciando la labor para obtener datos de múltiples orígenes y abrir carpetas con nuevos registros en campos muy variados. En 1995 se incorpora una asistencia técnica Veterinaria, que ha seguido el espíritu del plan. Lo planificado y sobrevenido y el apoyo del mundo de la conservación y la ganadería, han complementado esta empresa.

En 2008 y 2018 se publican dos documentos. El 17/10/2023 presentamos la 3ª entrega 2018/2023, una tarea continuada de actuaciones discontinuas.

En el campo de la Fauna Silvestre: seguimiento de la sarna sarcóptica; estudios coprológicos en lobos; necropsias en animales silvestres muertos por diferentes causas, incluidos lobos de controles de población; muestras de jabalíes de controles para establecer la presencia de enfermedades; traslado de animales a centros de recuperación; estudios de garrapatas, identificación y papel como transmisoras de enfermedades; seguimiento del cangrejo de patas blancas en ríos y lagos del P.N.; y otras actividades como: estudios de culicoides en relación con la lengua azul; carbunco bacteridiano en ganado bovino, etc., que nos enlaza con... el campo de la fauna doméstica y actividades asociadas, trabajos como: censos ganaderos completos 1992/2023; conteo "in situ" del ganado en el interior del P.N.; encuestas a ganaderos para conocer el manejo del ganado y su casuística y sus opiniones en relación al P.N. y la fauna.

Hay pues, un enorme banco de informes en las oficinas del parque nacional.

Esta ponencia no trata de una investigación académica, sino de un trabajo con metodología científica en múltiples actividades para beneficio de investigadores y gestores. Con ella se cubren 31 años (1992/2023) de información rigurosa con método completo al uso.

SUMMARY

In 1992, a databank was planned for the National Park of the Montaña de Covadonga and the Picos de Europa, to collect data from multiple sources and to organize it. In 1995, Veterinary Technical Assistance was incorporated, which has continued with the aim of the plan. The work planned and unexpected, and the support of professionals from the conservation and livestock industry, have complemented this task.

In 2008 and 2018, two documents were published. The 10/17/2023 we present the 3rd installment 2018/2023, a continuous activity of discontinuous actions.

In the field of wildlife: monitoring of sarcoptic mange; stool studies in wolves; necropsies on wild animals dead due to different causes (including wild wolves population controls); wild boar samples from controls to establish the presence of diseases; transference of animals to recovery centers; tick studies, identification

and role as disease transmitters; white-clawed crayfish tracking in rivers and lakes of the National Park; and other activities such as: studies of culicoides in relation to the bluetongue disease; bacterial anthrax in cattle, etc. This takes us to the field of domestic fauna and associated activities, in which works such as were carried out: livestock census 1992/2023; in situ counting of cattle inside the National Park; surveys to farmers to learn about the management of livestock and its casuistry and their opinions in relation to the National Park and fauna. There is, therefore, a huge number of files in the offices of the National Park. This presentation is not about academic research but a dissertation with scientific methodology in multiple activities for the benefit of researchers and managers. This covers 31 years (1992/2023) of rigorous information following a systematic investigation.

OBJETIVOS

Esta ponencia trata de un trabajo llevado a cabo entre 2017 y 2023, que continúa, y realizado con metodología científica, en el marco de múltiples actuaciones, los ámbitos de la veterinaria y la conservación, para beneficio de investigadores interesados en profundizar en ellos.

MATERIAL, METODOS Y RESULTADOS:

Todas las acciones se desarrollan en el interior del Parque Nacional de los Picos de Europa (=PNPE). Encada caso el método se cita y los resultados están a disposición, por lo ingente de su volumen. La presentación se separa en dos grupos que lógicamente están imbricados:

Fauna silvestre

Sarna sarcóptica en el rebeco (*Rupicapra pyrenaica parva*)

Desde que se observó el primer rebeco afectado de sarna sarcóptica en el interior del PNPE en diciembre de 1999, hasta finales del primer semestre de 2023 se ha informado de la presencia de 514 rebecos, enfermos, muertos y abatidos (animales en fase terminal de la enfermedad). El número de rebecos enfermos o vistos con lesiones de sarna fue en ligero aumento entre los años 2000-2003, lo que se podría considerar la primera fase de la enfermedad. En el periodo 2004-2005 se produce un incremento importante en el número de ejemplares de rebeco afectados por el proceso parasitario, coincidiendo con la presencia de rebecos enfermos en nuevas zonas, concretamente en Amieva, Asturias. En el año 2013 se produce el mayor número de rebecos enfermos y muertos por el proceso parasitario en el conjunto del área de distribución; en este momento la enfermedad ha colonizado nuevas zonas del PNPE concretamente las Vegas de Sotres en el Macizo Central. Posteriormente, se han visto animales con lesiones compatibles con sarna todos los años, pero de forma ocasional, hasta que en el año 2023 se ha detectado un pequeño repunte en el número de rebecos afectados respecto de los últimos años. Analizando los datos obtenidos se ve que la enfermedad sigue una evolución cíclica, que podría ser esperada respecto a lo sucedido en otros lugares, y que en el caso del PNPE los ciclos han sido de aproximadamente 10 años.

En lo referente a la edad y sexo, hasta el momento, ha sido mayor la proporción de machos adultos afectados que el de hembras adultas, y el de jóvenes y crías. La estación en la que más ejemplares enfermos se observan es en la primavera.

En lo referente a la distribución del proceso parasitario sobre el territorio, la enfermedad se ha ido propagando, casi anualmente, en forma de mancha de aceite, de oeste a este, hasta alcanzar en 2016 las 50.400 Ha del P.N. Así se mantuvo hasta el primer semestre del presente año que alcanzó las 51.100 Ha, correspondientes a casi el 80% de la superficie total del PNPE.

Como es sabido, la sarna sarcóptica puede afectar a otras especies silvestres, así se han visto afectados lobos, zorros y ciervos.

Estudios coprológicos. Análisis de heces de lobo (*Canis lupus signatus*).

La coprología parasitaria puede ofrecer una buena alternativa a los estudios sanitarios a través de la detección de formas parasitarias que se eliminan con las heces de los hospedadores.

La presencia de parásitos está en la mayoría de los casos determinada por varios factores, como son el tipo de dieta, el hábitat, las relaciones con otras especies, la época del año y las variaciones dentro de la misma especie influidas por la edad y el sexo de los animales. Es por ello que el objeto del estudio es obtener información sobre “la helmintofauna que realmente soporta una determinada población hospedadora”. En este caso concreto, las poblaciones de lobo del PNPE. El estudio realizado tiene como base el análisis de 53 muestras de heces frescas recogidas, en el periodo de 2 años, en toda la superficie del PNPE. Los resultados obtenidos son los siguientes:

El 66%; es decir, 35 muestras, contenían elementos parasitarios, identificándose 7 géneros de parásitos: 1 protozoo, 1 cestodo (*Dipylidium* spp) y, 5 nematodos (*Ancylostoma* spp, *Trichuris* spp, *Urcinaria* spp *Toxascaris* spp y *Strongyloides* spp). Siendo el más abundante *Ancylostoma* spp. (fam. *Ancylostomatidae*) con el 54,5% y los menos, *Urcinaria* spp) con el 1,8%. El 36,6% de las muestras, no presentaban ningún parásito. Destacar un individuo en el que se aislaron 228 *Strongyloides*/gramo de heces (las infecciones por estos nematodos pueden llegar a producir inmunodepresión, diarreas importantes y pérdida de peso, pudiendo ser, además, ser concomitantes con otras patologías, empeorando éstas).

Las infecciones mixtas, hasta por un máximo de cinco especies se encontraron en 2 de las muestras estudiadas y las simples (un solo parásito) también en una sola muestra.

En 3 de los excrementos se observaron huevos y ninfas del ácaro *Demodex* spp. Este parásito es habitante normal de la piel de los cánidos, ya que se ha adaptado a vivir dentro de los folículos pilosos y las glándulas sebáceas de la piel de sus huéspedes. Sin embargo, en periodos de inmunodepresión el animal corre el riesgo de padecer sarna demodécica (afección cutánea local o generalizada).

Necropsias en fauna silvestre.

Los animales silvestres, a los que se les realizó la necropsia, proceden de ejemplares encontrados muertos en el campo. La muerte, en un escenario tan abrupto como es el PNPE, es muy difícil de localizar, ya que los carroñeros, encargados de limpiar el territorio, son muy abundantes y eficaces.

Entre los años 2017-2023, se realizó la necropsia a 33 animales silvestres, mamíferos y aves: Zorro (10), rebeco (3), lobo (5), corzo (1), liebre del piornal (2), tejón (5), turón (1), gato montés (1), buitre leonado (4), ratonero común (1).

No siempre es el zorro la especie de la que mas animales muertos se recogen.

No existe una pauta definida. El encontrar animales muertos de una u otra especie o por una u otra causa, depende de múltiples factores: paraje, zona, presencia cercana de carroñeros, climatología, etc.

Las principales causas de muerte encontradas son: Atropello (14), enfermedad (7), traumatismos por despeñamiento (2), disparo (1), asfixia (1), traumatismos por golpes (2), predadores (1), desgaste/envejecimiento (1), envenenamiento (1), causa de muerte desconocida (3). Es normal que la principal causa de muerte detectada sea el atropello, ya que los animales se localizan fácilmente por encontrarse en las carreteras o sus orillas. De éstos, varios eran animales muy viejos. Las muertes por enfermedad han sido debidas a neumonías, sarna, caquexias por parasitismos de diferente intensidad, etc. Como caso curioso el de un buitre leonado que murió asfixiado al quedar atrapado en el interior de la boca de un jabalí muerto.

Animales silvestres trasladados heridos o enfermos.

En ocasiones, se localizan en el campo animal silvestres heridos o enfermos. En estos casos se recogen y se llevan al centro de recuperación de la Comunidad Autónoma correspondiente. En los últimos 5 años se recogió un corzo con signos de haber sido predado, un zorro joven enfermo y un pollo de buitre leonado con traumatismos en un ala; todos ellos, murieron. Además, se recogieron una garduña joven y un pollo de buitre leonado que fueron recuperados y liberados en el medio natural.

Controles de población de lobo.

El día 21 de septiembre de 2021 entra en vigor el LESPRES, Orden que incluye al lobo como especie en régimen de protección especial. En los últimos 7 años (2017-2023) se hicieron necropsias a 5 lobos adultos. El último en la primavera de 2021. En 3 de ellos, la necropsia no revela signos ni lesiones patognomónicas de ninguna patología. En un macho se confirman lesiones de neumonía parasitaria e intersticial y en una hembra, lesiones en órganos asociadas a procesos septicémicos e infecciosos.

Control de población de jabalí.

En los controles de jabalí se han recogido muestras de jabalíes abatidos en controles de población realizados en la zona leonesa y asturiana del PNPE. Las muestras recogidas son sangre (suero/filtro) para estudios de brucelosis, tuberculosis, EVP, E. Aujeszky, PPA y PPC. La técnica utilizada en el laboratorio es ELISA. Además, se recoge tejido linfoide (ganglios linfáticos) para estudios de brucelosis y tuberculosis, siendo la técnica utilizada en el laboratorio PCR y cultivo en medio líquido y medio sólido y, por último, músculo estriado para estudios de triquinosis, siendo la técnica utilizada la triquinoscopia.

En el periodo 2018-2023 se analizaron muestras de 141 jabalíes en la zona leonesa del PN, de los cuales 23 (16,31%) fueron positivos a brucelosis, 36 (25,53%) a la Enfermedad de Aujeszky y 15 (10,63%) a Tuberculosis.

En la zona asturiana del PN se analizaron en el mismo periodo, muestras de 58 jabalíes con 6 animales (10,34%) positivos a la Enfermedad de Aujeszky.

Muestreo sobre la población de cangrejo de río (*Austropotamobius pallipes*).

El inicio del muestreo nocturno ha sido consecuencia de la observación en el mes de junio de 2015 de mudas y cangrejos de patas blancas por parte de la guarde-

ría, en el lago Enol. El crustáceo había desaparecido de este espacio en el año 97-98 y no se había vuelto a observar en él ningún cangrejo. El hecho de que los muestreos se desarrollen en horario nocturno tiene su base en que los cangrejos son animales con hábitos crepusculares y nocturnos y el objetivo es establecer “a priori” el estado en el que se encuentra la población y su seguimiento. Hasta principios de agosto de 2018, el muestreo se limitaba a las caras norte y oeste del lago, ya que en el resto no se observaban cangrejos. A partir de entonces se decidió (tras observar que la población se iba extendiendo discretamente y ver ejemplares en otras zonas) ampliar la zona del muestreo a la totalidad del perímetro del lago, observando que la población de cangrejos se encontraba dispersa en su totalidad. En todos los muestreos se localizaron cangrejos en número variable dependiendo de distintos factores como la temperatura, etc.; pero siempre de distintos tamaños, indicativo de que hay crustáceos de diferentes edades y de que la población sigue un desarrollo aparentemente normal, dentro de este espacio.

Muestreo de garrapatas.

La metodología aplicada para realizar el muestreo de garrapatas consiste en realizar cinco tramos de manteo por zona y mes, equivalentes a aproximadamente 500 m². Una vez hecha la identificación (género y fase – larva, ninfa, adulto-) de las garrapatas recogidas, las ninfas y adultos de las distintas especies son enviadas a un laboratorio donde realizan pruebas para determinar la presencia de los siguientes agentes patógenos (*Coxiella burnetii*, *Borrelia burgdorferi* sensu lato, *Anaplasma phagocytophilum* y *Rickettsia* spp.). Las zonas de muestreo se eligen en función de la cubierta vegetal, buscando lugares de prado y bosque con zonas de helechal y matorral, y siempre, una por provincia. Una vez hecha la recolección, se calcula la densidad poblacional, es decir, el promedio de garrapatas recolectadas por zona y mes, lo que permite ver la variación en el número de parásitos recogidos en función de la época del año.

En todas las zonas en las que se realizaron estudios se observó que ya en el mes de abril se recolectan garrapatas, sin embargo, el número máximo de recolección varía dependiendo de la zona, en unas es en el mes de mayo, en otras en agosto, influyendo factores como la humedad, la orientación, la presencia de ganado... Una observación que se ha hecho es que en contra de lo que se piensa es que en los helechos no es en la vegetación donde más garrapatas se recolectan, esto solo sucede cuando el helecho está seco, sin embargo, si se recolecta un gran número de garrapatas en determinadas zonas de hierba alta.

La fase más abundante de desarrollo de las garrapatas es la de larva, presente en todos los muestreos, no obstante, cabe destacar que los dos últimos años se está observando un importante incremento en la fase de ninfa; constituyendo este el estadio de mayor interés epidemiológico y mayor riesgo en salud pública, ya que son éstas las que más frecuentemente parasitan a personas pudiendo transmitir los patógenos estudiados.

Con el objeto de proporcionar la máxima información de las prevalencias de patógenos en el conjunto de las zonas de muestreo y las fechas en que se capturan, las garrapatas se agrupan en pooles. La composición de los pooles se diseñó de forma que todas las especies de garrapatas, todas las fases de desarrollo capturadas (exceptuando las larvas), todos los meses de muestreo y todas las zonas de estudio estuviesen lo mejor representadas y diferenciadas. De forma general,

los resultados de identificación de las garrapatas son los siguientes: Se identificaron garrapatas de las especies *Ixodes ricinus*, *Haemaphysalis concinna*, *Haemaphysalis inermis* y *Haemaphysalis punctata*.

Genéricamente los principales patógenos aislados fueron *Anaplasma phagocytophilum*, *Rickettsia slovaca* y *Borrelia burgdorferi*.

En lo relativo a *Anaplasma phagocytophilum* (*), se sabe que los rumiantes silvestres son conocidos reservorios de este patógeno y participan tanto en su mantenimiento como en el de sus vectores, razón por la que son pieza clave en el riesgo de transmisión de estos agentes por picadura de garrapata. En Europa, esta zoonosis es transmitida principalmente por garrapatas *Ixodes ricinus* y *Haemaphysalis inermis*, ambas encontradas en la zona.

A. phagocytophilum es responsable de la anaplasmosis granulocítica humana cuyo periodo de incubación puede ser de 5 a 21 días tras la picadura de la garrapata infectada.

La detección de un grupo positivo de ninfas de *H. concinna*, señala que existe riesgo de transmisión de *Rickettsia* spp. a humanos; concretamente se ha identificado *Rickettsia slovaca*, la cual, cuando infecta a un hospedador invertebrado y se multiplica en sus órganos, entre ellos las glándulas salivares, puede ser transmitida al hospedador vertebrado mediante el vector al picarle y alimentarse de él.

R. slovaca es uno de los agentes que causan cuadros clínicos de TIBOLA en humanos, siendo su reservorio principal en Europa el jabalí. También se identificaron grupos positivos de *Borrelia burgdorferi* en esta zona, causante de la enfermedad de Lyme o borreliosis, considerada una amenaza importante para la salud humana y animal. Entre los principales síntomas de la misma se encuentran fiebre, escalofríos, dolor de cabeza, fatiga y dolores musculares y articulares, entre otros.

El principal vector en Europa de *B. burgdorferi* es la garrapata *Ixodes ricinus*, siendo el principal vector de la enfermedad para el hombre las ninfas, por lo que el periodo de mayor actividad de estas (primavera-verano, dependiendo de la humedad de la zona), es cuando existe un mayor riesgo de adquirir la enfermedad. En cuanto a *Coxiella burnetii* (fiebre Q) se debe resaltar que el resultado negativo obtenido en este estudio, implica escaso riesgo de transmisión de este agente patógeno por picadura de garrapatas, pero este agente puede igualmente transmitirse en aerosoles contaminados con heces de rumiantes infectados si estuviese presente en las poblaciones de animales de las zonas de estudio.

FAUNA DOMÉSTICA

Censos ganaderos PNPE.

Desde 1992 hasta 2023, casi el 100% de los censos están completos, tanto por especies, bovino, ovino, caprino y equino, como por territorios, los 11 municipios, y estos en diferentes capas, Juntas vecinales, distritos, montes de utilidad pública y poblaciones. En los últimos años, periodo 2017-2023, en general, el número total de cabezas en el Parque Nacional ha disminuido, (2017: 30.516 cabezas, 2018: 29.303 cabezas, 2019: 26.689 cabezas, 2020: 26.594 cabezas, 2021: 26.909 cabezas, 2022: 25.309 cabezas, 2023: 24.906 cabezas).

Conteo de animales doméstico en los pastos de montaña del PNPE.

El objetivo es conocer el número de cabezas de ganado aproximadas que hay en cada zona y su distribución en el espacio y en el tiempo, para posteriormente co-

tejar ese número con los censos ganaderos oficiales. Esto sirve para la gestión, conocer la densidad ganadera, su evolución por zona geográfica para el uso inter-específico del espacio y para la interacción de la fauna silvestre-doméstica. Esto genera unas limitaciones ya que, no siempre es posible contar todo el ganado presente en el campo debido principalmente a los siguientes motivos: la metodología aplicada hace que sea imposible contar el 100% de los animales, el movimiento de los mismos hace que se dispersen hacia otras zonas, la climatología condiciona a los animales que pueden encontrarse en zonas de difícil visualización, como cuevas, el interior de bosques, etc. Cabe la posibilidad real de que no todos los animales censados se encuentren en los pastos de altura, bien porque aún no hayan subido, porque ya hayan regresado a sus poblaciones de origen, o por decisiones de manejo de los propios ganaderos. Circunstancialmente en algunas zonas hay mayor número de animales que los censados, siendo las causas de origen climatológico, falta de agua, de pasto, u otras. Con carácter general, se eligen tres zonas, una por provincia, con unos itinerarios concretos desde los cuales se realizan los conteos visuales, lo que se pretende es que el error sea estándar.

Medidas de prevención contra los daños de lobo, adoptadas por las ganaderías en la zona asturiana del PNPE.

Al margen de las decisiones que se tomen basadas en los conocimientos científicos que año tras año aumentan gracias a los estudios que se realizan en el PNPE, se tiene en cuenta las opiniones de los ganaderos obtenidas a través de las reuniones oficiales y de entrevistas de campo que es la parte que aquí desarrollamos.

Nos hemos entrevistado con 54 ganaderos para conocer las circunstancias del lobo en su actividad. Los ganaderos consideran que el lobo les genera muchos problemas. Ello redundaría en el manejo de los rebaños afectando las fechas de subida y de bajada del puerto, la venta anticipada de terneros macho, la incorporación de perros para la protección de sus rebaños, creación de cercados y lógicamente, las pérdidas que el lobo les ocasiona, tanto por muertes, bajas de producción, adaptaciones y ejemplares no localizados. También se les propone aporten propuestas para la toma de medidas preventivas. Estas van desde los controles poblacionales al cambio a ganadería intensiva, con otro tipo de actuaciones que no consideramos.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Dado el carácter de esta ponencia no hay discusión al respecto. Este documento pretende poner de manifiesto que desde 1992 hasta la fecha (octubre 2023) en las 3 Direcciones del PNPE (Asturias, Cantabria y Castilla y León) se dispone de un banco de datos amplísimo sobre las cuestiones aquí tratadas y otras muchas, las cuales deberían de estar a disposición de los científicos cuyas líneas de investigación requieran de esta información.

E-mail de contacto del Ponente: ggonzal1@tragsa.es



Buitre leonado encontrado muerto en el interior del Parque Nacional y recogido para necropsia e investigación de la causa de muerte.

Autor de la foto:
José Enrique Diez Granda.



Rebeco con lesiones de sarna sarcóptica (Parque Nacional de los Picos de Europa).

Autora de la foto:
Gloria González Álvarez-Cienfuegos.



Garduña enferma trasladada por personal de guardería del PN al Centro de Recuperación de Asturias.

Autor de la foto:
Víctor Delgado Martín.

TELEDETECCIÓN Y RENDIMIENTO DE BALIZAS SATELITALES EN EL SEGUIMIENTO DE QUEBRANTAHUESOS

J.C. Gonzalez, J.C.

Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos

RESUMEN

La monitorización es una de las fases más importantes en cualquier programa de reintroducción para conocer la evolución de la población reintroducida y para localizar posibles amenazas que supongan un peligro para los ejemplares.

La monitorización de los ejemplares de quebrantahuesos liberados en el marco del Proyecto de Reintroducción del Quebrantahuesos en el Parque Nacional de los Picos de Europa, se realiza mediante el seguimiento terrestre por telemetría convencional y mediante el empleo de emisores GPS colocados en los ejemplares. Los datos que se recogen permiten obtener información sobre parámetros esenciales como las tasas de supervivencia, el tamaño de las áreas de campeo, uso del territorio, la velocidad de los movimientos, etc.

Seguimiento terrestre: se realiza a través de observaciones visuales directas, utilizando material óptico de alta resolución y radio seguimiento telemétrico con receptores/ emisores VHF (Very High Frequency) de 150Mhz. En el radio-seguimiento terrestre se utiliza el método continuo (Russo et al., 2001), en el que los observadores se sitúan en puntos dominantes del territorio, dentro del área de campeo de los individuos, desde donde cubren una amplia panorámica. Desde allí realizan barridos con la antena direccional y el receptor (Wildlife Materials, modelo TRX 1000, con antenas direccionales de tres elementos Yagi), para intentar contactar con la señal de los emisores que portan los quebrantahuesos, que será de mayor o menor intensidad en función de la distancia a la que se encuentre el emisor y el estado de su batería.

Recopilación de observaciones y bibliografía: se recopilan datos y observaciones de personas que facilitaron sus avistamientos de los ejemplares reintroducidos principalmente guardería del Parque Nacional Picos de Europa, ganaderos de la zona y observadores de naturaleza.

Seguimiento con emisores satelitales: se emplean emisores GPS PTT-100 basados en la tecnología GPS/Argos que ofrecen datos de geoposición en 3 dimensiones y con tiempos de descarga diarios y emisores EOBS GPS/gsm de última generación.

En el periodo pre liberación y pre dispersivo inmediato a la suelta (primeros dos meses de vida en libertad) se intensifica el seguimiento realizando dos técnicos jornadas de 10 horas de seguimiento continuado los siete días de la semana.

El intenso seguimiento diario al que se ha sometido a los ejemplares reintroducidos ha permitido conocer las principales amenazas para la especie tanto a nivel antrópico como a nivel natural.

PALABRAS CLAVE

Quebrantahuesos, Monitorización, Reintroducción, Emisores satelitales (Bearded Vulture, Monitoring , Reintroduction, Satellite Beacons)

OBJETIVOS

La monitorización y seguimiento de los ejemplares de quebrantahuesos liberados supone una de las fases más importantes del programa de reintroducción de esta especie en el Norte y Centro de España, al aplicar el conocimiento científico generado a través de la localización de hábitats y lugares prioritarios tanto en su conservación directa, como en los planes de trabajo previstos a corto plazo.

La telemetría satelital permite comprender mejor la ecología espacial y el comportamiento del quebrantahuesos, lo cual es clave para la conservación de esta especie amenazada

El análisis de los datos recogidos mediante telemetría y las observaciones directas de los ejemplares permiten desarrollar una serie de objetivos:

- Desarrollo y comprobación de la eficacia del protocolo post-liberación.
- Análisis de la competencia comportamental de los individuos liberados
- Disponer de la localización de los individuos, con el fin de realizar rápidas intervenciones en el medio natural ante situaciones que pongan en peligro la supervivencia de los ejemplares.
- Estudio de parámetros básicos para la supervivencia de los ejemplares: áreas vitales, áreas de campeo, velocidad de los desplazamientos, lugares de refugio, fenología de la dispersión, entre otros.
- Identificación de zonas de riesgo potencial para la especie (electrocución y choque con líneas eléctricas, veneno, caza, etc.)
- Capacitación para realizar rápidas intervenciones en el medio natural ante situaciones que pongan en peligro la supervivencia de los ejemplares.

MATERIAL Y METODOS

Desde 2002, la Fundación para la Conservación del Quebrantahuesos (FCQ) lleva desarrollando una serie de actuaciones encaminadas a la restauración de la población de quebrantahuesos en el área de los Picos de Europa y su entorno. Para ello ha contado con la ayuda de las administraciones públicas a través de fondos LIFE, y de entidades privadas. Los primeros trabajos sentaron las bases metodológicas, y se preparó ambientalmente el territorio para acoger de manera permanente una población estable de quebrantahuesos.

En el año 2010 se inician las primeras sueltas de ejemplares, con la liberación de las hembras 'Deva' y 'Leoncia'. Desde ese año hasta 2023 son 45 los ejemplares liberados en el parque nacional de los Picos de Europa con edades que se extienden desde el primer hasta el decimotercer año de vida.

Desde el año 2010 se han equipado con emisores para el seguimiento a distancia. Las aves se han marcado siguiendo el protocolo empleado con éxito en el Plan de Recuperación del Quebrantahuesos en Aragón (Decreto 184/1994; Decreto 45/2003) utilizando diversos tipos de emisores tanto satelitales como de radiofrecuencia.

Así mismo los ejemplares fueron equipados con anillas y marcas identificativas para reconocimiento a distancia. El uso de esta metodología permite homogeneizar marcas y protocolos de avistamiento con el fin de reducir errores de reconocimiento ante posibles desplazamientos de ejemplares desde Pirineos a Picos de Europa y viceversa.

Los ejemplares reintroducidos en el marco del programa de recuperación de la especie en los Picos de Europa provienen de nidos de alto riesgo del Pirineo ara-

gonés. Una vez rescatados, son criados mediante impronta natural en aislamiento humano desde su eclosión hasta los 120 días de vida.

El seguimiento y monitorización de los ejemplares de quebrantahuesos liberados en el marco del Proyecto se ha realizado mediante el seguimiento terrestre por telemetría convencional y mediante el empleo de emisores satelitales colocados en los ejemplares. Los datos recogidos permiten obtener información sobre parámetros esenciales como las tasas de supervivencia, el tamaño de las áreas de campeo, uso del territorio, la velocidad de los movimientos, etc.

- Seguimiento terrestre. Se realiza a través de observaciones visuales directas, utilizando material óptico de alta resolución y radio seguimiento telemétrico con receptores/ emisores VHF (Very High Frequency) de 150Mhz. En el radio-seguimiento terrestre se utiliza el método continuo (Russo et al., 2001), en el que los observadores se sitúan en puntos dominantes del territorio, dentro del área de campeo de los individuos, desde donde cubren una amplia panorámica. Desde allí realizan barridos con la antena direccional y el receptor (Wildlife Materials, modelo TRX 1000, con antenas direccionales de tres elementos Yagi), para intentar contactar con la señal de los emisores que portan los quebrantahuesos, que será de mayor o menor intensidad en función de la distancia a la que se encuentre el emisor y el estado de su batería.
- Recopilación de observaciones y bibliografía: se recopilan datos y observaciones de personas que facilitaron sus avistamientos de los ejemplares reintroducidos principalmente APNs, ganaderos de la zona y observadores de naturaleza.
- Seguimiento con emisores satelitales. Se emplearon emisores GPS/GSM EOBS y Ornitela que ofrecen datos de geoposición en 3 dimensiones y con tiempos de descarga diarios.

Los datos registrados por los diferentes dispositivos son depurados e incluidos en una base de datos para su posterior análisis.

RESULTADOS

Desde el año 2010 se han recopilado un total de 3025667 geolocalizaciones correspondientes a los 45 ejemplares liberados, y 7487805 datos de acelerometría que han sido procesados con el uso de varios programas estadísticos y de análisis espacial (R, Arcgis...)

Estos datos han sido procesados para hallar una serie de parámetros básicos para la supervivencia de los ejemplares como la determinación de áreas de campeo y de uso preferente (home range). Para ello se utilizó el MPC (mínimo polígono convexo) que refleja el área utilizada por el individuo, incluyendo espacios utilizados puntual o accidentalmente.

También se estimó, mediante densidad Kernel de puntos, la probabilidad de uso a partir de un conjunto de localizaciones. El estimador Kernel es un método estadístico no paramétrico que aporta la superficie mínima que con mayor probabilidad acoge un determinado porcentaje de localizaciones, lo que permite conocer la intensidad de uso del territorio.

También se ha calculado la distancia al lugar de suelta ya que así se puede analizar los movimientos dispersivos de los individuos. El quebrantahuesos es una especie filopátrica que durante los primeros años de vida realiza vuelos exploratorios más o menos alejados de su lugar de nacimiento/liberación. Dichos movi-

mientos son dependientes de varios factores como el sexo de los ejemplares, la edad y otros parámetros ambientales, poblacionales e individuales

Con el fin de ver diferencias entre individuos y su uso del espacio se analizó la distancia recorrida por cada uno. Se puede apreciar que existen diferencias significativas entre los individuos en relación a los años que tiene y como gestiona el territorio que ocupa.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La monitorización y el seguimiento son una de las fases más importantes en cualquier programa de reintroducción para conocer la evolución de la población reintroducida y para localizar posibles amenazas que supongan un peligro para los ejemplares.

El intenso seguimiento diario al que se ha sometido a los ejemplares reintroducidos ha permitido conocer las principales amenazas para la especie tanto a nivel antrópico como a nivel natural.

Los ejemplares en la Cordillera Cantábrica están siguiendo el patrón adecuado observándose una buena adaptación a las condiciones del habitat y unas capacidades adecuadas acorde con la edad de cada ejemplar.

Los ejemplares reintroducidos en el marco del Proyecto demuestran comportamientos similares a los observados en ejemplares silvestres pirenaicos, así como en ejemplares introducidos en el área en años anteriores, tanto en desplazamientos como en uso del territorio (espacial y temporalmente).

La Cordillera Cantábrica es un hábitat de especial interés para el quebrantahuesos. La presencia de recursos tróficos y grandes cortados hace de la zona un lugar de sedimentación dispersiva preferente, como demuestran los numerosos avistamientos de quebrantahuesos divagantes que se llevan realizando en la zona desde 1990.

La fidelidad de las aves liberadas a la zona de suelta y su entorno es uno de los primeros resultados de este proyecto.

Para lograr la recuperación del quebrantahuesos en las montañas del norte peninsular es necesario continuar el trabajo a corto y medio plazo para consolidar esta incipiente población y favorecer su conexión a través de corredores biológicos, manteniendo también la lucha contra las principales amenazas que todavía afectan a la especie. Demostrando además que la conservación de la biodiversidad es un importante eje de empleo y desarrollo económico para el medio rural de los espacios de montaña.



Figura 1: Minimum Convex Polygon (MPC) de los ejemplares.



Figura 2: Geolocaliz de los ejemplares estudiados.



PATRONES DE VARIACIÓN TEMPORAL DE LAS POBLACIONES DE TRUCHA EN LOS RÍOS DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA

Alexia M. Gonzalez-Ferreras¹, Francisco J. Peñas¹, Amaia A. Rodeles¹ y José Barquín¹

¹IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

RESUMEN

La trucha común (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) es una especie de gran importancia desde un punto de vista tanto ecológico como socio-económico, ya que es una especie clave y un depredador superior, además de ser una de las especies más populares e importantes de pesca deportiva a nivel Nacional. A pesar de su importancia, las poblaciones de trucha en la Península Ibérica se han visto reducidas en los últimos años, siendo clasificada en la actualidad como especie vulnerable. Los patrones espacio-temporales de las poblaciones de esta especie se pueden ver afectados tanto por factores denso-dependientes como por factores denso-independientes, en función de la etapa del ciclo vital y las condiciones ambientales. Para determinar los principales factores que controlan los patrones de variación temporal de las poblaciones de trucha en los ríos de Picos de Europa se ha utilizado una red de seguimiento ecológico compuesta por 13 puntos de muestreo, diferenciando tramos Control e Impactados por presiones antrópicas (efluentes puntuales y procesos de escorrentía). En esta red de seguimiento se han realizado muestreos sistemáticos de fauna piscícola durante la época estival desde el año 2012 hasta la actualidad. En este trabajo se muestran los patrones de variación temporal de las poblaciones de trucha en ríos de los Picos de Europa, incluyendo además un análisis de las variables ambientales más importantes (p.e. temperatura del agua o caudal) que puedan estar determinando estos patrones.

PALABRAS CLAVE

Cordillera Cantábrica, Seguimiento a Largo Plazo, poblaciones piscícolas, *Salmo trutta*.

ABSTRACT

The brown trout (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758) is a species of great importance from an ecological and socio-economic point of view, as it is a keystone species and a top-predator, as well as one of the most popular and important sport-fishing species at national level. Despite its importance, trout populations in the Iberian Peninsula have been reduced in recent years, and it is currently classified as a vulnerable species. The spatial-temporal patterns of the populations of this species can be affected by density-dependent and density-independent factors, depending on the life stage and environmental conditions. In order to determine the main factors controlling the temporal variation patterns of trout populations in the rivers of Picos de Europa, an ecological monitoring network of 13 sampling points has been used, differentiating Control and Impacted by anthropic pressures (punctual effluents and catchment runoff processes) stretches. In this monitoring network, systematic sampling of fish fauna has been carried out during the summer season

from 2012 to present. This work shows the temporal variation patterns of trout populations in rivers of the Picos de Europa, including an analysis of the most important environmental variables (e.g. water temperature or flow) that may be determining these patterns.

KEY WORDS

Cordillera Cantabrica, Long Term Monitoring, fish populations, *Salmo trutta*

OBJETIVOS

Los peces de agua dulce son uno de los grupos más vulnerables a los impactos antrópicos, por lo que necesitan de una especial atención para su gestión y conservación. En este sentido, los estudios enfocados en especies clave son importantes debido a que la variabilidad de las densidades de la especie puede tener un gran impacto en los procesos del ecosistema y las comunidades biológicas a través de interacciones como la depredación o competición. Una de las especies piscícolas de agua dulce considerada como especie clave es la trucha común (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758), la cual tiene una gran importancia ecológica, económica y social, siendo uno de los depredadores principales en los ecosistemas fluviales y una de las principales especies de pesca deportiva (Almodovar & Nicola, 1998). A pesar de su importancia, las poblaciones de trucha en la Península Ibérica han disminuido en los últimos años por factores como la introgresión genética, la sobrepesca, las especies invasoras, la contaminación, el cambio global, la fragmentación y la pérdida del hábitat (Doadrio, 2002; Maceda-Veiga, 2013), siendo clasificada en la actualidad como especie vulnerable. Por ello, es necesario llevar a cabo programas de seguimiento adecuados a través de redes de monitoreo que permitan analizar los patrones de variación temporal de las poblaciones de trucha y determinar las variables ambientales más importantes que puedan estar determinando estos patrones. En este sentido, en el año 2012, bajo el proyecto RECORAM, concedido por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales (Ref: 132/2010), el IH Cantabria estableció una red de muestreo aplicando un diseño Control-Impacto para monitorizar el efecto que los vertidos puntuales y difusos generan sobre la calidad de los ecosistemas fluviales del PNPE y la integridad de sus comunidades biológicas, incluyendo las comunidades piscícolas, y, por lo tanto, incluyendo a las poblaciones de trucha. La red está compuesta por 13 estaciones que se han continuado muestreado anualmente hasta la actualidad, y cuyos datos recolectados sirven de base para llevar a cabo el presente estudio. Así pues, los objetivos principales de este estudio consisten en determinar y analizar los patrones de variación temporal de las poblaciones de trucha en los ríos del Parque Nacional de Picos de Europa y realizar un análisis de las variables más importantes que puedan estar determinando dichos patrones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se han realizado campañas de muestreo anuales en época estival (2012-2022) en los 13 puntos de la red de seguimiento establecida en el PNPE (Fig. 1). La red de seguimiento fue diseñada inicialmente seleccionando diversos tramos afectados por vertidos puntuales y carga difusa, así como otros tramos control con características ambientales similares a los tramos afectados. Dicha red consta de 5 puntos de muestreo en ríos afectados y 5 puntos de muestreo en ríos control,

así como 1 manantial afectado y 2 manantiales control. En cada campaña de muestreo anual, se muestrearon los siguientes componentes del ecosistema fluvial: comunidades piscícolas, comunidades de macroinvertebrados, calidad del agua, recursos tróficos y metabolismo fluvial. Además, se han utilizado datos de una red de aforos para modelar el régimen hidrológico y térmico de los distintos tramos que componen las redes fluviales de las cuencas Sella y Cares-Deva. Las comunidades piscícolas se caracterizaron mediante la toma de muestras con pesca eléctrica. Cada muestreo se llevó a cabo sobre una superficie mínima representativa del tramo de río muestreado, aplicando un diseño de capturas sucesivas. Cada individuo capturado se identificó a nivel de especie, tomándole medidas de peso (gr) y longitud furcal (mm). Partiendo de los datos obtenidos se empleó el método de Carle & Strub (1978) para estimar las densidades poblacionales y posteriormente calcular la biomasa de trucha en cada uno de los 13 puntos de estudio. Para conocer el papel de las variables ambientales (calidad del agua, recursos tróficos, metabolismo fluvial, hidrología y temperatura) a la hora de determinar los patrones de variación temporal de las poblaciones de trucha, se realizaron diferentes modelos de regresión generalizada (GLM) para los datos de densidad y biomasa en los 10 puntos de muestreo en ríos, con 33 variables ambientales seleccionadas previamente por su potencial importancia sobre las especies piscícolas (1; régimen térmico, 16; régimen hidrológico, 2; metabolismo ecosistémico, 8; recursos tróficos y 6; calidad del agua). Todas las variables independientes fueron estandarizadas y se seleccionó el mejor modelo mediante el criterio de información de Akaike. Cabe decir, que se ha decidido previamente no incluir en el análisis de modelos GLM los datos de los manantiales, ya que sus características hidrológicas y térmicas son muy diferentes a las características de un río, y por lo tanto hemos considerado realizar un análisis incluyendo únicamente los puntos de muestreo localizados en ríos.

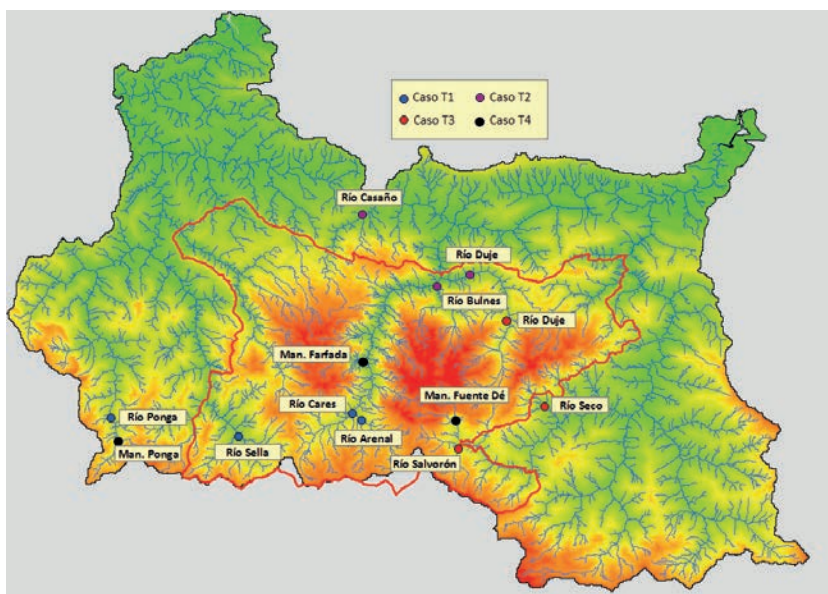


Figura 1: Localización de los 13 puntos que componen la red de monitoreo.

RESULTADOS

En los muestreos piscícolas realizados durante el periodo 2012-2022 en los 13 puntos de estudio que conforman la red de seguimiento tan solo se han capturado ejemplares de trucha común, con excepción de algún ejemplar de anguila (*Anguilla anguilla* Linnaeus, 1758) capturado en el río Casaño, Salvoron y Seco, no habiéndose descrito ejemplares de otras especies piscícolas.

En el caso de los tramos control y afectados se observa una disminución general pronunciada de la densidad y biomasa de trucha tras los primeros años muestreados de la serie temporal, con oscilaciones de aumento y descenso tanto de la densidad como de la biomasa a lo largo de los años muestreados (Fig 2; a,b,c,d). Para los manantiales, los valores de densidad y biomasa que se observan que son mucho menores a los valores encontrados en los ríos (Fig 2; e,f). Cabe destacar la ausencia de la trucha en el río Duje (Tielve) en el año 2012 y la ausencia de trucha en el manantial Fuente Dé desde 2012 hasta 2019, únicos puntos y años dónde no se ha detectado presencia de la especie.

Los modelos GLM (Nagelkerke's r^2 0.519) indicaron que variables como la temperatura media anual del agua, la concentración de amonio, la producción primaria bruta, el caudal medio de abril, el caudal medio de diciembre y el número de inversiones hidrológicas muestran relaciones positivas y significativas con la densidad de truchas. Por su parte, la conductividad, la concentración de fosfatos y el número de eventos de caudal superior a 3 veces el caudal mediano anual de más de 7 días de duración muestran correlaciones negativas y significativas. En el caso de la biomasa, los modelos GLM (Nagelkerke's r^2 0.518) indicaron que la temperatura media anual del agua, la concentración de amonio, la densidad de invertebrados y la producción primaria bruta muestran relaciones positivas y significativas. Por el contrario, la concentración de fosfatos y la materia orgánica particulada muestran relaciones negativas y significativas.

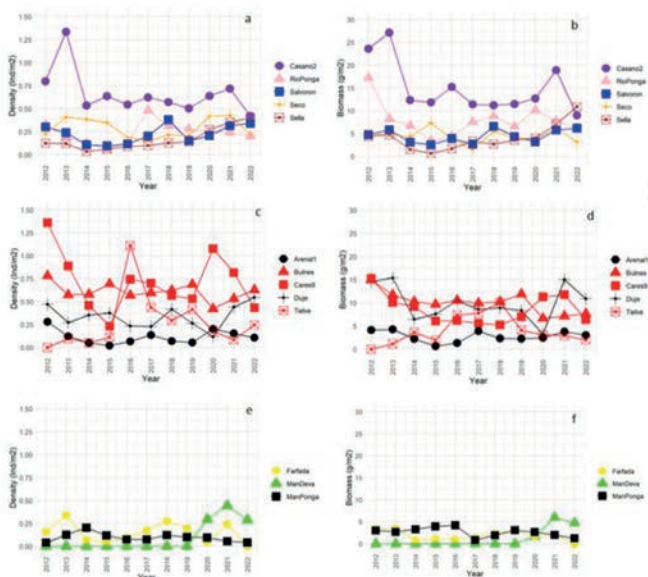


Figura 2: Densidad estimada de trucha (a,c,e) y biomasa (b,d,f) para los 5 tramos control en ríos (a,b), 5 tramos impacto en ríos (c,d) y manantiales (e,f). Seco 2018 es representado con los datos de la primera pasada de pesca eléctrica por ausencia de datos de capturas sucesivas.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los patrones temporales de las poblaciones de trucha analizadas en los ríos del PNPE muestran oscilaciones de biomasa y densidad a lo largo de la serie analizada para todos los puntos de la red muestreo. Dichos patrones temporales de densidad y biomasa de la trucha se ven influenciados por diversas variables ambientales, incluyendo variables climáticas, hidrológicas, de calidad del agua y recursos. Las diferencias observadas respecto a unos valores menores de densidad y biomasa en manantiales respecto a ríos, pueden estar asociados con los diferentes patrones hidrológicos y térmicos que presentan ambos sistemas. Además, se han observado algunas diferencias respecto a las variables más importantes que influyen en la densidad o la biomasa dentro de los ríos, destacando que estos análisis parecen indicar que las variables hidrológicas tienen más influencia en la densidad, mientras que las variables de recursos tienen más influencia en la biomasa. Cabe decir que los resultados de los modelos GLM respecto a algunas variables han de ser tomados con cautela y analizarlos detalladamente e individualmente, ya que pueden existir otras variables, sobre todo espacialmente, que puedan estar enmascarando los resultados. Por ejemplo, los tramos que presentan mayor densidad de truchas suelen ser tramos con un área de cuenca mayor, situados más aguas abajo en la red fluvial y por lo tanto generalmente con una temperatura del agua media mayor, por lo que pueden ser otras variables las que nos están determinando la importancia de la temperatura del agua en el modelo. De igual forma, esta situación puede estar generándose para otras variables significativas en el modelo, por lo que se necesita realizar un análisis detallado para descartar otras posibles causas que puedan estar explicando esos resultados. También cabe destacar que los resultados obtenidos en el presente estudio ponen de manifiesto que es difícil sacar una conclusión general analizando globalmente la totalidad de los puntos de muestreo de la red de monitoreo, por lo que estudios posteriores deberán centrarse en analizar inicialmente los patrones temporales de cada punto de muestreo individualmente.

Respecto a los puntos de muestreo donde no se detectó presencia de la especie, la ausencia de la trucha en el río Duje (Tielve) en el año 2012 está posiblemente asociada a la presencia de un vertido ganadero puntual, ya que volvió a detectarse la presencia de la especie en los años consecutivos tras la intervención administrativa en 2013 para cesar el vertido. En relación a la ausencia de la trucha en el manantial Fuente Dé desde 2012 hasta 2019, pero con presencia en los años posteriores, no tenemos información suficiente para poder determinar cuáles son las causas que han conllevado a la presencia o ausencia de la especie en este punto de muestreo.

Los patrones temporales de las poblaciones de la trucha pueden verse alterados tanto por factores denso-dependientes como denso-independientes, por lo que futuros análisis deberán considerar la incorporación de ambos enfoques para analizar en detalle la dinámica poblacional. Por otro lado, pueden existir otras variables con gran importancia para la trucha no consideradas en el presente estudio como pueden ser la presencia de presiones antrópicas como las presas o los azudes, que disminuyen la conectividad longitudinal de la red fluvial, y por lo tanto con una gran influencia para las especies que se dispersan únicamente a través de la red fluvial, como es el caso de la trucha. En este sentido, estudios previos en el área de estudio han puesto de manifiesto que la presencia de obs-

táculos longitudinales puede tener gran influencia en las dinámicas poblacionales de la trucha (González-Ferreras et al., 2019) y actualmente existen algunos proyectos en el área de estudio como el LIFE DIVAQUA cuyas acciones han llevado a cabo la eliminación de algunas barreras longitudinales, permitiendo aumentar la longitud fluvial para especies piscícolas como la trucha. Por lo tanto, estas acciones pueden tener influencia en los patrones temporales que se observen más adelante, por lo que los datos de la red de monitoreo serán muy útiles para poder continuar disponiendo de datos de las poblaciones piscícolas a futuro. Finalmente, y en relación a las redes de seguimiento, cabe destacar su utilidad para analizar los efectos del cambio global a largo plazo en las poblaciones piscícolas, cuyo enfoque puede ayudar a identificar medidas de gestión y conservación adecuadas y predecir escenarios a futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almodovar, A., & Nicola, G. G. (1998). Assessment of a brown trout *Salmo trutta* population in the River Gallo (central Spain): Angling effects and management implications (Salmonidae). *Italian Journal of Zoology*, 65, 539–543. <https://doi.org/10.1080/11250009809386881>

Carle, F. L., & Strub, M. R. (1978). A new method for estimating population size from removal data. *Biometrics*, 34, 621–630. <https://doi.org/10.2307/2530381>

Doadrio, I. (2002). Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza: Museo Nacional de Ciencias Naturales.

González-Ferreras, A. M., Bertuzzo, E., Barquín, J., Carraro, L., Alonso, C., & Rinaldo, A. (2019). Effects of altered river network connectivity on the distribution of *Salmo trutta* : Insights from a metapopulation model. *Freshwater Biology*, 64(11), 1877–1895. <https://doi.org/10.1111/fwb.13379>

Maceda-Veiga, A. (2013). Towards the conservation of freshwater fish: Iberian Rivers as an example of threats and management practices. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 23, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11160-012-9275-5>

MARIPOSAS DE PICOS DE EUROPA EN PELIGRO DEBIDO AL ABANDONO DEL TERRITORIO Y A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Amparo Mora Cabello de Alba, Bióloga, Técnico Área Conservación PN Picos de Europa
y estudiante de Doctorado en la Universidad de Lancaster

Equipo de Seguimiento de Mariposas del Parque Nacional
Andrew Wilby, Senior Lecturer, Lancaster University

Rosa Menéndez, Senior Lecturer, Lancaster University.

Resumen

Los datos de los sistemas de seguimiento existentes apuntan hacia una crisis global de las mariposas en Europa, siendo las principales causas la pérdida o la degradación del hábitat, el cambio climático y la contaminación química.

Las series de datos de mariposas que existen en Europa occidental proceden de áreas densamente pobladas y relativamente llanas. Sin embargo, áreas menos pobladas, como las montañas del Sur de Europa, han sido menos estudiadas, a pesar de que estas zonas albergan una de las mayores tasas de diversidad de mariposas del continente.

En esta charla analizamos las tendencias de las poblaciones de una cadena montañosa en el suroeste europeo (Picos de Europa), para los últimos 9 años (2013-2021), a lo largo de un gradiente altitudinal (80-2000 m). Mostramos que esta región, protegida como Parque Nacional hace más de 100 años, está sin embargo bajo una gran amenaza, con un declive en la abundancia de mariposas de media, del 5,7% anual (45,7% acumulado en 9 años).

Las especies a gran altitud lo están pasando peor que las de zonas bajas y las comunidades a elevaciones medias (por debajo del límite del bosque) están cambiando hacia mayores abundancias de especies con preferencias por hábitats cerrados. Los efectos combinados del cambio climático y de la pérdida de hábitat, debido al abandono del manejo tradicional, parecen estar afectando tanto a las especies individuales como a la composición de las comunidades de mariposas en nuestra área de estudio.

Palabras clave: abandono, seguimiento de mariposas, cambio climático, gradiente altitudinal, cambio de uso del suelo, indicador multiespecie, tendencias poblacionales, áreas protegidas, montañas del Sur de Europa.

Mariposas de Picos de Europa en peligro debido al abandono del territorio y a los efectos del cambio climático

Metodología de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Parque Nacional de los Picos de Europa, cadena montañosa con un amplio gradiente altitudinal (70-2648 m) que alberga extensos bosques templados y sus unidades de sustitución; herbazales naturales y semi-naturales; ríos, lagos y turberas; y vegetación de roca y alta montaña.

Se utilizaron para el estudio los datos del seguimiento de mariposas en 11 transectos situados dentro del Parque Nacional, recogidos por el personal del Parque entre los años 2013 y 2021, como parte de la red nacional BMS España y de la red europea eBMS. La duración de las series de datos varía entre los 3 y los 9

años, dependiendo de los sitios. Los transectos de seguimiento cubren un gradiente altitudinal de 80-2000 m, representan el 96% de las especies presentes en el Parque y la mayoría de los biotopos del mismo.

Las mariposas adultas se contaron a lo largo de rutas fijas usando la metodología BMS estándar (Pollard & Yates, 1993), cada 10 días de mayo a septiembre (15 visitas al año). En cuatro de los transectos se aplicó un esquema de esfuerzo reducido con sólo 5-6 visitas al año, por su localización en alta montaña.

Resultados

Se encontró un declive global de la abundancia de mariposas del 5.7% anual (45.7% acumulado) en el período de estudio de 9 años (2013-2021). Se hallaron las tendencias de abundancia para 55 especies: el 71% mostraron una tendencia incierta, mientras que el 26% están en declive y ninguna ha aumentado. Están en “fuerte declive” *Anthocharis cardamines*, *Cupido minimus*, *Laeosopis roboris*, *Melitaea diamina*, *Melitaea phoebe*, *Papilio machaon*, *Polyommatus dorylas* y *Speyeria aglaja*. Están en “declive moderado” *Aporia crataegi*, *Brenthis ino*, *Hipparchia hermione*, *Issoria lathonia*, *Lasiommata maera*, *Lysandra coridon* y *Melitaea deione*.

Los indicadores de abundancia multiespecie para especies de espacios abiertos, intermedios o cerrados, todos mostraron declives. Los indicadores multiespecie para especies de baja altitud (80-900 m) mostraron una tendencia incierta, mientras que los indicadores para especies de altitudes superiores mostraron declives (fuerte para 900-1200 m y moderado para 1200-1900 m). En sitios montanos, por debajo del límite del bosque (900-1200 m), la composición de las comunidades de mariposas cambió a favor de las especies con preferencia por los hábitats cerrados en el período de 9 años analizado, probablemente reflejando el efecto del cierre de la vegetación de matorrales y bosques. Este mismo efecto se produjo de forma marginal en altitudes más bajas. No hubo efecto de este tipo en altitudes mayores. En congruencia con el cierre progresivo de la vegetación, el índice de temperatura de las comunidades también cambió a favor de las especies con preferencia por condiciones más frescas en los sitios de baja altitud (80-900 m), mientras que no se detectaron cambios a mayor altitud. El índice de precipitación de las comunidades cambió a favor de especies con preferencia por condiciones más secas en los sitios a baja altitud (80-900 m).

Las especies presentes a mayor altitud presentaron tasas de crecimiento poblacionales menores, así como las especies propias de temperaturas medias más altas.

Discusión

El declive de la abundancia de mariposas encontrado en Picos de Europa en los últimos 9 años está en consonancia con estudios previos en muchos otros lugares, confirmando una tendencia global de declive de las mariposas, incluso en áreas con una larga historia de protección. Además, el 5,7% de declive anual encontrado en Picos, dobla las tasas máximas encontradas en otros estudios. Pensamos que los cambios en la abundancia de mariposas en la última década en estos paisajes culturales se deben al abandono rural (p.ej. pérdida del 60% de los prados de siega en la década 2008-2017), junto con los efectos amplificadas del cambio climático en los ecosistemas de montaña.

La elevación es un factor determinante en estos ecosistemas. De algún modo, las especies especialistas (especies alpinas y especies mediterráneas en altitudes bajas) mostraron tasas de crecimiento menores que las especies de altitudes medias. Pensamos que las especies a ambos extremos del gradiente altitudinal, que no pueden migrar debido a su grado de especialización, están en peores condiciones que las especies de las altitudes intermedias.

En altitudes por debajo de los 1200 metros, hemos demostrado que las comunidades están cambiando su composición a favor de las especies con preferencias por hábitats cerrados, en congruencia con nuestros estudios previos en la zona (Mora et al. 2022). De cualquier manera, hemos encontrado tendencias de declive también para las especies con preferencia por hábitats cerrados. Como se ha sugerido en general para los paisajes culturales en Europa (Warren et al. 2021), el declive a largo plazo de las mariposas con preferencias por los hábitats cerrados (mariposas de claro de bosque), puede deberse a una falta de manejo de los bosques y a la pérdida subsecuente de los espacios abiertos en su interior. *Lopinga achine*, *Hamearis lucina* o *Carterocephalus palaemon*, especies raras de bosque, merecen más investigaciones en los Picos de Europa, ya que se encuentran presentes en lugares donde el cerramiento está teniendo un efecto sobre las comunidades de mariposas.

Junto con el abandono, se espera que el cambio climático de lugar a cambios sustanciales en las poblaciones de mariposas de los Picos de Europa. La temperatura en el área de estudio ha aumentado anualmente en 0,021 °C durante el período 1979-2019. Esta tasa de calentamiento de 0,21 °C por década, en 40 años, está en el extremo superior de las estimas para el conjunto de la superficie terrestre, de 0,18 °C por década, lo cual es consistente con la hipótesis de que los efectos del cambio climático se amplifican en áreas de montaña (IPCC, 2022). En nuestro estudio encontramos que las poblaciones de mariposas por encima del límite del bosque (1200 m) están en declive y el cambio climático parece el principal motivo, ya que los cambios en el uso del suelo han sido mínimos a estas altitudes. Estudios recientes en aves alpinas en nuestra área de estudio (De Gabriel et al. 2022) muestran un patrón similar de efectos más intensos del cambio climático a mayores elevaciones, con una tendencia regresiva de la abundancia de aves alpinas.

Las áreas protegidas se consideran una herramienta esencial para detener el colapso de la biodiversidad. Sin embargo, las amenazas para los insectos pueden atravesar sus límites. Hallmann et al. (2017) mostraron un preocupante declive de más del 75% de la biomasa de insectos en 27 años (1989-2016) en áreas naturales protegidas de Alemania, la mayoría de ellas de tamaño limitado y rodeadas de campos agrícolas. En Gran Bretaña, Cunningham et al. (2021) mostraron que las tendencias de especies prioritarias o en declive eran similares en paisajes que contenían áreas protegidas o en otros sin ellas, sugiriendo que las áreas protegidas no eran resilientes a las presiones a escala de paisaje.

Picos de Europa fue el primer territorio en España en ser declarado Parque Nacional, en 1918, hace más de 100 años. Sin embargo, nuestros resultados muestran que la eficacia de las áreas protegidas está comprometida en el Sur de Europa poniendo de relieve la urgente necesidad de llevar a cabo acciones de conservación. Como medidas específicas para evitar la erosión de la biodiversidad proponemos: continuar con el seguimiento de las poblaciones de mariposas;

incrementar el número de voluntarios BMS en este área; incrementar el conocimiento científico de las especies para guiar las acciones de conservación; desarrollar programas de colaboración entre áreas protegidas e instituciones académicas; mantener áreas abiertas allá donde se haya abandonado el manejo tradicional (prados de siega y claros de bosque) a una escala de paisaje; y dirigir fondos europeos hacia estos objetivos a través de la Política Agraria Comunitaria (PAC) y los proyectos LIFE Naturaleza. Pero por encima de todo, se necesitan acciones urgentes para reducir las emisiones de carbono y evitar mayores efectos de cambio climático.

Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas del equipo de seguimiento de mariposas del PN Picos de Europa su trabajo desde 2011. También damos las gracias a Miguel Munguira, a los coordinadores BMS España y a Cristina Sevilleja y otros miembros de BMS Europa por su apoyo continuado. Finalmente, agradecemos a Robert Wilson y a Mario Mingarro su ayuda con los datos climáticos. El Parque Nacional Picos de Europa ha dado apoyo económico así como los permisos necesarios para la realización de esta investigación.

Toda la bibliografía citada y toda la investigación en extenso puede consultarse en: Mora, A., Wilby, A. & Menéndez, R. (2023) South European mountain butterflies at a high risk from land abandonment and amplified effects of climate change. *Insect Conservation and Diversity*, 1-15. Accesible de forma gratuita en: <https://doi.org/10.1111/icad.12676>

Bibliografía

Cunningham, C.A., Thomas, C.D., Morecroft, M.D., Crick, H.Q.P. & Beale, C.M. (2021) The effectiveness of the protected area network of Great Britain. *Biological Conservation*, 257, 109146, ISSN0006-3207. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109146>

De Gabriel, M., Roa, I., Fernández-Gil, J., Juan, J., Fuertes, B., Reguera, B. et al. (2022) Trends in weather conditions favor generalist over specialist species in rear-edge alpine bird communities. *Ecosphere*, 13, e3953. Available from: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3953>

Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H. et al. (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One*, 12(10), e0185809. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>

IPCC. (2022) Cross-chapter 5: mountains. In: climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A. et al. (Eds.). Cambridge University Press. In Press

Mora, A., Wilby, A. & Menéndez, R. (2022) Abandonment of cultural landscapes: butterfly communities track the advance of forests over grasslands. *Journal of Insect Conservation*, 26, 85–96. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10841-021-00365-0>

Pollard, E. & Yates, T.J. (1993) *Monitoring butterflies for ecology and conservation*. London: Chapman & Hall.

Warren, M.S., Maes, D., Van Swaay, C.A.M., Goffart, P., Van Dyck, H., Bourn, N.A.D. et al. (2021) The decline of butterflies in Europe: problems, significance and possible solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), e2002551117. Available from: <https://doi.org/10.1073/pnas.2002551117>

PATRIMONIO INDUSTRIAL HEREDADO Y PAISAJE MINERO EN LA ALTA MONTAÑA DEL MACIZO CENTRAL DEL PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA: EL COMPLEJO MINERO DE LAS GRAMAS

Serrano, E¹, Jordá, L², Sánchez Benítez, J³, Millán, JM³, Gómez Lende, M⁴, Jordá R⁵

1. Dpto. de Geografía, GIR-Pangea, Universidad de Valladolid
2. Departamento de Ingeniería del Terreno. Universidad Politécnica de Madrid
3. Club de Exploraciones Subterráneas ALFA. Madrid
4. Dpto. de Geografía, Universidad de Cantabria
5. ONG Geólogos del Mundo

La impronta minera en el Parque Nacional Picos de Europa (PNPE) es intensa, con un legado de elementos patrimoniales, propios de la arqueología industrial, que configuran verdaderos paisajes mineros en la alta montaña. El abandono y la potente dinámica natural han desfigurado estos paisajes y deteriorado los distintos elementos, de tal modo que en la actualidad observamos un paisaje parcialmente naturalizado, aunque mantiene las huellas de una actividad muy agresiva con el medio. Para interpretar el paisaje de alta montaña es importante estudiar los ambientes y elementos mineros desde una perspectiva cultural, pero también geoturística, como recurso para los senderistas que se acercan al Parque Nacional y para los guías locales e intérpretes de la naturaleza y del paisaje del PNPE. Es necesario completarlas las iniciativas que ya existen desde el PNPE incorporando otros lugares.

El sector minero de las Gramas se sitúa entre La Vueltona y Fuente Escondida, fue abandonado hace más de 100 años y aún conserva las huellas de la actividad minera tanto al exterior, muy desdibujadas, como en la mina subterránea. Los métodos de estudio han sido la exploración espeleológica; la topografía mediante métodos espeleológicos y técnicas de laser escáner; inventarios de los elementos con valor patrimonial del exterior (casetones, caminos, accesos, catas, útiles de selección) y del interior, tanto de las galerías y sus caracteres (rampas, comunicación, almacenes, tajos) como de los elementos (cestas de mineral, escaleras, vagonetas, testers, etc). La organización de los elementos y su clasificación funcional junto a las topografías permiten comprender y explicar los diferentes ambientes de trabajo mineros.

El complejo minero exterior consta de casetones, todos derruidos, escombreras, pistas carreteras, muleras y peoniles, catas superficiales y diferentes ambientes de trabajo. La mina subterránea comprende un sistema de galerías que alternan con los soplaos, cavidades naturales también utilizadas por los mineros. Sobresale en algunos casos la buena conservación de las galerías e infraestructuras mineras en el interior, así como de elementos (herramientas, testers, etc). En este trabajo se ha tratado de aunar el patrimonio del interior y del exterior para comprender el complejo minero en su conjunto, desde los trabajos de extracción y tratamiento del mineral hasta el paisaje. Todo ello ha permitido la reconstrucción de las labores mineras, la organización y desarrollo en el tiempo y en el espacio, las distintas fases de extracción con usos y técnicas diferenciadas.



El complejo minero de Las Gramas posee un importante potencial cultural y geoturístico integrado en el conocimiento de los paisajes del PNPE. El trabajo de análisis, cartografía e inventario han permitido realizar una propuesta de uso mediante un itinerario excursionista que debe ser guiado por intérpretes capaces de ofrecer una experiencia cultural a los visitantes, difícil sin un guía que muestre los elementos mineros en su contexto. Además de las rutas en el exterior, se plantea el elevado potencial de algunos sectores de las galerías para su adecuación a visitas guiadas y reguladas, orientadas al desarrollo de un turismo activo y cultural, de bajo impacto y sostenible, que enriquece la experiencia de los visitantes del PNPE.

Abstract. Industrial heritage and mining landscape in the high mountains of the central massif of the Picos de Europa national park: Las Gramas mining complex.

The mining footprints in the Picos de Europa National Park (PNPE) is intense, with a heritage typical of industrial archaeology, which configure mining landscapes in the high mountain. The mining abandonment and powerful natural dynamics have damaged these landscapes, and generated a partially naturalized landscape. To understand and interpret the high mountain landscape it is very important to study mining activity from a cultural perspective, but also geotouristic, as a resource for hikers, local guides and interpreters who work with groups interested in nature and the landscape of the PNPE.

The mining complex of Las Gramas is located between La Vueltona and Fuente Escondida, it was abandoned more than 100 years ago, and still preserves the mining activity elements. The study methods have been speleological exploration, the topography sketches using speleological methods and laser scanning techniques inside the mines, cartography and inventories of existing elements. These include both the exterior (houses, paths, accesses, selection tools) and the interior, where types of galleries (ramps, communications, warehouses and so on) and elements (ore baskets, ladders, waggons, testers, etc.) have been tell apart. The organization of the different elements and their functional classification, completed with topography, allows us to understand and explain the different mining work environments.

The exterior mining complex consists of houses, all collapsed, rubble, road, mules and pedestrian tracks, and different work environments. The underground mine comprises a system of galleries with different states of conservation that alternate with “soplaos”, natural cavities also used by miners. In some cases, the good conservation of galleries and mining infrastructures, as well as tools, testers, and so on, allow for the understanding of mining work. The aim of this work has been to combine the mining work inside and outside to understand together the mining complex, including the ore taking out and treatment, and the landscape legacy. All this has allowed the reconstruction of mining labour and development in time and in space, with different phases and taking out techniques.

Las Gramas mining complex has an important cultural and geotouristic potential. The analysis, cartography and inventory work allowed us to carry out a proposed use through an itinerary guided by interpreters, capable of offering a cultural experience to visitors. It is difficult to enjoy this experience without a guide that shows the mining elements in their context. In addition to the external routes, the



high potential of some sectors of the galleries is planted for their suitability for guided and regulated visits, oriented towards the development of active and cultural tourism, with low impact and sustainable, which enriches the experience of visitors of the PNPE.



DEPORTE, CONSERVACIÓN Y REACTIVACIÓN SOCIOECONÓMICA EN PICOS DE EUROPA

N. García Rodríguez (Doctora por la Universitat de València – Programa de Doctorado en Ciencias Sociales)

B. Santamarina Campos (Departamento de Sociología y Antropología Social, Facultad de Ciencias Sociales, Universitat de València)

T. Vicente Rabanaque (Departamento de Sociología y Antropología Social, Facultad de Ciencias Sociales, Universitat de València)

Resumen

En esta comunicación oral se presenta la investigación que ha dado por resultado la tesis doctoral Usos deportivos en el Parque Nacional de los Picos de Europa, defendida en la Universitat de València en abril de 2023. Se trata de una etnografía que tiene por objeto contribuir al conocimiento científico con datos empíricos sobre las relaciones entre las sociedades y su entorno, pero, de forma más específica, avanzar en el análisis de la patrimonialización natural y la terciarización de las zonas rurales montañosas; y en el estudio del impacto, gestión, percepciones, prácticas y lógicas narrativas en torno a las actividades deportivas en las Áreas Protegidas, en concreto, en el Parque Nacional de los Picos de Europa. En la actualidad la economía de los pueblos situados dentro y en los alrededores del mismo está volcada al sector servicios. En términos generales, la principal fuente de ingresos para las comunidades autóctonas es el turismo deportivo y de naturaleza; este constituye en Picos de Europa un sello de identidad y es el principal baluarte sobre el que se vuelcan las expectativas de desarrollo local. En este contexto, alcanzar el equilibrio entre necesidades de las poblaciones residentes, actividades de ocio en el medio montañoso y conservación de la biodiversidad constituye un desafío complejo que hemos analizado teniendo como referentes la perspectiva de la ecología política, y las aportaciones de la antropología de la conservación y la antropología del deporte.

Palabras clave:

Picos de Europa, Etnografía, Áreas Protegidas, Deporte, Desarrollo local.

Abstract

This presentation is about the research conducted for the doctoral thesis Sports-Related Use of the Picos de Europa National Park. The PhD thesis defense was publicly presented in April 2023 at the University of Valencia facilities. The aim of this ethnography is to contribute to scientific knowledge, via empirical evidence, about the relationships between societies and their environments, and more specifically, to make progress in the analysis of the patrimonialization of nature and the tertiarization of rural mountainous areas, as well as on the study of the impact, management, perceptions, practices and narratives regarding sport activities in protected areas, in the Picos de Europa National Park, in particular. Nowadays, the economy of the villages located inside and outside the park is focused on the services sector. In general terms, the main income source for the local communities is sports and nature tourism, which has become a distinguishing feature in

Picos de Europa and is the principal driver of local development. In this context, finding a balance between the needs of resident populations, recreational activities in mountainous areas, and biodiversity conservation is a complex goal, one which we have analyzed from the perspective of Political Ecology and with contributions from Anthropology of Conservation and Anthropology of Sport.

Keywords

Picos de Europa, Ethnography, Protected Areas, Sports, Local Development.

Introducción

Cuando en 1918 el territorio que abarca uno de los macizos de Picos de Europa (PE) y parte del término municipal de Cangas de Onís fue seleccionado para ser catalogado como Parque Nacional de la Montaña de Covadonga comenzó un proceso de patrimonialización natural que llega hasta la actualidad y que tuvo su punto álgido casi ocho décadas más tarde, con la declaración del Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE) en 1995. Un proceso que, a su vez, ha conllevado otros no menos importantes que tienen que ver con los diferentes usos y sistemas de ocupación del área analizada (West, Igoe y Brockington, 2006).

A través de la clasificación de esta zona de montaña como Parque Nacional (PN) se hizo patente la prescripción de determinados patrones cognitivos. El paisaje se ajustaba al prototipo decimonónico de wilderness, el cual defendía un modelo de naturaleza prístina, ampliamente demandado por quienes frecuentan las Áreas Protegidas (AP) (Beltran y Vaccaro, 2010). No obstante, más allá de los argumentos estéticos alegados para justificar la creación del PN, su declaración tenía como objetivo asignar valor a un espacio rural que ocupaba una posición marginal desde un punto de vista socioeconómico (Roigé, Frigolé y Del Mármol, 2017). De este modo, se fomentó el turismo de naturaleza bajo el axioma de contribuir a la rentabilidad financiera del entorno (Santamarina, 2019) y, a través del proceso de patrimonialización natural, los PE se convirtieron en un bien colectivo que había que conservar.

Desde entonces, y muy especialmente a lo largo de las últimas décadas, no solo ha aumentado de manera reseñable la afluencia de visitantes al Parque, sino también la valoración social y la práctica del deporte en el medio natural. Las causas de este cambio de paradigma responden a una relación multifactorial que tiene que ver tanto con razones intrínsecas, inherentes a la gestión y difusión del propio PN, como a otras extrínsecas de un calado político y sociocultural más amplio. De igual forma, se ha asistido a un incremento y diversificación en tipología de usos deportivos y en el perfil de las personas que los practican.

Si bien cada término municipal que aporta terreno al PNPE tiene su idiosincrasia y los deportes que más se realizan o los que más se promocionan varían en cuanto a afianzamiento, trayectoria histórica, grado de incidencia sobre el PN o peso en la economía, en términos generales se puede afirmar que no hay municipio del Área de Influencia Socioeconómica (AIS) del Parque que no reclame más recursos y equipamientos para posicionarlo en el mapa turístico. Hay que señalar que este territorio experimenta un descenso y envejecimiento de población debido, principalmente, a la baja natalidad, el éxodo rural hacia las ciudades, el declive del sector agropecuario, y la falta de perspectivas y empleo estable. Así pues, tanto desde instancias locales como supralocales se potencian iniciativas deportivas que aporten un valor añadido. Del mismo modo, se visibilizan los elementos de

la cultura local que más se ajusten a los hábitos de ocio contemporáneos para aumentar su competitividad en el mercado global y revitalizar la Comarca.

Objetivos

El objetivo general de nuestra investigación es aportar conocimiento científico sobre los cambios vinculados a las actividades deportivas desarrolladas en las AP; principalmente, en el PNPE. Esperamos que ello sea de utilidad para la gestión y la gobernanza socioambiental, y favorezca, a la vez, una discusión abierta y pública de los resultados.

Materiales y métodos

En primer lugar, se llevó a cabo la consulta y el análisis de fuentes secundarias; en particular, examinamos los datos estadísticos ofrecidos por diferentes fuentes sobre el AIS del PNPE, las distintas normativas existentes y la bibliografía académica relacionada con el tema de estudio para un mayor conocimiento y contextualización del AP. No obstante, para poder comprender los fenómenos sociales desde la perspectiva de sus miembros, así como para realizar un análisis denso de la protección y de la práctica deportiva teniendo en cuenta la amalgama de factores ecosociales y la interrelación de aspectos, elegimos como abordaje metodológico la etnografía. Así pues, entre 2017 y 2022 se realizaron 48 entrevistas etnográficas formales, numerosas entrevistas informales y observación participante, que fue registrada en un cuaderno de campo. Esta información cualitativa resultó fundamental para conocer de primera mano el territorio y poder recoger las percepciones y necesidades de la población local. En última instancia, para completar y contrastar la información, se realizó un análisis de contenido de publicidad, vídeos promocionales, documentales y programas de televisión, publicaciones en redes sociales, noticias de prensa, revistas especializadas, páginas web e informes medioambientales significativos para nuestra investigación.

Resultados

Hoy día, el principal motor financiero de la Comarca de PE recae en el sector de servicios, el cual ha orientado sus esfuerzos y expectativas hacia la promoción de un modelo de turismo rural y de naturaleza, donde el deporte desempeña un papel estratégico. Lidar con esta situación supone un desafío complejo para el equipo gestor; entre otros motivos, por la falta de capital humano y financiero, y porque se necesitan más estudios científicos que analicen los efectos que puede conllevar para el PNPE el crecimiento exponencial del deporte de naturaleza.

A continuación mencionamos algunos de los efectos más significativos de este modelo turístico en las edificaciones y en la fisonomía del paisaje; los riesgos ambientales que entraña; y los cambios que se producen en las esferas económica y social. Entre los primeros, cabe destacar los cambios en viviendas, cabañas, refugios y establos para su reutilización como aprovechamientos turísticos; los prados convertidos en zonas de aparcamiento; las vías ferratas y los pasos de montaña que se han equipado para facilitar el tránsito del colectivo excursionista. Desde el punto de vista ambiental, la magnitud y gravedad del impacto del deporte en PE depende, sobre todo, de la extensión, la intensidad y el momento de desarrollo de la actividad. Asimismo, como consecuencia del pisoteo o/y de la circulación constantes de coches y bicicletas, puede producirse el empobrecimiento

de la calidad del suelo; formarse calveros en los prados; crearse caminos alternativos; ensancharse las pistas de tierra; compactarse o erosionarse los suelos; y decrecer la altura de la cubierta vegetal. Otros efectos negativos de la presencia de más visitantes de los que el entorno puede aceptar sin sobrepasar su capacidad de regeneración natural son la contaminación acústica, lumínica y atmosférica; el aumento del número de especies antropófilas; el riesgo de que mueran animales por atropello; y la acumulación de residuos sólidos y líquidos. Si bien hay zonas del PNPE en las que se produce una saturación de visitantes, existen otras por las que apenas se transita. El paisaje y la diversidad biológica de los PE no solo se ven alterados por el incremento de la práctica deportiva, sino también por la desaparición de ciertos usos locales. Por ejemplo, al disminuir la ganadería y el pastoreo se produce un mayor cerramiento forestal y deterioro del medio, con el incremento del riesgo de incendio forestal que esto supone.

Aparte de en el espacio, en los PE la mayor parte del flujo de deportistas también se concentra en el tiempo (estacionalidad), cuestión que afecta a la temporada de apertura y contratación en el sector terciario. Una cuarta parte de los negocios solo ofrece sus servicios en las épocas del año de mayor actividad, lo que, en paralelo, dificulta la creación de puestos laborales indefinidos. Como hemos avanzado, el auge del deporte en el AP también tiene consecuencias sociales. Es indudable que fomenta hábitos saludables y repercute positivamente en la salud física, mental y emocional; acerca más a la sociedad a la naturaleza o dinamiza los pueblos del Parque. Como contrapartida, entre los efectos adversos conviene tener en cuenta varias consideraciones. En primer lugar, puede generar tensiones y sentimientos de rechazo entre residentes y visitantes. En segundo lugar, hay que sopesar su capacidad de contribuir a la creación de identidades territoriales ficticias o/y simplistas, resultantes del proceso de turistificación y mercantilización del entorno natural. Al respecto no hay que desestimar la posibilidad de convertir algunas localidades en pueblos postal, es decir, en espacios de ocio para el urbana durante ciertos periodos del año. Y en tercer lugar, en relación con los puntos anteriores, puede impactar de forma negativa en cómo la población autóctona reelabora el contenido y el significado de sus prácticas.

Según muestra el estudio (García, 2023), en PE las respuestas de cada comunidad local a la implantación u organización de proyectos deportivos no son, ni mucho menos, homogéneas. Tienen una mejor acogida si integran necesidades e intereses de la mayoría de los agentes locales; si estos obtienen beneficios directos de su celebración y si la población autóctona se ve representada en cierto modo en su proceso de desarrollo. Igualmente, las propias características sociodemográficas de los términos municipales del AIS condicionan en gran medida las percepciones de las/os residentes con relación a las iniciativas deportivas en la zona. En otro orden de cosas, los datos desvelan que hay ciertas cuestiones que están incidiendo negativamente en la siniestralidad del PNPE; lo que, a su vez, constituye otra dificultad a abordar. La menor presencia en el puerto de pastoras/es y ganaderas/os que pueden brindar ayuda en momentos puntuales, el aumento del número de personas aficionadas al deporte de naturaleza y el perfil de muchas de ellas son algunas de las causas del incremento de accidentes en estas montañas. Con relación al último punto, cabe decir que hay demasiados visitantes que llegan a Picos sin haber planificado bien su actividad, con el material inadecuado, y con escasa formación técnica o/y conocimiento del medio.

Conclusiones

A modo de conclusión, presentamos una serie de reflexiones críticas que alumbran algunas propuestas con valor prospectivo encaminadas a proponer alternativas a las principales limitaciones identificadas durante la investigación. De entrada, el aumento descontrolado de la práctica deportiva en el PNPE pondría en jaque la sostenibilidad ecosocial y supondría un perjuicio, tal vez inasumible, en términos sociosistémicos. Sin embargo, en el otro lado de la balanza, las dinámicas de regresión económica y demográfica no pueden prescindir en la actualidad de la inyección de ingresos que aporta el turismo deportivo de naturaleza. Máxime teniendo en cuenta que este modelo turístico se ha convertido en un sello de identidad y constituye el principal baluarte sobre el que se vuelcan las expectativas de reactivación socioeconómica de la zona. Así pues, la compatibilización de la conservación y del desarrollo local supone un auténtico reto para la gestión ambiental, más si cabe cuando desde el PN se debe hacer frente también a otros obstáculos.

Ante esta disyuntiva, resulta urgente abordar de forma más innovadora la gestión del PNPE. A nuestro modo de ver, convendría evolucionar hacia una gobernanza medioambiental que incorpore a la plantilla agentes con nuevas miradas y percepción holística, capaces de romper las inercias adquiridas y aportar soluciones creativas con potencial transformador. Asimismo, creemos necesario favorecer más encuentros y sinergias entre el espacio académico y el de la gestión ambiental, llevar a cabo una mayor transferencia de los resultados científicos a la sociedad, mejorar la mediación entre el equipo directivo del Parque y los colectivos que se ven afectados por las regulaciones del deporte de naturaleza, o abrir nuevos y más eficientes espacios de participación colectiva.

Como respaldo a lo apuntado, también consideramos importante romper con la relación dicotómica entre conocimiento científico acreditado versus conocimiento local y aunar diferentes disciplinas desde un enfoque relacional que preste más atención a la dimensión social de la conservación. En este sentido, la antropología social permite identificar las fuerzas supralocales que afectan a nivel micro, comprender los sistemas y las relaciones sociales, y analizar en profundidad contextos socioeconómicos, culturales y políticos. Por tanto, posee un potencial enorme para ofrecer perspectivas relevantes para la planificación y gestión de un espacio como es el PNPE.

De nuestro trabajo podemos afirmar que el contexto del PNPE es extremadamente complejo y que en él concurren actores con intereses divergentes e, incluso, irreconciliables. Quizás no sea eficiente buscar el consenso o aspirar a una situación aporoblemática. La buena gobernanza implica el reconocimiento de la diversidad y la integración de las tensiones inherentes desde un trabajo coordinado, colaborativo y en red entre la totalidad de agentes, así como entre los sectores público y privado. Dicho esto, hay que subrayar que el problema de infrafinanciación de las AP es un obstáculo mayúsculo; mientras las políticas conservacionistas sigan sin ofrecer los medios y los recursos humanos y económicos necesarios, será difícil garantizar la sostenibilidad del PNPE y, en general, de las AP.

Referencias bibliográficas

Beltran Costa, Oriol e Ismael Vaccaro (2010). Espacios rurales y especies salvajes. La construcción de la naturaleza como patrimonio en el Pallars Sobirà, Pirineo Catalán. Iñaki

Arrieta Urtizberea (coord.), *Museos y parques naturales. Comunidades locales, administraciones públicas y patrimonialización de la cultura y la naturaleza* (pp. 151-179). País Vasco: Universidad del País Vasco.

García Rodríguez, Noelia (2023). *Usos deportivos en el Parque Nacional de los Picos de Europa*. Valencia: Universitat de València.

Roigé, Xavier, Joan Frigolé y Camila del Mármol (coords.) (2017), *Construyendo el patrimonio cultural y natural. Parques, museos y patrimonio rural*. València: Germania, D.L.

Santamarina Campos, Beatriz (2019). El inicio de la protección de la naturaleza en España. Orígenes y balance de la conservación. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, (168), 55-72.

West, Paige, Jim Igoe y Dan Brockington (2006). Parks and Peoples: The Social Impact of Protected Areas. *Annual Review of Anthropology*, 35 (1), 255-277.



