CONSORCIO INTERAUTONÓMICO PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA

PICOS DE EUROPA PARQUE NACIONAL

unesco Programa sobre el Hombre y la Biosfera

RESERVA DE BIOSFERA Picos de Europa

II JORNADAS DE INVESTIGACIÓN DEL PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA • 2025

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

(6 Y 7 DE NOVIEMBRE DE 2025)

CENTRO DE ESTUDIOS LEBANIEGOS (POTES; CANTABRIA)



LIBRO DE ACTAS

ORGANIZA

CONSORCIO INTERAUTONÓMICO PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA

PICOS DE EUROPA PARQUE NACIONAL

Edita: Consorcio Interautonómico del Parque Nacional de los Picos de Europa
Imprime: Imprenta Álvarez (Mieres)
Depósito Legal: AS-02792-2026

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

(6 Y 7 DE NOVIEMBRE DE 2025))

CENTRO DE ESTUDIOS LEBANIEGOS (POTES; CANTABRIA)

ÍNDICE

Presentación 11

Ponencias Geología:

- LAS CUEVAS DE LOS PICOS DE EUROPA: DE LAS EXPLORACIONES ESPELEOLÓGICAS A LAS RECONSTRUCCIONES PALEOGEOGRÁFICAS Y PALEOAMBIENTALES CUATERNARIAS. 15

  Ballesteros, D. (Dpto. Ciencias de la Tierra , UNICAN)
  Álvarez Lao D. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  Álvarez Vena A .(Dpto. Geología. UNIOVI)
  Rodríguez Rodríguez,L. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  Sanjurjo, J. (Inst. Univ. de Geol. "Isidro Parga". UNIAC)
  Pérez Megías, C. (Inst. Global Environm. Change. XJUNIV)
  Valenzuela, P. (Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON)
  De Felipe, I. (Dpto. Geología. UNISAL)
  Cernadas, A. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  Domínguez Cuesta. M.J. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  Jiménez-Sánchez, M. (Dpto. Geología. UNIOVI)

- PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS ACTUALES EN LA MEDIA MONTAÑA DE ÁLIVA. 21

  Diez Fariñas. L. E. (UVA)
  Serrano, E. (UVA)
  Gómez Lende, M. (UNICAN)
  De San José. J. J. (UNIEX)

- EVOLUCIÓN TÉRMICA RECIENTE Y CORRELACIÓN CON MODELOS ERA5-LAND EN LAS CUEVAS HELADAS DE PICOS DE EUROPA. 29

  Gómez-Lende, M. (Dpto. Geografía. UNICAN)
  Serrano, E. (Dpto- Geografía. UVA)
  Conde-Oria, F.(Dpto. Geografía. UNICAN)

- TECTÓNICA Y RELIEVE: ESTRUCTURA DE LA CORTEZA TERRESTRE EN EL MACIZO DE PICOS DE EUROPA Y SU ENTORNO CONTINENTAL. 39

  Llana Fúnez, S. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  Fernández Viejo, G. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  López Fernández, C. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  Acevedo, J. (Dpto. Geología UNIOVI; TerraDat España)
  Olona, J. (TerraDat España. Parque Tecnol. Asturias)
  González-Cortina, J.M. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  Cadenas, P. (Inst. Ciències. Mar. CSIC. Barcelona)
  Pando, L.A. (Dpto. Geología. UNIOVI)
  Gutiérrez Medina, M. (Dpto. Geología. UNIOVI; IGME Asturias)
  Jiménez Sánchez, M. (IGME Asturias)

- HISTORIA Y DESARROLLO DE LAS EXPLORACIONES ESPELEOLÓGICAS (1971-2025) EN CAMALEÑO, MACIZO CENTRAL: UNA PUERTA A LA INVESTIGACIÓN. DE NUEVOS ENTORNOS 45

Sánchez Benítez, FJ. (Club. Espeleo. CES-ALFA)
Hivert, Benard. (Assoc. Spéleo. Charentaise. FR.)
Guillem, Éric (Assoc. Spéleo. Charentaise. FR.)

- DINÁMICA Y EVOLUCIÓN DE CONOS DE DERRUBIOS Y APLICACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS: QUINCE AÑOS DE ESTUDIO EN LA VUELTONA (2009-2024). 47

Serrano, E. (Dpto. Geografía. UVA)
De Sanjosé Blasco, J.J. (Dpto. Expresión Gráfica. UNIEX)
López, M. (Dpto. Mats. y Ciencia Comp.. UPM)
Alonso, E. (Dpto. Mats. Aplic. UPC)
Rodrigo, J.(Dpto. Mats. Aplic. UPC)
Gómez Gutiérrez, A. (Dpto. Geografía. UNIEX)
Gómez Lende, M. (Dpto. Geografía. UNICAN)

- HACIA UN INVENTARIO DE INESTABILIDADES DE LADERA EN LA RUTA DEL CARES (PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA, ESPAÑA). 49

Valenzuela, P. (Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON)
García Meléndez, E. (Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON
Ferrer Julià, M.(Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON)
Colmenero Hidalgo, E. (Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON)
Cruz, J.A. (Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON)
Rodríguez, I. (Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON)
Domínguez-Cuesta, M.J (Dpto. Geología. UNIOVI)
Almendros, P. (Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON)
Pereira, I. (Grup. Inves. Geolog. Amb. O-GEO. UNILEON).

- DESAPARICIÓN DEL LAGO DE ÁNDARA Y ESTUDIOS Y POSIBILIDADES DE RECUPERACIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO. 55

Samperio Calderón, J.M. (IES Potes; ACNAMA)
Ruiz Prieto, E. (IES Potes)
González García; C. (IES Potes)
Martínez Fernández, A. (IES Potes)
Ruiz Vázquez, P. (IES Potes)
Herrero Ruiz, J. (IES Potes)

Ponencias Ecología-Hábitats:

- ESTABLECIMIENTO Y CONSOLIDACIÓN DE LA PLATAFORMA LTSER – PICOS DE EUROPA EN LA RED ESPAÑOLA DE INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA A LARGO PLAZO 57

Barquín, J. (IHC – UNICAN)
García, M.B. (IPE – CSIC)

- ACTUALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MAPA DE HÁBITATS DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA MEDIANTE INTEGRACIÓN DE DATOS IN SITU Y TELEDETECCIÓN. 59

Álvarez Martínez, J.M. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
González Le Barbier, J. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
Valdés, A. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
Hernández Romero. G. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
Jiménez Alfaro, B. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)

Ponencias Agua:

- MEJORA DE LA CONECTIVIDAD FLUVIAL EN EL ENTORNO DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA. ACCIONES Y SEGUIMIENTO EN EL MARCO DEL PROYECTO DIVAQUA. 61

Peñas, F.J. (IHC – UNICAN)
Alvarez Cabria, M. (IHC – UNICAN)
Goldenberg Vilar, A. (IHC – UNICAN)
González Ferreras, A.M. (IHC – UNICAN)
Rodeles, A. A. (IHC – UNICAN)
Liaño, V. (IHC – UNICAN)
Saiz, A. (IHC – UNICAN)
Sanz-Ronda, F.J. (IHC – UNICAN)
Barquín, J. (IHC - UNICAN)

- EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN DE LOS REGÍMENES HIDROLÓGICOS, TÉRMICOS Y METABÓLICOS PRODUCIDA POR APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS EN EL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA. 69

Zarauza Martínez, R. (IHC – UNICAN)
Peñas Silva, F.J. (IHC – UNICAN)
Rodeles, A. A. (IHC – UNICAN)
Goldenberg Vilar, A. (IHC – UNICAN)
Barquín, J. (IHC - UNICAN)

- ESTIMACIÓN DE TASAS DE RESPIRACIÓN DE LOS DISTINTOS COMPARTIMENTOS DE LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES: LOS PROYECTOS RIUCO Y BIORESP. 77

González Ferreras, A.M. (IHC – UNICAN)
O'Gorman, E. (University of Essex)
Alvarez Cabria, M. (IHC – UNICAN)
Peñas Silva, F.J. (IHC – UNICAN)
Barquín, J. (IHC - UNICAN)

- SEGUIMIENTO DE LOS CAMBIOS PRODUCIDOS EN HUMEDALES DE MONTAÑA TRAS LA LIMITACIÓN DE ACCESO DEL GANADO 83

Vélez Martín, A. (IHC – UNICAN)
Barquín, J. (IHC – UNICAN)

Ponencias Parque Nacional invitado: Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido
- DENTRO DEL PERMAFROST DE MONTAÑA: CUEVAS HELADAS COMO HERRAMIENTAS PARA EL ESTUDIO DEL PERMAFROST ACTUAL Y PASADO. 91
  Moreno, A. (IPE – CSIC)
  Bartolomé, M. (MNCN – CSIC)
  Jiménez, R (IPE – CSIC)
  Bielsa, M. (IPE – CSIC)

- MONITARIZACIÓN DEL GLACIAR DE MONTE PERDIDO, ¿QUÉ NOS DICE SU EVOLUCIÓN RECIENTE? 95
  Beltrán Audea, F. (PNOMP)

- PROGRAMA DE SEGUIMIENTO ECOLOGICO EN EL PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO. 113
  Gómez Pellicer, I. (SARGA)

Ponencias Flora:
- GERMINACIÓN DE LA FLORA ALPINA EN EL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA. 117
  Espinosa del Alba, C. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  Fernández Pacual, E. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  Jiménez Alfaro, B. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)

- PORTAL DE LA FLORA Y LOS HÁBITATS DE LA REGIÓN IBERO-ATLÁNTICA. 125
  Jiménez Alfaro, B.(IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  González Le Barbier, J. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  Hernández Romero. G.(IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  Valdés Rapado, A. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  Álvarez Martínez, J.M. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)

- MONITOREO DE LA VEGETACIÓN MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE OBSERVACIONES SATELITALES Y MUESTREOS DE VEGETACIÓN. 127
  Valdés Rapado, A. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  Álvarez Martínez, J.M. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  Hernández Romero. G.(IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  González Le Barbier, J. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
  Jiménez Alfaro, B.(IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)

Ponencias Fauna:
- EL ABANDONO RURAL Y SU IMPACTO EN LA BIODIVERSIDAD: ECOLOGÍA Y DINÁMICA DE LAS POBLACIONES DE MARIPOSAS EN EL PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA. 129
  Mora Cabello de Alba, A. (PNPE)

- ESTUDIO DE GARRAPATAS EN EL PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA (2019-2025). 131
González Álvarez-Cienfuegos, G. (A.T. de TRAGSATEC al PNPE)

- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA DINÁMICA DE LA INFECCIÓN POR HONGOS QUITRIDIOS Y RANAVIRUS EN LOS ANFIBIOS DE PICOS DE EUROPA. 137
Bosch Pérez, J. (IMIB – CSIC)
Thumsová, B. (IMIB – CSIC)

- CONSTRUCCIÓN DE RELACIONES ÁREA-PESO PARA LA ESTIMA DE BIOMASA DE MACROINVERTEBRADOS FLUVIALES EN RÍOS DE LA CORDILLERA CANTÁBRICA. 139
Río Lado, I. (IHC – UNICAN)
Álvarez Cabria, M. (IHC – UNICAN)
Barquín Ortiz, J. (IHC – UNICAN)

- USO DE METABARCODING VS CEBADORES ESPECÍFICOS PARA ESTIMAR LA BIOMASA Y DENSIDAD DE SALMO TRUTTA EN ARROYOS DE MONTAÑA. 145
Goldenberg Vilar, A. (IHC – UNICAN)
Morán Luis, M. (IHC – UNICAN)
Losa Calleja, A.M. (IHC – UNICAN)
Barquín Ortiz, J. (IHC – UNICAN)
Vieites Rodríguez, D. (IIM – CSIC)
Monteoliva, A. (ECOHYDROS)

- SEGUIMIENTO DE POBLACIONES Y COMUNIDADES DE ABEJORROS EN EL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA Y CORDILLERA CANTÁBRICA. 153
Laiolo, P. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
Obeso, J.R. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)

- MEJORANDO LA DETECCIÓN DEL ENVENENAMIENTO DE FAUNA PARA EVALUAR SU RIESGO Y OPTIMIZAR SU GESTIÓN. 157
Rodríguez Pérez, J. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
Fernández García, M. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
Mateo Tomás, Patricia (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)
López Bao, J.V. (IMIB – CSIC; Dpto. Biol. Orgs. y Sistms. UNIOVI)

Ponencias otras materias:
- ESTUDIO SOCIOECONÓMICO, DESPOBLACIÓN Y RETO DEMOGRÁFICO EN EL PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA. 159
Samperio Calderón, J.M. (IES Potes; ACNAMA)
Ruiz Prieto, E. (IES Potes)
González García; C. (IES Potes)

Martínez Fernández, A. (IES Potes)
Ruiz Vázquez, P. (IES Potes)
Herrero Ruiz, J. (IES Potes)

ACRÓNIMOS:

- CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

IES Potes: Instituto de Educación Secundaria "Jesús de Monasterio", de Potes.

- IIM: Instituto de Investigaciones Mariñas.
- IMIB: Instituto Mixto de Investigación en Biodiverdidad.
- IPE: Instituto Pirenaico de Ecología.
- MNCN: Museo Nacional de Ciencias Naturales.
- PNOMP: Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.
- PNPE: Parque Nacional de los Picos de Europa.
- SARGA: Sociedad Aragonesa de Gestión Agroambiental.
- TRAGSATEC: Tecnologías y Servicios Agrarios (Grupo TRAGSA)
- UNIAC: Universidad de A Coruña.
- UNICAN: Universidad de Cantabria.
- UNIEX: Universidad de Extremadura.
- UNIOVI: Universidad de Oviedo.
- UNISAL: Universidad de Salamanca.
- UPC: Universidad Pontificia de Comillas.
- UVA: Universidad de Valladolid.
- XJUNIV: Xi'an Jiaotong University (China)



PRESENTACIÓN

En la Presentación del Libro de Actas de las I Jornadas de Investigación de este Parque Nacional recordábamos lo que dice el artículo 4, *"Caracterización"* de la Ley 30/2014, de 3 de Diciembre, de Parques Nacionales para definir a estos singulares espacios:

"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."

Igualmente, se destacaba que 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.

Todo ello para concluir que los Parques Nacionales reúnen 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), próximo a ser renovado, 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"*. El Proyecto de nuevo Plan Director de la Red, que debería ver la luz como muy tarde el próximo mes de Octubre, realza aún más, si cabe, el valor de la investigación en estos espacios naturales ciertamente preservados, pero amenazados actualmente por múltiples riesgos, del que el cambio global en el que estamos inmersos no es el menor.

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 MITECO, 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, como consolidación de su carácter de nodo LTSER dentro de LTER España, el organizar estas Segundas Jornadas de Investigación, que asientan lo ya logrado con su primera edición y confirman su 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 servido, como ya lo hicieron las Primeras, como punto de encuentro, debate y coordinación de los equipos científicos encargados del desarrollo de los Proyectos de investigación, 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 continuado con la iniciativa, plasmada ya en la edición de 2023, en la que se contó con la participación del Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, de invitar para cada edición a un Parque Nacional de la Red para que presente una selección de sus Proyectos de investigación finalizados o en curso. En esta ocasión el Parque invitado, continuando con una primera tanda de espacios de montaña, ha sido el de Ordesa y Monte Perdido, Parque Nacional aún más hermano si cabe, por su creación coetánea con el de la Montaña de Covadonga. Los compañeros Técnicos de Ordesa han presentado unas muy interesantes iniciativas de seguimiento de hábitats y especies en su espacio, la singularidad de sus cuevas heladas y la evolución de sus glaciares, tan afectados por la negativa evolución climática. El de Ordesa es un Parque Nacional que destaca por su muy depurada e intensa labor investigadora, fuertemente apoyada por el Instituto de Estudios Pirenaicos de Jaca (CSIC) y que destaca el gran trabajo que, al respecto, desarrolló desde su Dirección nuestra compañera Elena Villagrasa Ferrer, tristemente desaparecida en 2025 pero cuya labor trascenderá sin duda durante lustros.

Hay otra cuestión que ha diferenciado a estas II Jornadas de las ya celebradas en 2023 en Posada de Valdeón y que es que, por primera vez y tal y como ya se anunciaba que era el interés del Parque Nacional al lanzar la iniciativa de las Jornadas, un Instituto de Enseñanza Secundaria, concretamente el "I.E.S. Jesús de Monasterio", por medio de su científicamente inquieto profesorado y de sus alumnos, ha presentado dos ponencias y posters a las Jornadas. Le exposición de una sus ponencias, basada en la evolución del despoblamiento en Liébana y en los valores etnográficos que pueden perderse, realizada por parte del alumnado, fue uno de los momentos más destacables de las Jornadas

El presente Libro de Actas recoge, por tanto, las ponencias presentadas a las II Jornadas de Investigación del Parque Nacional de los Picos de Europa, que se celebraron los días 6 y 7 de Noviembre del 2025 en el Centro de Estudios Lebaniegos "Don Desiderio Gómez Señas", en la bella villa de Potes, auténtico polo de atracción del Oriente del Parque Nacional en su vertiente cántabra.

La Comisión de Gestión del Parque Nacional quiere destacar la dedicación del personal técnico del mismo para lograr la organización de las Jornadas, así como la vinculación que, para su perfecto desarrollo, ha tenido todo el personal del

Centro de Visitantes de “Sotama”. Ello permite ver en un horizonte ya cercano la nueva edición de las Jornadas, que se desarrollarán, si nada lo impide, en 2027.

Santander, Noviembre del 2025

María Jesús Susinos Tarrero
Presidenta de la Comisión de Gestión del Parque Nacional
de los Picos de Europa durante 2025

LAS CUEVAS DE LOS PICOS DE EUROPA: DE LAS EXPLORACIONES ESPELEOLÓGICAS A LAS RECONSTRUCCIONES PALEOGEOGRÁFICAS Y PALEOAMBIENTALES CUATERNARIAS

Daniel Ballesteros[1], Diego Álvarez-Lao[2], Adrián Álvarez-Vena[2], Laura Rodríguez-Rodríguez[2], Jorge Sanjurjo[3], Carlos Pérez-Megías[4], Pablo Valenzuela[5], Irene deFelipe[6], Antonio Cernadas[2], María Jose Domínguez-Cuesta[2] y Montserrat Jiménez-Sánchez[2].

[1] *Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Universidad de Cantabria. Avda. de los Castros s/n, 39005 Santander, España. ballesterosd@unican.es*
[2] *Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. c/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, España.*
[3] *University Institute of Geology Isidro Parga Pondal, University of A Coruña. Campus de Elviña s/n, 15011, A Coruña, España.*
[4] *Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University. 710049 Xi'an, China.*
[5] *Grupo de Investigación Geología Ambiental, Cuaternario y Geodiversidad (Q-GEO), Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, Campus de Vegazana s/n, 24071, León (España)*
[6] *Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37007 Salamanca, España.*

Resumen

El Parque Nacional de los Picos de Europa destaca a nivel internacional por albergar la mayor concentración de cuevas profundas del mundo, con unos 460 km de conductos kársticos documentados hasta la fecha por los equipos de espeleología. En su interior se conservan abundantes espeleotemas, así como sedimentos fluviales y gravitacionales, que en ocasiones contienen restos fósiles de macro y micromamíferos. Estos sedimentos constituyen registros naturales únicos para reconstruir la evolución ambiental del Parque durante el Cuaternario. El objetivo de este trabajo es actualizar el estado del conocimiento sobre las reconstrucciones paleogeográficas y paleoambientales obtenidas a partir de los registros de cuevas. Dichos estudios han revelado, entre otros aspectos, la presencia en el pasado de rocas detríticas cubriendo las actuales calizas, variaciones en la circulación de los ríos superficiales y de las aguas subterráneas, avances y retrocesos de los paleoglaciares, así como la existencia de micromamíferos y grandes herbívoros en el pasado, como rebecos o bueyes almizcleros.

Palabras clave Cueva, Karst, Picos de Europa, Geomorfología, Paleontología

Abstract

The Picos de Europa National Park stands out internationally for hosting the highest concentration of deep caves in the world, with approximately 460 km of karstic conduits documented to date by speleological teams. Inside these caves, abundant speleothems are preserved, along with fluvial and gravitational sediments that occasionally contain fossil remains of macro- and micromammals.

These sediments constitute unique natural archives that are highly valuable for reconstructing the Park's environmental evolution during the Quaternary. The aim of this study is to update the current state of knowledge regarding paleogeographic and paleoenvironmental reconstructions derived from cave records. These studies have revealed, among other aspects, the past presence of detrital rocks covering the present limestones, variations in the circulation of surface rivers and groundwater, advances and retreats of paleoglaciers, as well as the former presence of micromammals and large herbivores, such as chamois or musk oxen.

Keywords Cave, Karst, Picos de Europa, Geomorphology, Palaeontology

Introducción

Los Picos de Europa destacan a escala internacional por albergar la mayor densidad de cuevas profundas del planeta, incluyendo aproximadamente el 13 % de las simas con más de 1 km de profundidad conocidas a nivel mundial (Ballesteros, Fernández-Martínez, et al., 2019). Estas cavidades contienen conductos y registros que constituyen indicadores clave de la evolución geográfica y ambiental de la región. No obstante, el estudio científico detallado de este patrimonio subterráneo se ha limitado hasta la fecha a alrededor del 7 % de las cuevas conocidas. El objetivo de este trabajo es sintetizar el conocimiento existente sobre la evolución paleogeográfica y paleoambiental del Parque Nacional de los Picos de Europa a partir del análisis de la formación y el relleno de sus cuevas kársticas.

Metodología

El estudio de las cuevas se ha basado en la cartografía espeleológica detallada de las cavidades, complementada con investigaciones geomorfológicas realizadas directamente en cuevas de los macizos oriental y occidental, que en conjunto representan aproximadamente el 32 % del total de cuevas conocidas en los Picos de Europa. La cronología de las cavidades se ha establecido a partir de 62 dataciones U-Th efectuadas sobre espeleotemas hallados en ambos macizos, así como de cuatro dataciones OSL realizadas en sedimentos detríticos de una cueva próxima a los Lagos de Covadonga y dataciones de edad de enterramiento Al/Be en el norte del macizo occidental. Los fósiles de macromamíferos encontrados en las cuevas fueron objeto de estudios paleontológicos, apoyados por cuatro dataciones mediante radiocarbono.

Resultados

Hasta la actualidad, los equipos espeleológicos han descubierto y documentado en torno a 3.600 cuevas en los Picos de Europa, que suman aproximadamente 460 km de conductos subterráneos distribuidos entre cotas de 200 y 2.600 m de altitud (Figura 1) (Ballesteros, Fernández-Martínez, et al., 2019). Aunque el ritmo de las exploraciones ha disminuido en los últimos años, continúan descubriéndose anualmente entre 5 y 10 km de nuevos conductos. La mayor parte de estos se localiza en la zona vadosa actual del acuífero kárstico, generalmente entre 50 y 1.200 m por encima del nivel freático actual. Por el contrario, las cuevas desarrolladas en la zona freática son escasamente conocidas. El acuífero kárstico está fuertemente compartimentación por la presencia de cuarcitas y pizarras, litologías que apenas afloran en superficie (Ballesteros et al., 2015). Estas zonas

freáticas drenan a través de surgencias situadas entre los 145 y 400 m de altitud, si bien en el norte del macizo occidental la mayoría de los principales manantiales kársticos se localizan entre 835 y 1.460 m.

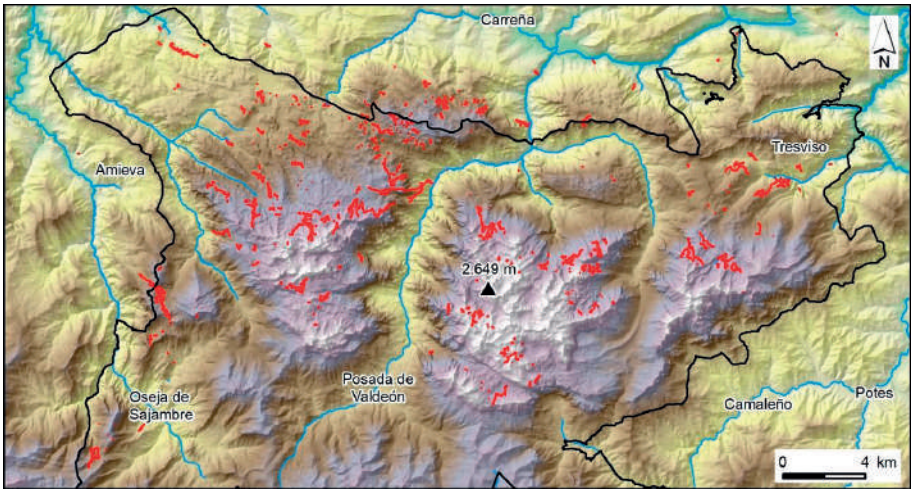


Figura 1. Principales cuevas kársticas exploradas por los equipos espeleológicos en el Parque Nacional de los Picos de Europa.

Las cuevas de los Picos de Europa están formadas aproximadamente por un 40 % de conductos freáticos y epifreáticos de sección circular a elíptica, un 40% de cañones vadosos con alturas entre 10 y 100 veces superiores a su anchura, un 9% de pozos vadosos que alcanzan profundidades de hasta 350 m, y un 5% de pasajes subterráneos modificados por procesos gravitacionales. Los conductos freáticos y epifreáticos se distribuyen entre los 200 y 2.500 m de altitud, se originaron bajo el nivel freático y aparecen concentrados en determinadas cotas altitudinales, formando los denominados niveles de cuevas o galerías. Estos niveles han sido utilizados para reconstruir las posiciones antiguas del nivel freático, lo que ha permitido cuantificar el descenso progresivo del mismo como consecuencia del encajamiento fluvial.

La mayor concentración de niveles freáticos se sitúa entre los 800 y 1.300 m de altitud, coincidiendo con la abundancia de espeleotemas y de depósitos detríticos fluviales y de aguas tranquilas en las cuevas. Los sedimentos detríticos incluyen arenas de cuarzo o carbonatadas (Ballesteros et al., 2017), cantos de areniscas y pizarras rojizas, bloques erráticos formados por calizas distintas de la roca encajante de la cueva, así como fósiles tanto de micromamíferos, como Plyomis coronensis, como de grandes mamíferos, entre ellos rebeco, oso pardo, oso de las cavernas, buey almizclero y cabra ibérica (Álvarez-Lao et al., 2020; Ballesteros et al., 2020).

Evolución paleogeográfica y paleoambiental

Considerando las tasas de encajamiento fluvial estimadas para los Picos de Europa, las cuevas más antiguas preservadas en las zonas más elevadas del macizo pudieron haberse originado hace entre 5 y 10 millones de años (Ballesteros, Gi-

ralt, et al., 2019). En ese momento, el relieve presentaría una configuración regional similar a la actual, y la superficie topográfica estaría dominada por areniscas y pizarras rojizas del Pérmico y Triásico, bajo las cuales se encontraban las calizas carboníferas. Este contexto explica la presencia de cantos de areniscas y pizarras rojizas conservados en algunas cuevas, especialmente en los macizos oriental y occidental (Ballesteros, Giralt, et al., 2019). Sobre las pizarras y areniscas se formaron cuencas fluviales conectadas con conductos freáticos y epifreáticos que actualmente se sitúan por encima de los 2.200 m de altitud. Posteriormente, durante el Pleistoceno, se produjo un intenso encajamiento de la red fluvial erosionando gran parte de las areniscas y pizarras, lo que permitió el masivo afloramiento de las calizas carboníferas en supercicie. Este proceso ocasionó un reordenamiento de los flujos de las aguas superficiales y subterráneas, originando ríos que nacen de manantiales kársticos, como el río Casaño, el río Urdón o el Hunhumia (Ballesteros, Giralt, et al., 2019).

Paralelamente, tuvo lugar sucesivas etapas de relleno sedimentario y de erosión de los conductos kársticos. Las dataciones U-Th de espeleotemas han permitido identificar una etapa regional de sedimentación de entre 225 y 145 ka, reconocida también en otras cuevas de la Cordillera Cantábrica (Ballesteros, Giralt, et al., 2019). Posteriormente, durante la primera mitad de la última glaciación, se produjo la erosión de una parte significativa de estos rellenos, intercalada con episodios sedimentarios puntuales. En algunas cavidades se registró la entrada de sedimentos glaciares y fluvioglaciares, conservados como depósitos de harina glaciar y bloques erráticos (Ballesteros et al., 2020). En estos niveles se hallaron restos de micromamíferos a cotas cercanas a los 1.400 m, lo que indica el retroceso de los glaciares y el establecimiento temporal de condiciones climáticas templadas.

En otras cuevas se depositaron limos y arcillas asociados inundaciones vinculadas al colapso de glaciares o a la obstrucción glaciar de surgencias kársticas situadas entre 800 y 1.400 m en el macizo occidental, durante la máxima expansión local de los glaciares (Ballesteros et al., 2017). Tras la máxima extensión local, establecida en torno a 45 ka, no se reconocen evidencias significativas de karstificación, probablemente debido a la aridez que afectó al norte de la península Ibérica, reduciendo la infiltración de agua y el desarrollo de la cubierta edáfica y vegetal (Ballesteros, Giralt, et al., 2019).

Durante este periodo árido se alternaron episodios fríos, evidenciados por la presencia de bueyes almizcleros en cuevas situadas a unos 800 m de altitud, con fases más templadas caracterizadas por la proliferación de rebecos, cuyos restos se han hallado en cavidades a unos 1.400 m (Álvarez-Lao et al., 2020). A partir de los 25 ka se produjo un aumento de las precipitaciones y de la karstificación, dando lugar a la mayor parte de los espeleotemas actualmente existentes en los Picos de Europa (Ballesteros, Giralt, et al., 2019). El encajamiento fluvial continuó, especialmente en el norte del macizo occidental, donde los niveles freáticos y las surgencias se sitúan por encima de los 800 m. Durante al menos el Holoceno se documentan restos de osos pardos y cabras ibéricas en cuevas situadas hasta los 2.200 m de altitud.

Conclusiones

El estudio de las cuevas exploradas por los equipos espeleológicos en los Picos de Europa permite aproximarse a la evolución del relieve del Parque Nacional durante el Cuaternario, caracterizada por el levantamiento del macizo, el encajamiento progresivo de los ríos y la reorganización de los flujos freáticos subterráneos. Los registros de cuevas revelan la existencia de una etapa regional de agradación sedimentaria en el endokarst entre 225 y 145 ka, seguida de una fase dominada por la erosión, con episodios sedimentarios locales vinculados a la dinámica glaciar. Asimismo, los fósiles hallados en las cuevas evidencian el retroceso de los glaciares y el desarrollo de condiciones templadas durante algunos momentos del MIS 4, así como una etapa árida posterior a los 45 ka, con alternancia de episodios fríos y templados en la primera mitad del MIS 3.

Agradecimientos Agradecemos a los equipos espeleológicos su labor y su cooperación en los estudios científicos realizados. Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento a la dirección y a la guardería del Parque Nacional, a los Gobiernos de Cantabria, Castilla y León y del Principado de Asturias, así como al camping Picos de Europa y a los pastores y pastoras de Onís, Cangas de Onís y Cabrales, y al Ayuntamiento de Onís. Se han empleado herramientas de inteligencia artificial en la redacción de este trabajo, si bien su concepción, ejecución y desarrollo son responsabilidad exclusiva del equipo investigador.

Referencias

Álvarez-Lao, D. J., Ballesteros, D., Rivals, F., Álvarez-Vena, A., Valenzuela, P., & Jiménez-Sánchez, M. (2020). First occurrence of musk ox Ovibos moschatus in the Late Pleistocene (MIS 3) record from NW Iberia: Paleobiogeographic and paleoenvironmental implications. Quaternary Science Reviews, 238. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106336

Ballesteros, D., Álvarez-Vena, A., Monod-Del Dago, M., Rodríguez-Rodríguez, L., Sanjurjo-Sánchez, J., Álvarez-Lao, D., Pérez-Mejías, C., Valenzuela, P., DeFelipe, I., Laplana, C., Cheng, H., & Jiménez-Sánchez, M. (2020). Paleoenvironmental evolution of Picos de Europa (Spain) during marine isotopic stages 5c to 3 combining glacial reconstruction, cave sedimentology and paleontological findings. Quaternary Science Reviews, 248, 106581. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106581

Ballesteros, D., Fernández-Martínez, E., Carcavilla, L., & Jiménez-Sánchez, M. (2019). Karst cave geoheritage in protected areas: characterisation and proposals of management of deep caves in the Picos de Europa National Park (Spain). Geoheritage, 11(4), 1919–1939. https://doi.org/10.1007/s12371-019-00416-8

Ballesteros, D., Giralt, S., García-Sansegundo, J., & Jiménez-Sánchez, M. (2019). Quaternary regional evolution based on karst cave geomorphology in Picos de Europa (Atlantic Margin of the Iberian Peninsula). Geomorphology, 336, 133–151. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.002

Ballesteros, D., Jiménez-Sánchez, M., Giralt, S., DeFelipe, I., & García-Sansegundo, J. (2017). Glacial origin for cave rhythmite during MIS 5d-c in a glaciokarst landscape, Picos de Europa (Spain). Geomorphology, 286, 68–77. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.03.014

Ballesteros, D., Malard, A., Jeannin, P. Y., Jiménez-Sánchez, M., García-Sansegundo, J., Meléndez-Asensio, M., & Sendra, G. (2015). KARSYS hydrogeological 3D modeling of alpine karst aquifers developed in geologically complex areas: Picos de Europa National Park (Spain). Environmental Earth Sciences, 74(12), 7699–7714. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4712-0

PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS ACTUALES EN LA MEDIA MONTAÑA DE ÁLIVA

Luis Ernesto Diez Fariñas[1*], Enrique Serrano[1], Manuel Gómez Lende[2], José Juan de San José[3].

[1] *University of Valladolid, Valladolid, Spain*
[2] *University of Cantabria, Santander, Spain*
c/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo, España.
[3] *University of Extremadura, Cáceres, Spain*

Resumen
Los Picos de Europa es un macizo calcáreo y atlántico donde los ríos Deva, Cares, Dobra, Duje y Sella inciden en desfiladeros profundos e incrustados, este macizo a su vez se divide en tres. En el Macizo Central o Macizo de Urrielles tenemos los Puertos de Áliva que se sitúan entre el grupo de Peña Vieja y el Macizo Oriental o Andara, formado por una sucesión de pizarras negras intercaladas con conglomerados de calizas, calizas y areniscas. El objetivo de esta investigación es conocer los procesos actuales en Áliva y para ello se ha realizado un control de las diferentes formas que tenemos en la zona de estudio, taludes, lóbulos, terrazas, bloques aradores, badlands y deslizamientos.

Las técnicas utilizadas dentro de la interferometría de radar (InSAR) han sido PS_InSAR y SBAS_InSAR. Los resultados muestran que la técica PS_InSAR no es viable en nuestra zona de estudio, por lo que se determina la aplicación de la segunda dando como resultados valores sobre el fondo del valle y laderas desde los 6 mm/a hasta los 28 mm/a durante los años 2018- 2024.

Palabras claves: levantamiento geomático, periglaciar, Picos de Europa, Procesos actuales

ABSTRACT
Picos de Europa is a limestone and Atlantic massif where the rivers Deva, Cares, Dobra, Duje and Sella have an impact on deep and embedded gorges, this massif in turn is divided into three. In the Central Massif or Urrielles Massif we have the Áliva Ports that are located between the Peña Vieja group and the Eastern Massif or Andara, made up of a succession of black slates interspersed with limestone, limestone and sandstone conglomerates. The objective of this research is to know the current processes in Áliva and for this purpose a control of the different forms that we have in the study area has been carried out, slopes lobes, terracettes, ploughing blocks, badlands and slides.
The techniques used within radar interferometry (InSAR) have been PS_InSAR and SBAS_InSAR. The results show that the PS_InSAR technique is not viable in our study area, so the application of the second technique is determined, resulting in values on the valley floor and slopes from 6 mm/a to 28 mm/a during the years 2018-2024.

keywords: geomatic survey, periglacial, Picos de Europa, Current processes

1. Introducción

Las montañas constituyen uno de los ambientes más sensibles a los cambios climáticos y ambientales, por lo que el estudio de su dinámica geomorfológica resulta clave para conocer las 17 repercusiones de los cambios actuales en éste y otros medios (Serrano Cañadas et al., 2011). Por ello, actualmente existe un interés creciente en el estudio de la relación entre los procesos y sus ritmos y las variaciones climáticas, por lo que se hace esencial el control de procesos y su dinámica mediante precisas y continuas observaciones de campo (Serrano Cañadas et al., 2011).

La evolución y actual dinámica geomorfológica de la montaña es fundamental para entender la configuración de sus paisajes (Ballantyne, 2002) y Picos de Europa es un excelente ejemplo de ello.

Esta investigación se centra en la comparación entre dos métodos de interferometría de radar (InSAR) para estimar los cambios que puedan estar produciéndose en los Puertos de Áliva. El radar de apertura sintética interferométrica diferencial (DinSAR) es una técnica potente para la detección y el monitoreo continuo de la deformación de la superficie terrestre, gracias a su rentabilidad y alta precisión en el análisis de extensas áreas. El DinSAR utiliza un par de imágenes SAR de valores complejos, adquiridas en diferentes momentos y desde posiciones orbitales ligeramente distintas, para generar interferogramas(Chen et al., 2021). La diferencia de fase obtenida de las dos adquisiciones se puede convertir en desplazamiento de la superficie terrestre a lo largo de la línea de visión (LOS) del satélite(Zhao et al., 2015). Los métodos de interferometría multitemporal, es decir, los dispersores permanente (PS) (Ferretti et al., 2000); y el subconjunto de pequeña línea base (SBAS)(Berardino et al., 2002), superan la limitación de la perturbación de fase DinSAR, como los artefactos atmosféricos y las imprecisiones topográficas.

La técnica PS-InSAR genera interferogramas diferenciales con un maestro común que identifica reflectores puntuales persistentes, como estructuras y rocas. Se aplica generalmente para analizar la deformación que afecta áreas urbanas, donde el número de dispersiones persistentes es mayor que en entornos naturales. Esta técnica considera un modelo de deformación (generalmente lineal), evitando el filtrado de fase y el desenvolvimiento, simplificando la cadena de procesamiento en comparación con SBAS.(Chen et al., 2021).

La técnica SBAS-InSAR se basa en una red redundante de pares de imágenes, con una línea base espacial corta y temporal moderado, que detecta la evolución temporal de las deformaciones superficiales y aumenta la cobertura espacial, especialmente en áreas no urbanas. Esta técnica extrae las series temporales de deformación de las fases filtradas y desenrolladas observadas. Debido al gran número de interferogramas que se genera, esta técnica requiere más desde el punto de vista computacional y de la intervención del operador (Chen et al., 2021).

2. Área de estudio

El sector denominado como Puertos de Áliva constituye un área relativamente deprimida entre el Grupo Peña Vieja, del macizo central, y el macizo oriental o de Andara, en los Picos de Europa (Ilustración 1). Los Puertos de Áliva se extienden

entre 1.450 y 1.850 m de altitud y están constituidos por una sucesión de pizarras negras con intercalaciones de conglomerados calcáreos, calizas y areniscas, la Formación Lebeña, que contrasta con el entorno calcáreo de las Formaciones Picos de Europa y Calizas de Montaña. Estas últimas generan paredes verticales en los dos macizos que circunvalan los Puertos de Áliva, y también las cumbres del Cueto de Juan Toribio, klippe tectónica, que divide Áliva y Las Salgardas.(Juan et al., 2016)

El modelado dominante es glaciar, con presencia de circos glaciares, umbrales sobre calizas y un importante sistema morrénico frontal, en Las Salgardas, y lateral de obturación en el Duje (González Trueba, 2007). La litología ha determinado la presencia de una zona deprimida, con laderas de pendiente más moderada, la existencia de fuentes en los contactos con las calizas que generan una escorrentía superficial e incisiones fluviales. Las laderas poseen un pequeño recubrimiento coluvionar en el que se desarrollan formas netamente diferenciadas del entorno kárstico. Entre estas formas sobresalen los lóbulos, las terracillas, bloques aradores, cárcavas, deslizamientos de ladera y desprendimientos. La nitidez de las formas de erosión y de solifluxión indican una actividad actual o muy reciente que ha sido señalada con anterioridad en los diferentes lugares, y particularmente en Áliva, donde se han establecido posibles grados de actividad y los factores geoecológicos que intervienen (Juan et al., 2016).

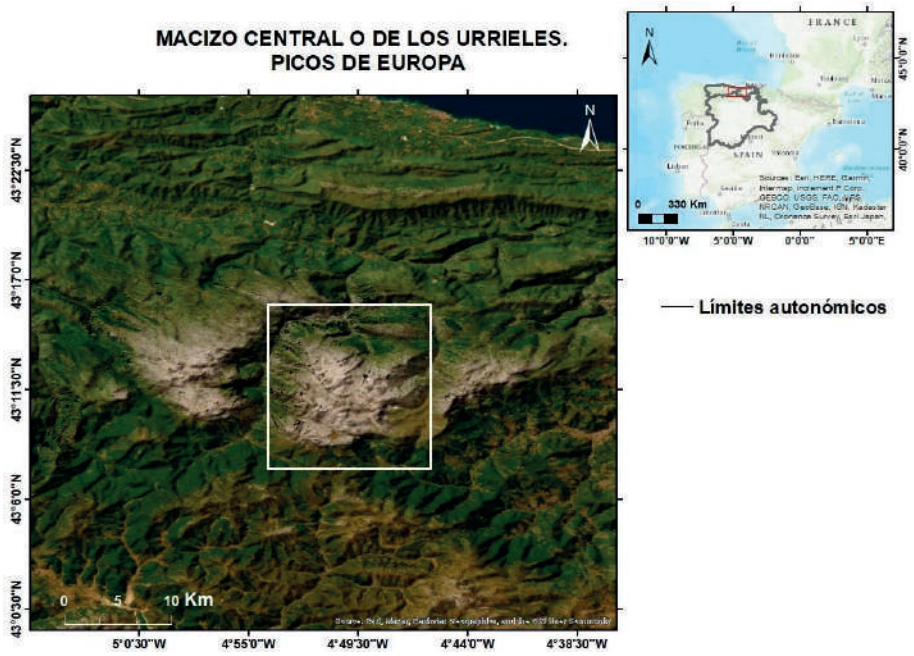


Ilustración 1: Puertos de Áliva

Las laderas de Áliva muestran procesos de erosión concentrada y movimientos en masa que remodelan la morfología glaciar modelada durante las crisis frías pleistocenas. Durante la última fase glaciar, constatada por las morrenas de Cueto

de Juan Toribio y de Áliva, estos pequeños glaciares aportarían materiales proglaciares de tipo fluvio torrencial que rellenaron las cubetas. En algunos casos los deslizamientos de ladera obturarían los arroyos y cubetas, generando un periodo de relleno con depósitos lacustres de poco espesor. Los canales de incisión, de carácter remontante, que culminan con acarcavamientos aún parcialmente activos señalan una nueva fase de desequilibrio, si bien en muchos casos están en parte rellenas de depósitos solifluidales que denotan una escasa dinámica torrencial o fluvial, y donde se alojan los lóbulos más activos. Las laderas regularizadas, las incisiones y las morrenas están afectadas por procesos de solifluxión recientes, bloques aradores, lóbulos de solifluxión, terracillas y solifluxión laminar, que han sido objeto de mediciones puntales. Las últimas fases de inestabilidad se deben asociar al Holoceno, a falta de una mayor precisión temporal (Ilustración 2) (Juan et al., 2016).

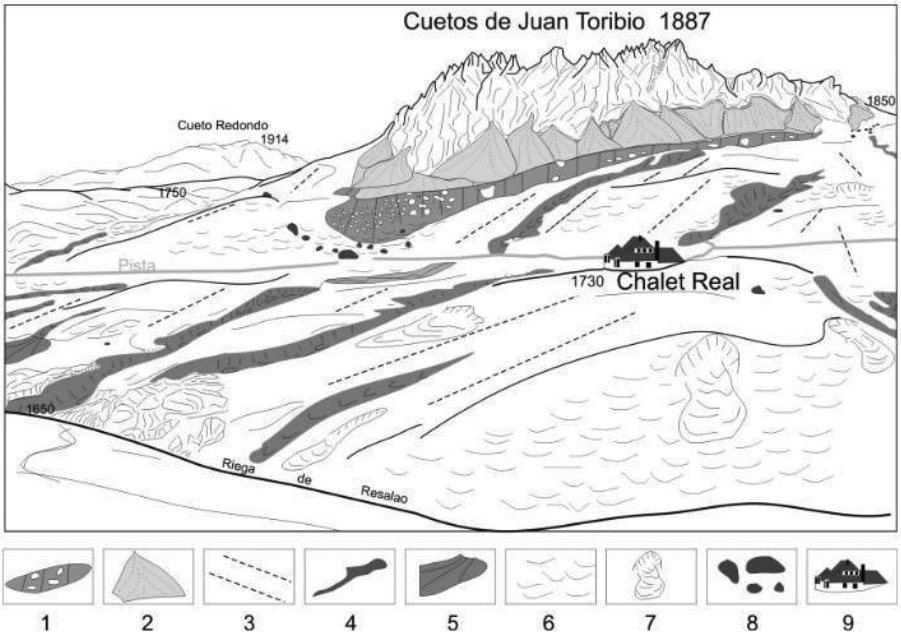


Ilustración 2: Formas y procesos geomorfológicos en el sector superior de Áliva. 1, morrena. 2, taludes y conos de derrubios. 3, laderas regularizadas. 4, incisiones lineales. 5, acarcavamientos. c, lóbulos de soliffuxión. 7, deslizamientos de ladera. 8, bloques dispersos. S, Chalet Real. (Juan et al., 201c)

3. Metodología

La deformación del terreno del área de estudio se ha medido utilizando imágenes SAR de la banda C de Sentinel-1 tanto ascendentes como descendentes, adquiridas en modo de franja ancha interferométrica, con un tiempo de revisita de 12 o 6 días y una resolución espacial aproximadamente de 15 m. Se han procesado 84 imágenes adquiridas de la trayectoria descendente y 87 imágenes de la trayectoria ascendente (Ilustración 3).

El procesamiento multitemporal se ha realizado con la metodología ISCE2+Minpty. La caja de herramientas de Mintpy es un software de Python para el análisis de series de tiempo InSAR de línea de base pequeña. La entrada es una pila de interferogramas diferenciales que forman una red totalmente conectada. Los inter-

ferogramas deben estar ya desenrollados con pequeñas líneas de base geométricas perpendiculares y temporales para maximizar su calidad. Para las constelaciones modernas de SAR con un pequeño tubo orbital y un corto tiempo de revisita, como Sentinel-1, se puede formar fácilmente una red de interferogramas completamente conectada (Karamvasis & Karathanassi, 2020). La pila de entrada en este caso se generó con el entorno informático interferométrico científico SAR_ISCE. Los principales pasos del procesamiento interferométrico realizado por ISCE son la corrección orbital, unión de ráfagas, el co-registro, la generación de interferogramas y el filtrado adaptativo, la resta de la fase topográfica utilizando el dado Modelo Digital de Elevación (DEM) y el despliegue 2D (espacial). Luego se compararon cada una de las metodologías por su obertura espacial.

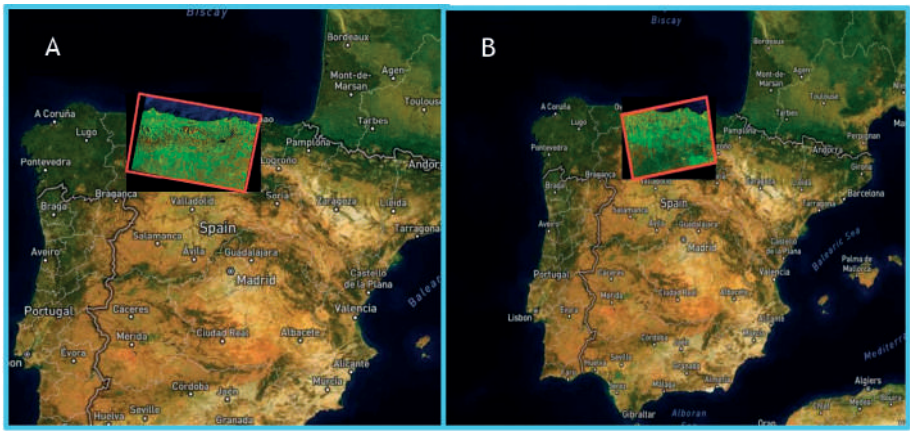


Ilustración 3: Orbitas SENTINEL-1 utilizadas. A: Descendentes; B: Ascendentes.

4. Resultados y Discusión

Una vez procesados todas las imágenes para cada una de las metodologías, tal y como comentamos al inicio una tomaba como referencia una imagen como maes-

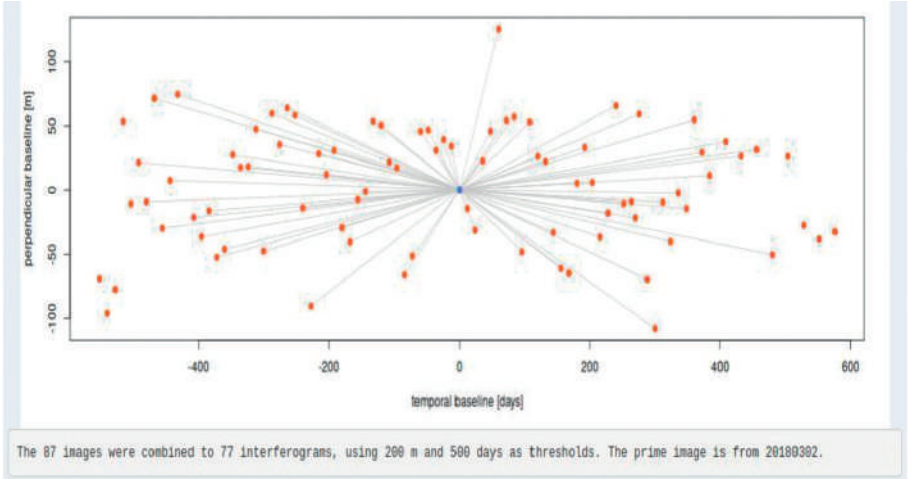


Ilustración 4: Persistent Scatterer PS.

tra y la correlacionaba con las demás (Ilustración 4) y la otra hace lo mismo, pero a su vez correlaciona el resto de las imágenes entre si (Ilustración 5), viéndose en la práctica un mayor número de interferogramas, 77 para PS_InSAR y 390 para SBAS_InSAR. Para las imágenes ascendentes se tomó como imagen de referencia la del 5 de agosto de 2021 y para las descendentes la del 9 de junio de 2018 (Tabla 1).

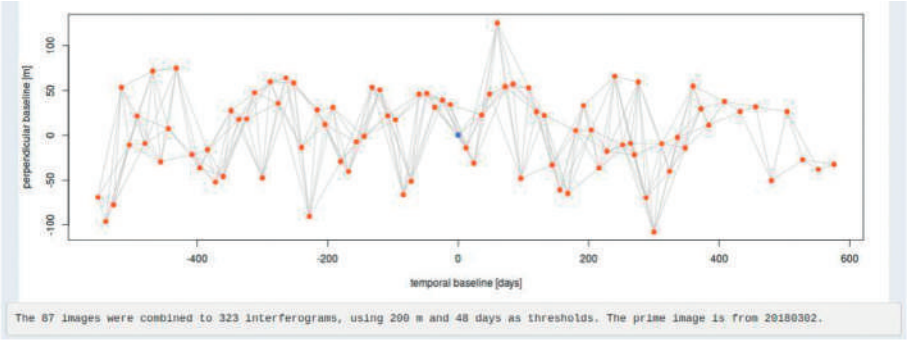


Ilustración 5: Small Baseline Subset SBAS Tabla 1: Datos técnicos.

Parámetros	Órbita Ascendente	Órbita Descendente
Fecha de referencia	20210805	20180609
Cantidad de Imágenes	87	84
Interferogramas (ISCE)	255	246
Interferogramas (Mintpy)	182	208

Los resultados de PS y SBAS muestran diferente cobertura espacial, los puntos PS se concentran en zonas con suelo desnudo. Para una mejor observación se delimitaron dos zonas, la primera en los alrededores del chalet y la otra en una de las laderas, se pueden apreciar datos ínfimos de puntos PS con respecto a SBAS llegando solo a tener en una extensión de 0.6 km^2 3 puntos de cara a 83 puntos SBASS (Ilustración 6 e Ilustración 7). Por esta razón, la técnica SBAS puede considerarse mas eficaz que la PS para detectar y monitorear procesos activos en Áliva.

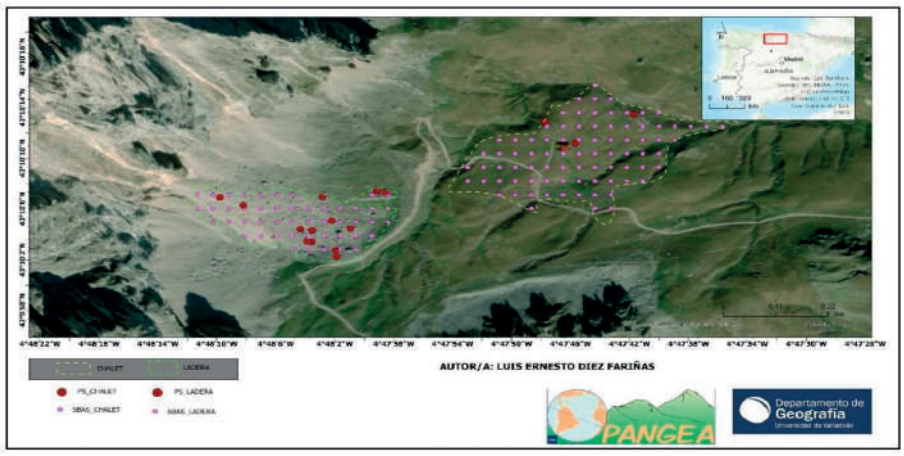


Ilustración c: Densidad de puntos PS y SBAS.

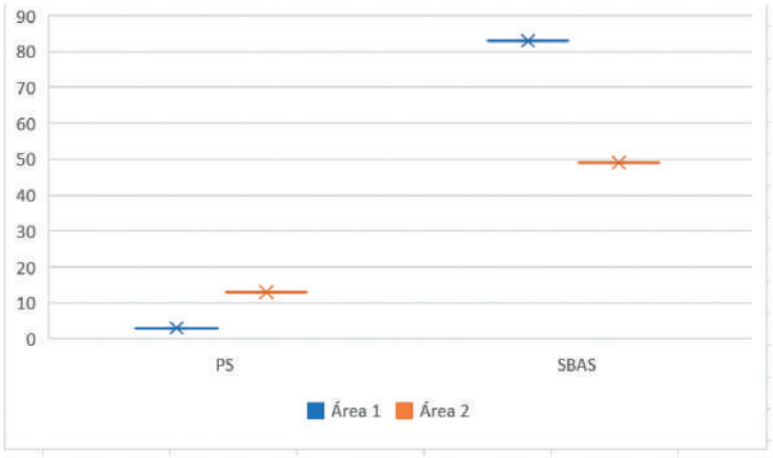


Ilustración 7: Densidad de puntos.

Sentinel-1 es inherentemente ciego al movimiento Norte-Sur, por lo que la descomposición se centró en la obtención de las componentes Vertical (VZ) y Horizontal Este- Oeste (VE−W).

Se empleó la información de velocidad promedio anual de las dos geometrías de adquisición (Ascendente y Descendente) para resolver el sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas. Para garantizar la precisión del cálculo, ambos mapas de velocidad se re-geocodificaron a una rejilla común (grid) de 0.0003 x 0.0003 grados (aproximadamente 30 metros), cubriendo el área de Áliva, asegurando así que cada píxel de la órbita ascendente correspondiera exactamente al píxel de la órbita descendente. La velocidad descompuesta en sus componentes Vertical y Horizontal Este-Oeste se calculó utilizando el modelo trigonométrico estándar de InSAR, basado en el ángulo de incidencia (θ) promedio de cada órbita:

$VZ = 2 \cdot \cos(\theta) VLOS,Asc + VLOS,Desc$ (Movimiento Vertical)

$VE-W = 2 \cdot \sin(\theta) VLOS,Asc - VLOS,Desc$ (Movimiento Horizontal Este-Oeste)

Para llegar a estos cálculos se utilizaron los mapas de pendiente y orientación a partir del MDT correspondiente que cubre la zona de los Puertos de Áliva y se obtuvo el mapa final de dirección y velocidad del movimiento (Ilustración 8).

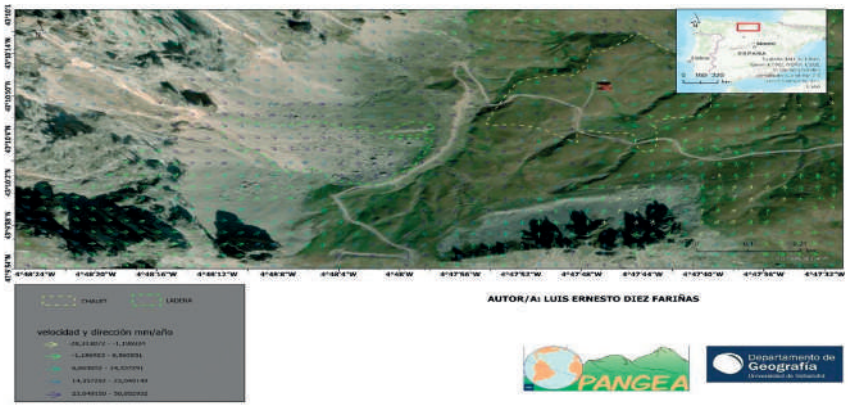


Ilustración 8: Velocidad y dirección del movimiento.

5. Conclusiones

En este estudio comparamos las técnicas InSAR PS y SBAS para monitorear movimientos en los Puertos de Áliva. En esta zona de estudio la técnica SBAS ha demostrado una mayor fiabilidad en la detección y monitoreo de los resultados. Dado que SBAS puede proporcionar series temporales de desplazamientos más uniformes y detalladas, nos permite una mejor compresión de la evolución temporal de los procesos. La técnica PS para nuestra zona de estudio no es viable por la poca distribución de puntos de velocidades en Áliva. Se han obtenido valores desde los 6 mm/a hasta los 28 mm/a con velocidades mayores en laderas y algo más prudentes en el fondo de valle; que a posteriori se van a integrar con estudios de otros años con GPS, estaciones totales, etc.; para verificar y eventualmente, calibrar datos de interferometría y poder comprender todos los procesos que en actúan en el territorio.

6. Referencias

Ballantyne, C. K. (2002). Paraglacial geomorphology. In Quaternary Science Reviews (Vol. 21).

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(11), 2375–2383. https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792

Chen, X., Tessari, G., Fabris, M., Achilli, V., & Floris, M. (2021). Comparison Between PS and SBAS InSAR Techniques in Monitoring Shallow Landslides (pp. 155–161). https://doi.org/10.1007/978-3-030-60311-3_17

Ferretti, A., Prati, C., & Rocca(', F. (2000). Analysis of Permanent Scatterers in SAR Interferometry. http://earth.esa.int/escintro.html

González Trueba, J. J. (2007). El paisaje natural del macizo central de los Picos de Europa: geomorfologia y sus implicaciones geoecologicas en la alta montaña cantábrica [Book]. Consejería de Medio Ambiente.

Juan, J., Blasco, S., & Serrano, E. (2016). ANÁLISIS GEOMÁTICO DE BLOQUES ARADORES Y LÓBULOS EN LOS PUERTOS DE ÁLIVA (PICOS DE EUROPA, CORDILLERA CANTÁBRICA). Polígonos. Revista de Geografía, 28, 123–138.

Karamvasis, K., & Karathanassi, V. (2020). Performance analysis of open source time series insar methods for deformation monitoring over a broader mining region. Remote Sensing,

12(9). https://doi.org/10.3390/RS12091380

Serrano Cañadas, E., Juan, J., Blasco, S., José, J., Trueba, G., Río Pérez, M. Del, Flaño, P. R., Atkinson Gordo, A., Moreno, R. M., Lozano, R., & Fernández, Y. Á. (2011). ANÁLISIS Y CONTROL DE INDICADORES GEOMORFOLÓGICOS EN EL PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA.

Zhao, Q., Pepe, A., Gao, W., Lu, Z., Bonano, M., He, M. L., Wang, J., & Tang, X. (2015). A DInSAR investigation of the ground settlement time evolution of ocean-reclaimed lands in Shanghai. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8(4), 1763–1781. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2402168

EVOLUCIÓN TÉRMICA RECIENTE Y CORRELACIÓN CON MODELOS ERA5-LAND EN LAS CUEVAS HELADAS DE PICOS DE EUROPA

Gómez-Lende, M.[1], Serrano, E.[2], Conde-Oria, F.[1]

[1] *Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros, 44, Santander, 39005, España.*
[2] *Departamento de Geografía, Universidad de Valladolid, Plaza del Campus s/n, Valladolid, 47011, España.*

Resumen
En las últimas décadas se viene demostrando la importancia criosférica que tienen los bloques de hielo de las cuevas heladas como registro multiproxy en estudios climáticos y paleoambientales. Con mayor interés e importancia en aquellas áreas en las que la existencia de registros del pasado escasea como son las zonas totalmente deglaciadas. Este es el caso de Picos de Europa, en cuya alta montaña se conservan, aún, más de un centenar de cavidades de este tipo; pero cuya existencia se halla comprometida por los patrones climáticos de cambio a nivel global.
Se presentan aquí parte de los resultados más recientes del monitoreo térmico continuado de la última década y media en algunas de las cavidades experimentales localizadas en la alta montaña del macizo Central de Picos de Europa. Se destacan las evoluciones más actuales de sus temperaturas, con la reconstrucción de tendencias, y los incrementos térmicos absolutos y relativos dependiendo de los distintos periodos de ventilación a los que están sometidos termodinámicamente tales cavidades. Dichas tendencias han sido comparadas con series de estaciones meteorológicas de la Red de Parques Nacionales españoles y con la temperatura de superficie proporcionada por los datos del reanálisis de ERA5-Land.
Este tipo de cavidades requiere de una urgente necesidad de continuación en su monitoreo y control endoclimático por constituir ambientes periglaciares altamente sensibles al cambio global actual y que, bajo él, están siendo irremediablemente mermados y condenados a desaparecer.

Palabras clave: Cuevas heladas, evolución térmica, monitorización climática, ERA5-Land, Picos de Europa.

Recent thermal evolutions and correlations with ERA5-Land models in the ice caves of the Picos de Europa.

Abstract.
In recent decades, the importance of ice blocks from ice caves as multiproxy records in climate and paleoenvironmental studies has been demonstrated. This is of greater interest and importance in areas where past records for such reconstructions are scarce, such as completely deglaciated zones. This is the case of the Picos de Europa, where more than two hundred such cavities are still preserved in the high mountains; however, their existence is compromised by changing global climate patterns.

The most recent results of continuous thermal monitoring over the last decade and a half in some of the experimental cavities of this type located in the high mountains of the Central Massif of the Picos de Europa are presented here. The most recent temperature developments are highlighted, along with reconstructions of their trends and the absolute and relative thermal increases depending on the different ventilation periods to which these cavities are thermodynamically subjected. These trends have been compared with a series of meteorological stations from the Spanish National Parks Network and with the surface temperature provided by the ERA5-Land reanalysis data.
These types of cavities urgently require continued endoclimatic monitoring and control because they constitute periglacial environments that are highly sensitive to current global change and are currently being irremediably depleted and to disappear.

Key words: Ice caves, thermal evolution, endoclimate montoring, ERA5-Land, Picos de Europa

1. Introducción

Las cuevas heladas constituyen uno de los elementos de la criosfera menos estudiado, a pesar de ser un fenómeno bien extendido (Perşoiu y Onac, 2012) y objeto de observación desde tiempos remotos (Balch, 1900). La importancia de sus bloques de hielo como registros multiproxy en estudios y reconstrucciones paleoclimáticas y ambientales viene demostrándose, y básicamente tan solo en determinados conjuntos montañosos de latitudes medias, fundamentalmente en las dos últimas décadas (Perşoiu y Lauritzen, 2018). Y con mayor interés si cabe en aquellas áreas en las que, por localización geográfica, la existencia de otro tipo de crio-registros se encuentra en un estado marginal, cuando no completamente inexistente, como es el caso de buena parte de la alta montaña templada.
En la actualidad dichos registros helados sufren bajo la amenaza de un futuro comprometido por los actuales patrones climáticos de cambio global. Ante su inminente desaparición es urgente su estudio como ya fue señalado hace más de una década (Kern y Perşoiu, 2013). Y ello se vuelve más alarmante aún ante un escenario de calentamiento en el que las áreas de montaña se han venido calentando a un ritmo mayor que el fenómeno global (Mountain Research Initiative EDW Working Group, 2015). Y dentro del cual aún queda por dilucidar la afección concreta para el caso de la criosfera subterránea.
Bajo este contexto general se presenta aquí la evolución térmica más reciente de determinadas cuevas heladas en la alta montaña de Picos de Europa que son objeto de monitoreo y control durante los últimos quince años. Se analizan las tendencias de la temperatura y su relación con los datos de reanálisis térmico exterior obtenidos a partir de ERA5-Land, explicitándose: 1) el grado de correlación entre las mismas, tanto para a las temperaturas medias, como para los distintos periodos termodinámicos que rigen el comportamiento interno de las cavidades; 2) la cuantificación de la frecuencia de días en tales regímenes; 3) y la evolución de las temperaturas medias diarias tanto de las cuevas heladas como de los reanálisis de datos del ERA5-Land, en última década y media y para los casi últimos 75 años.
Las cuevas heladas en Picos de Europa representan el último refugio de cierta entidad para la existencia de hielo en la Cordillera Cantábrica. La cada vez más exi-

gua presencia de masas de hielo en la superficie de su alta montaña, irrefrenablemente reducida a la resiliencia de los heleros persistentes, hace que los bloques de hielo alojados en sus sistemas kársticos sean las últimas representaciones considerables en cuanto a volumetría de hielo se refiere para el conjunto del Parque Nacional de Picos de Europa, y para toda la Cordillera por extensión.
Hasta día de hoy, y bajo revisiones de trabajos topográficos espeleológicos, se ha determinado la existencia de cerca de un centenar y medio de cavidades que alojan bloques de hielo de cierta entidad en toda la Cordillera Cantábrica. El 90% se encuentra en los Picos de Europa, mayoritariamente por encima de los 1800 m s.n.m. y fundamentalmente repartidas por los macizos del Cornión y de los Urrielles.

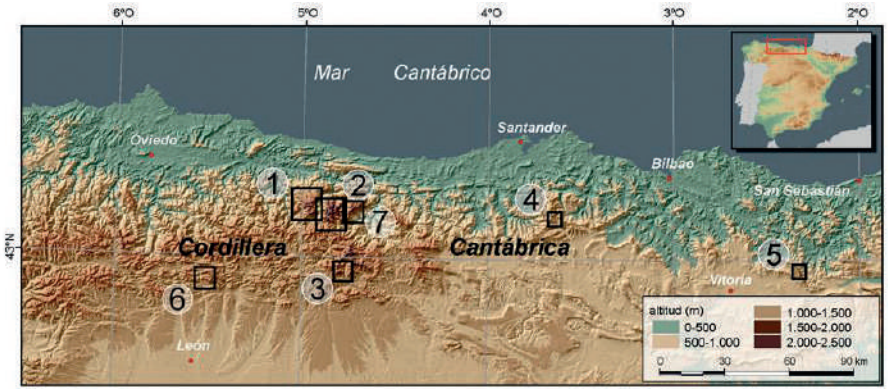


Fig. 1. Macizos montañosos de la Cordillera Cantábrica en los que se ha documentado la existencia de cuevas heladas mediante memorias y topografías espeleológicas. 1, Cornión; 2, Urrielles; 3, Montaña Palentina; 4, Macizo de Valnera; 5, Aitzgorri; 6, Vegacervera; 7, Andara.

Las cavidades que se presentan aquí se ubican dentro del sector de exploración de Camaleño, macizo de los Urrielles de Picos de Europa, cuyas exploraciones vienen siendo coordinadas por los grupos espeleológicos de CES-Alfa (Madrid) y ASC (Francia) desde hace más de cinco décadas. En dicho sector se encuentran topografiadas unas 540 cavidades de las cuales el 24% contienen, bajo cuantías volumétricas, bloques de hielo, en cotas de profundidad comprendidas entre los 10 y los 300 m y todas ellas localizadas en altitudes por encima de los 1955 m s.n.m. 17 de ellas contienen bloques de hielo de grandes dimensiones.

2. Materiales y métodos

2.1. Instrumental

En el monitoreo endoclimático de las cuevas heladas de Picos de Europa se han empleado a lo largo de última década y media termoregistradores iButton DS1921G-F5 con un rango de registro comprendido entre -40 y +85ºC y una precisión de ±0.5ºC; junto con iButton Hygrochron DS1923-F5 con rango entre -20 y +85ºC y ±0.5C (OneWireViewer Maxim©). Y en los últimos años, termoregistradores HOBO® U23 Pro v2 Ext Temp/RH (-40 to 70°C; ±0.2°C)(HOBOware® software). En todas las cavidades se instalan un mínimo de 3 registradores intentando abarcar tanto aquellas salas en las que se encuentran los bloques de hielo como las zonas más próximas a las principales entradas de las cuevas (fig. 2).

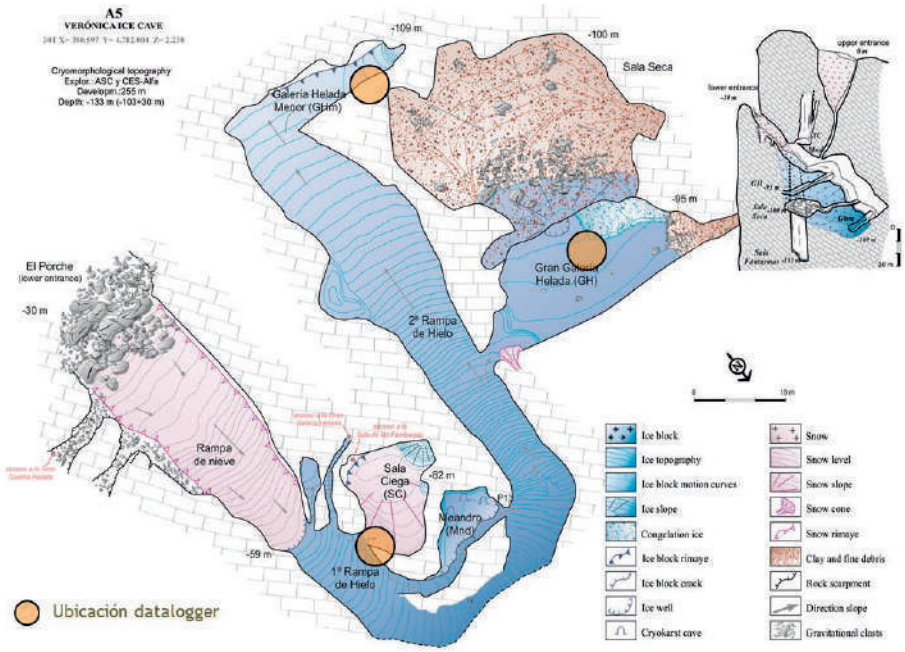


Fig.2. Ejemplo de instalación de los termorregistradores en la cueva A5, cueva helada de Verónica.

2.2.Tratamiento de datos

El tratamiento de los datos obtenidos incluye varias fases. En primer lugar, la realización de un control de calidad de las propias series consistente en la corrección de valores erróneos, el relleno de gaps y la homogeneización de los datos tomando como referencia ERA5-Land y los datos meteorológicos disponibles. Posteriormente, el análisis de tendencias temporales de las variables meteorológicas aplicando tests estadísticos robustos como Mann-Kendall o Sen, y evaluando las tendencias por niveles altitudinales y periodos temporales de las series climáticas exteriores (estaciones astronómicas, ciclos diarios, periodos de termoventilación de las cavidades). Con ello se procede al cálculo de gradientes y su relación con la dinámica atmosférica, así como a la identificación de eventos térmicos extremos. Dada la existencia de sesgos sistemáticos en los modelos, se aplica la corrección utilizando como referencia observacional ERA5-Land.

El conjunto de datos ERA5-Land (programa Copernicus), versión mejorada del ERA5 del European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF), supone un reanálisis por forzamiento meteorológico de los datos de su predecesor, pero exclusivamente de la superficie terrestre continental ofreciendo una mayor precisión y por ello mayor adecuación para los estudios hidrológicos, agrícolas o climáticos de carácter local. Supone una resolución espacial de 9 km aprox. con datos horarios desde 1950 (los dataloggers de las cavidades a estudio registran datos cada cuatro horas). Los datos se actualizan mensualmente, hasta 5 días antes del presente, y se introduce una corrección altitudinal termodinámica para ajustar las variables atmosféricas a la topografía de alta resolución. Como cualquier otra simulación proporciona estimaciones con cierto grado de incertidumbre.

3. Resultados y discusión

3.1. Correlaciones de temperaturas interiores de las cavidades y exteriores del ERA5-Land.

Las correlaciones obtenidas con los datos del ERA5-Land para el periodo comprendido entre 2016-2023 para las temperaturas medias diarias (Tmd) durante los distintos periodos termodinámicos de las cavidades de Altaiz y Castil (periodos de homotermia o heterotermia en este tipo de cavidades y en los que la influencia de las condiciones exteriores varía (Gómez Lende, 2016)) son las expresadas en la figura 3. En ella se representan los periodos termodinámicos cerrados (c, en la fig. 3), en los que la influencia del exterior es menor, derivado de Text>Tint, y las cavidades permanecen con tendencias térmicas homogéneas en torno a 0ºC; y los periodos abiertos (a, en la fig. 3), en los que las influencias exteriores son mayores derivadas de Text<Tint que en las cavidades y su consecuente penetración en el interior de las mismas y por ende, estableciéndose una tendencia heterotérmica acorde con las evoluciones exteriores.

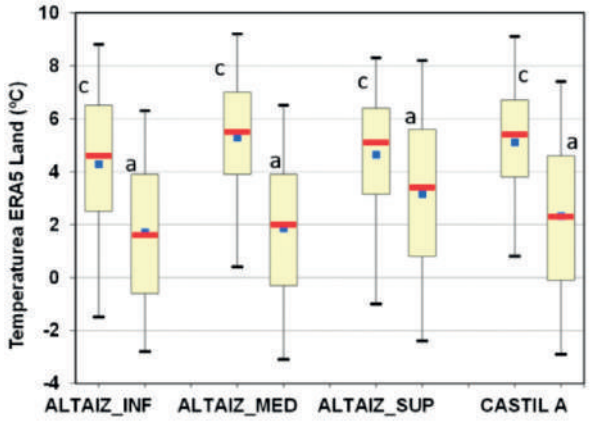


Figura 3. Correlaciones de temperaturas medias diarias entre las cavidades de Altaiz y Castil y los datos del ERA5-Land para el periodo 2016-2023.

Las correlaciones con los datos ERA5-Land son mejores
para el caso de los periodos abiertos (de forma genérica meses de diciembre a marzo), con coeficientes de correlación que oscilan entre los 0,624 y 0,800 (ver tabla 1).

CUEVA	COEF. CORRELACIÓN
ALTAIZ_INF	0,624
ALTAIZ_MED	0,800
ALTAIZ_SUP	0,659
CASTIL	0,720

3.2. Diferencias entre las temperaturas medias de los periodos abiertos: invierno "frío"-invierno "menos frío".

Se observan variaciones en el comportamiento durante los periodos abiertos, de modo que destacan dos inviernos respecto a la evolución media del conjunto. Por un lado, se identifica un invierno que puede calificarse como "frío" (2017–2018), en el que las Tmd, tanto en las cavidades como en el exterior, presentan valores medios inferiores a los obtenidos para el periodo 2016–2023 (A, figura 4). Por

otro lado, se distingue un invierno “cálido” (o menos frío) (2021–2022), en el que resulta claramente visible que las Tmd son superiores a las correspondientes al invierno frío (B, figura 4).

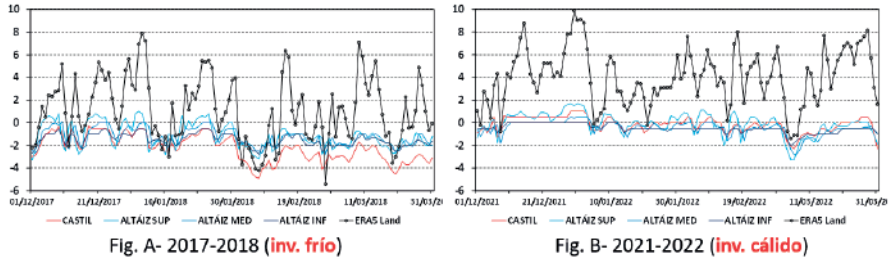


Figura 4. Evolución de Tmd en Altaiz y Castil y en el ERA5-Land durante los periodos abiertos más contrastados de la serie 2016-2023: A) invierno “frío”; B) invierno “cálido”.

Contrastando ambas situaciones (A y B de la figura 4) se muestra la influencia del exterior en la termoventilación del interior de las cavidades en los registros de tres de los cuatro registradores presentados (Castil; Altáiz inferior-Altáiz INF y Altáiz medio-Altáiz MED) con comportamientos homotérmicos durante el mes de diciembre del invierno 2021-2022 (el “invierno cálido”) en un contraste evidente con el mes de diciembre del denominado “invierno frío” en el que comportamiento del interior de ambas cuevas es plenamente heterométrico. En el caso del registrador Altaiz SUP la homotermia no es tan acusada por encontrarse éste a escasos metros de la boca de entrada de la cavidad. También se observa como las temperaturas medias diarias para el caso de Castil en ese denominado invierno “cálido” se mantienen homogéneas pero por encima de los 0ºC. Para el caso de la parte inferior de la cueva de Altáiz se observan comportamientos muy homotérmicos en torno a 0ºC o por debajo de forma mayoritaria para el invierno 2021-2022.

3.3. Frecuencia de días con regímenes termodinámicos abiertos y cerrados.
Determinar cuantitativamente la duración de los periodos termodinámicos abiertos es prioritario, ya que no solo son aquellos periodos en los que las influencias externas se dejan notar en mayor medida, sino que también, contando con series continuadas de datos, su duración más o menos prolongada (tendencias de prolongación de tales periodos en la evolución térmica actual), contribuiría a determinar tendencias a futuro del clima de las cuevas.

A este respecto, tomando una consideración simple de régimen cerrado como:

Definición de régimen cerrado: tem D-1 = tem D ó tem D+1 = tem D

Siendo:
d-1 = media diaria del día anterior
d+1 = media diaria del día siguiente

se ha obtenido para las cavidades de Castil y Altaiz lo expresado en la figura 5.

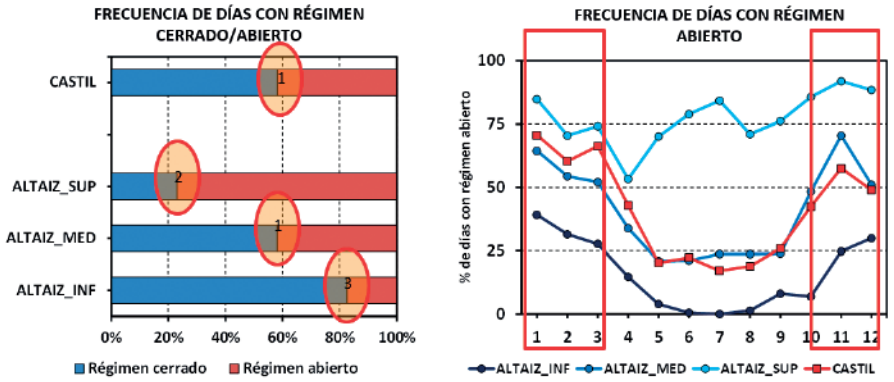


Figura 5. Frecuencia de días con régimen cerrado / abierto en el interior de las cavidades.

En función de la frecuencia de días con régimen cerrado o abierto se reflejan tres escenarios distintos: 1) aquellas áreas de la cavidad que se encuentran con un mayor equilibrio en cuanto a la duración anual de dichos regímenes. Es el caso de los registros más cercanos a los bloques de hielo de las cavidades de Altaiz y Castil. 2) Aquellos sectores de las cavidades en las que se da una mayor sintonía con las Text y por tanto con un menor aislamiento con respecto a las condiciones exteriores y una menor estabilidad y homotermia. En la figura se refleja la situación del datalogger Altaiz_SUP localizado en las proximidades de la boca de entrada principal de la cavidad. Y 3) una tercera situación que manifiesta un mayor aislamiento de las condiciones exteriores con el régimen abierto que no llega a suponer el 20% de su frecuencia anual, reflejando una mayor homotermia. En este caso son los termoregistradores más profundos de la cavidad helada de Altaiz (Altaiz_INF).

La durabilidad de tal frecuencia repartida a lo largo de los meses del año representada en la figura 5B abre la puerta a futuras continuaciones en lo que a controles climáticos se refiere ya que la búsqueda de las tendencias de variabilidad de la duración cuantitativa de los distintos periodos en los diferentes sectores de las cavidades, en especial los abiertos por ser los que mayor afección de las condiciones externas presentan, sería un indicador esencial de cómo las tendencias de calentamiento exterior influye en este tipo de cavidades. Y dentro de ellas, cómo lo harían dependiendo de las distintas localizaciones (recuadros en la figura 5B).

3.4. Evolución de las temperaturas medias en ERA5-Land y cuevas heladas.

3.4.1. Evolución de las temperaturas medias invernales

La evolución térmica de la última década y media en las cuevas a estudio (Verónica, Altaiz y Castil) en los periodos abiertos invernales en comparación con las tendencias de las series de ERA5-Land muestran similitudes aceptables con buenas correlaciones, fundamentalmente desde el 2016. Previamente, como se señala en la fig.6, las correlaciones y las series obtenidas están muy mermadas por los diferentes termoregistradores que se emplearon (datalogger ibutton); pero a pesar de ello, muestran tendencias similares a las de los datos de ERA5-Land.

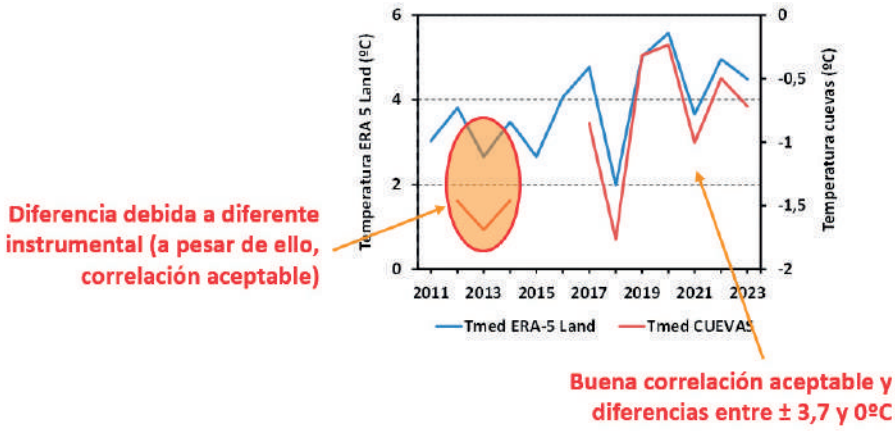


Figura 6. Evolución de la temperatura media invernal (periodos abiertos) en ERA5-Land y cuevas heladas a estudio: Verónica, Altaiz y Castil.

La diferencia térmica con respecto a los reanálisis de datos exteriores han oscilado durante los distintos regímenes abiertos entre los ±3,7ºC y los 0ºC. Ello supone una óptima calibración con las Text, al menos durante los periodos en los que las cuevas heladas están más expuestas y abiertas a la influencia de las condiciones exteriores. Aspecto fundamental para predicciones a futuro, e incluso para conocer regresiones pretéritas.

3.4.2. Evoluciones térmicas en las últimas décadas

Teniendo en cuenta los reanálisis del ERA5-Land para el sector donde se localizan las cavidades heladas a estudio, la tendencia lineal de temperaturas de los últimos 75 años ha experimentado un incremento de casi 2ºC (fig. 7). En las series obtenidas hasta el momento en las cavidades heladas estudiadas se observa una tendencia al incremento similar, sobre todo desde 2016, en el que las evoluciones son prácticamente coincidentes.

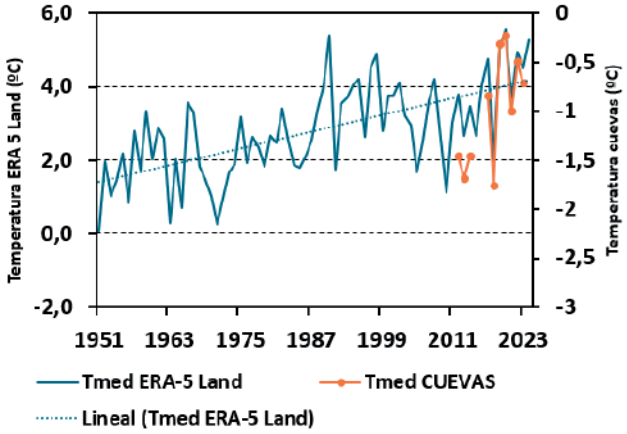


Figura 7. Evolución de la temperatura media diaria en ERA5-Land y cuevas heladas a estudio: Verónica, Altaiz y Castil.

Las tendencias presentadas son plenamente coherentes con las predicciones IPCC de aumento térmico de 2ºC para uno de sus escenarios proyectados; así como también con estudios recientes en cavidades pirenaicas (Sancho et al., 2025) y sobre inversiones térmicas en la montaña de Navacerrada (Rasilla, et al., 2022).

4. Conclusiones

Los regímenes de las Tmd en las cuevas heladas de Picos de Europa muestran buenas correlaciones con las estimaciones de las temperaturas exteriores de los reanálisis del ERA5-Land. Ello permite por tanto anteceder evoluciones futuras en el comportamiento térmico en algunos sectores de estas cavidades, junto con la estimación de las fluctuaciones experimentadas en el pasado. En función de la tendencia lineal de ERA5-Land el incremento de temperatura en los últimos 75 años es cercano al 2ºC, lo que es conforme a la evolución y a un potencial incremento similar en las cuevas heladas para el mismo periodo. Incrementos que son coherentes con resultados presentados por el IPCC y estudios sobre inversiones térmicas en montañas ibéricas.

Por su parte, la cuantificación en lo que a la duración de los distintos periodos termodinámicos se refiere es, de igual manera, importante permitiendo conocer las tendencias de los mismos en los últimos años; y por tanto cotejar si la dependencia con las condiciones térmicas externas inmediatas se da en mayor o menor grado. Y con ello el grado de dependencia de las cavidades con respecto al calentamiento global.

5. Bibliografía

Balch, E.S. (1900). Glacières or Freezing Caverns. Allen, Lane and Scott, Philadelphia, 337 pp.

Gómez Lende, M. (2016). Las cuevas heladas en el Parque Nacional de Picos de Europa. Fronteras subterráneas del hielo en el Macizo Central. Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 244 pp.

Kern, Z. y Perşoiu, A. (2013). Cave ice-the imminent loss of untapped mid-latitude cryospheric palaeoenvironmental archives. Quaternary Science Reviews, 67: 1-7.

Mountain Research Initiative EDW Working Group (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. Nature Clim Change, 5, 424–430. https://doi.org/10.1038/nclimate2563

Perşoiu, A. y Onac, B. (2012). Ice in caves. In White WB, Culver DC. (eds.). Encyclopedia of Caves. 399-404.

Perşoiu, A. y Lauritzen, S.E. (eds). (2018). Ice caves. Oxford: United Kingdom: Elsevier.

Rasilla, D., Martilli, A., Allende, F., Fernández, F. (2022). Long-term evolution of cold air pools over the Madrid basin. International Journal of Climatolotogy, 43, 38-56. DOI: 10.1002/joc.7700

Sancho, C., Belmonte, A., Leunda, M., Luetscher, M., Spötl, Ch., López-Moreno, J.I., Oliva-Urcia, B., López-Martínez, J., Moreno, A., Bartolomé, M. (2025). Unprecedent cave ice melt in the last 6100 years in the Central Pyrenees (A294 ice cave). The Cryosphere, 19, 6283–6300. https://doi.org/10.5194/tc-19-6283-2025

Agradecimiento

Este trabajo forma parte de los proyectos PID2020-112347RB-C21 y PID2024-161150NB-100 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

TECTÓNICA Y RELIEVE: ESTRUCTURA DE LA CORTEZA TERRESTRE EN EL MACIZO DE PICOS DE EUROPA Y SU ENTORNO CONTINENTAL

Llana-Fúnez, S.[1*], Fernández-Viejo, G.[1], López-Fernández, C. [1], Acevedo, J. 1,2, Olona, J.[2] , González-Cortina, J.M. [1], Cadenas, P.3,[2], Pando, L.A.[1], Gutiérrez-Medina, M.[1,4] Jiménez-Sánchez, M. [1]

[1] *Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, c/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo * llanasergio@uniovi.es*
[2] *TerraDat España, Parque Tecnológico de Asturias, Edificio Centro Elena Fase I, Oficina SE, 33428 Llanera, Asturias.*
[3] *Institut de Ciències del Mar (ICM), CSIC, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona*
[4] *Oficina territorial IGME Oviedo, CSIC, c/ Matemático Pedrayes 25, 33005 Oviedo*

Palabras clave: Cordillera Cantábrica, corteza continental, cadena alpina, cadena varisca, relieve.

Keywords: Cantabrian Mountains, Continental Crust, Alpine Belt, Variscan Belt, Relief.

Resumen

El macizo de Picos de Europa constituye, desde el punto de vista geológico, una parte esencial de la Cordillera Cantábrica, cuyo levantamiento tuvo lugar durante el Paleógeno, cuando el margen Cantábrico funcionaba como límite activo entre las placas de Iberia y Europa. Su ubicación en la cadena alpina cantábrica resulta singular, ya que, pese a ser el macizo de mayor altitud, se sitúa varios kilómetros al norte de la divisoria principal y del eje orogénico de la cordillera. La distribución de la topografía superficial se relaciona parcialmente con la configuración de la base de la corteza continental en profundidad, dado que el mayor engrosamiento cortical—la raíz orogénica—también se localiza en este sector. Las estructuras tectónicas observadas en las rocas actualmente aflorantes se originaron bajo condiciones subacuáticas durante una colisión continental previa en el Carbonífero. Por tanto, aunque una parte significativa del registro geológico es antiguo, el relieve actual se considera relativamente reciente.

Hace una década, un equipo del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo se consolidó como grupo de investigación, actualmente identificado por la AEI como GEOCANTÁBRICA, con el propósito de analizar los procesos geológicos que han modelado el relieve de la Cordillera Cantábrica. En la presente contribución se expone una síntesis de parte de los resultados obtenidos en el sector correspondiente al Parque Nacional de Picos de Europa, con especial énfasis en la caracterización de la estructura profunda de la corteza, a varios kilómetros de profundidad. Para este fin, se emplearon datos obtenidos mediante diversas redes temporales de estaciones sísmicas. Dos de estas redes fueron específicamente instaladas por el grupo: la primera, en el entorno de la falla de Ventaniella entre 2015 y 2017, al oeste del Parque Nacional; la segunda, en 2023, que abarcó casi la totalidad del área del parque. Posteriormente, las observaciones se integraron con

datos procedentes de otras redes, como IberArray y la Red Sísmica Nacional, permitiendo la obtención de varios modelos tomográficos de la corteza superior.
La instalación de redes sísmicas locales, con menor espaciamiento entre estaciones que las redes permanentes nacionales, posibilita la detección de eventos sísmicos de menor energía y mejora la precisión en la localización de estos. El análisis exhaustivo del registro sísmico, tras un proceso de tratamiento prolongado de datos, aporta información adicional sobre la geología de la corteza en el área abarcada por la red. En definitiva, la combinación de ambas metodologías, a partir de un mismo conjunto de datos, ha permitido avanzar significativamente en la comprensión de la estructura profunda actual de la corteza en el interior de la cordillera Cantábrica.

Abstract
Tectonics and topography: structure of the continental crust in Picos de Europa massif and neighbouring areas
Picos de Europa massif forms part of the Cantabrian Mountains from the geological point of view, risen during the Paleogene when the active plate boundary between Iberia and Europe was located in the Cantabrian margin. Its position in the Cantabrian alpine belt is prominent, because being formed by the highest massif in the mountain belt, it is located several kilometers to the north of the main orogenic watershed and the main axis of the mountain belt. The distribution of elevations at the surface is partly matched by the topography at the base of the continental crust at depth, because the thickened part of the crust in a mountain belt, the orogenic root, is also located in the same sector. However, the tectonic structures seen in the exposed rocks at the surface, although at present at high elevation, were formed in submarine conditions during a previous continental collision in the Carboniferous. The greater part of the geological record in the rocks that composed Picos de Europa is thus old, but the current topography is recent. Ten years ago, a group of researchers at the Geology Department of the University of Oviedo joined forces to constitute a research group (now recognized by the AEI as GEOCANTABRICA) with the aim of studying the processes involved in the formation and evolution of relief in the Cantabrian Mountains. In this contribution, we present a brief summary of some of the scientific results that we obtained from our work in in this part of the mountain belt. We refer to our current knowledge about the deep structure of the crust in this sector, in and around the National Park Picos de Europa, at several kilometers of depth. For the study of the crust we used the data produced in several temporary networks of seismic stations. Two of these networks were our own and were installed by our group. The first network was deployed around the active segment of the Ventaniella fault between 2015 and 2017, to the West of the National Park. The second network was deployed covering nearly the entire National Park in 2023. Our data was integrated with the data by other networks covering the area, like the IberArray and Spanish Seismic Network, to produce several tomographic models of the upper crust.
The deployment of local seismic networks with a reduced spacing in between seismic stations, allows for the detection of seismic events of smaller energy. The advantage resides in that not only it allows for the detection of smaller moving structures, but increases the precision in the location of the events. Also and importantly, the full analysis of the seismic record, after a long processing, provides

additional information regarding the geology of the crust within the seismic network. It is the combination of both techniques on the same data set, that allows us to gain insight into the current structure of the crust inside the mountain belt.

Introducción y objetivos

En la configuración de la corteza continental que sustenta el macizo de Picos de Europa confluyen diversos eventos tectónicos de gran relevancia. El primero, ocurrido durante el Carbonífero, dio lugar a la formación de la mayoría de las unidades geológicas más representativas del parque, como las formaciones estratigráficas de rocas calizas (véase Bahamonde et al., 2007). En este periodo también se originaron las estructuras tectónicas que posteriormente se asociaron a la colisión entre Iberia (integrada entonces en Gondwana) y Laurentia, junto con otros microcontinentes interpuestos entre ambas placas mayores. La deformación de estas unidades calcáreas durante la colisión generó la repetición de la sucesión estratigráfica hasta alcanzar espesores de varios kilómetros, observables en los valles que cruzan el macizo. De hecho, una de las unidades tectónicas referidas en la literatura científica para designar la parte frontal de esta colisión corresponde a la región de Picos de Europa, tanto por la naturaleza de las rocas como por la reiteración tectónica mencionada (véase Alonso et al., 2009). Durante la formación de este antiguo orógeno, la parte frontal, actualmente identificada como "región de Picos de Europa", permanecía esencialmente sumergida, como evidencian el tipo de materiales depositados en la cuenca sedimentaria situada por delante (véase Alonso et al., 2009).

La denudación de la cordillera Varisca se produjo en el Pérmico, ya que gran parte de las unidades del permotriásico en el margen cantábrico se asentaron sobre un sustrato esencialmente plano (véase Llana-Fúnez et al., 2019). Una primera fase de extensión, en el límite entre el Pérmico y Triásico, incidió sobre el norte peninsular; sin embargo, la repercusión más significativa correspondió al proceso de extensión iniciado en el Jurásico y continuado a lo largo del Cretácico, responsable de la apertura del Océano Atlántico y el Golfo de Vizcaya (véase Cadenas y Fernández-Viejo, 2017). Posteriormente, durante el Cenozoico, la colisión entre la placa Ibérica y Europa originó el levantamiento de los Pirineos y la Cordillera Cantábrica, proceso que definió el relieve cuya evolución posterior culminó en la configuración actual del macizo de Picos de Europa (véase Teixell et al., 2018), caracterizado por una superficie erosiva en permanente transformación.

La motivación original para la creación del grupo de investigación GEOCANTABRICA fue integrar los esfuerzos de especialistas dedicados al estudio de las estructuras presentes en las rocas, junto con investigadoras dedicadas al análisis del relieve reciente y su evolución actual. Tanto en Picos de Europa, como en toda la Cordillera Cantábrica, confluyen los efectos de dos grandes eventos tectónicos: por un lado, el desarrollo en el Carbonífero de la Orogenia Varisca, y por otro, el levantamiento alpino reciente acaecido durante el Cenozoico. Aunque los episodios intermedios también cuentan con un registro geológico relevante para el patrimonio del Parque Nacional -destacando las estructuras mesozoicas responsables de gran parte de las mineralizaciones características del parque (véase Flórez Rodríguez, 2024)- la disposición de las principales unidades geológicas observables obedece primordialmente a los procesos orogénicos del Carbonífero.

Por otra parte, dado que una proporción significativa del relieve actual responde a la estructura interna de la corteza (distribución y tipo de rocas), independientemente de la época en que estas se hayan deformado, resulta imprescindible profundizar tanto en el análisis de la evolución morfológica como en el conocimiento de la arquitectura cortical en profundidad. Por ello, una de las líneas prioritarias de investigación del grupo consiste en optimizar la comprensión de la estructura interna de la corteza bajo la cordillera, tarea que sólo puede abordarse mediante técnicas geofísicas complementadas con estudios geológicos de superficie y trabajo de laboratorio enfocado a determinar las propiedades físicas de las rocas involucradas.

Métodos

Los métodos geofísicos tradicionales para la observación del interior de la Tierra emplean fuentes activas, de modo que la profundidad de investigación depende directamente de la energía aplicada en superficie para iluminar las estructuras en el subsuelo. Aunque en la actualidad se han adaptado las fuentes de energía hacia alternativas menos disruptivas, estas requieren infraestructuras adecuadas en superficie y una orografía favorable para su implementación. Más recientemente, se han desarrollado técnicas de observación geofísica que utilizan fuentes pasivas; estas demandan períodos extensos de adquisición de datos y un procesamiento sofisticado, aunque ofrecen acceso a información tridimensional en áreas de difícil acceso, con costos considerablemente menores y un impacto ambiental mínimo.

El uso convencional de una estación sísmica consiste en registrar de manera continua el ruido ambiental transmitido a través del subsuelo, sobre el cual se superponen las señales acústicas asociadas a eventos sísmicos. La triangulación de las llegadas de ondas entre varias estaciones permite localizar el punto de emisión de la energía, es decir, el hipocentro, determinando tanto las coordenadas geográficas como la profundidad del evento. La técnica aplicada en el estudio de la Cordillera Cantábrica, y en particular en sectores del Parque Nacional, corresponde al análisis del ruido sísmico, que aprovecha la totalidad del registro sísmico y no sólo los segmentos vinculados a terremotos. Mediante la combinación de la señal acumulada en cada estación, se filtra aquella componente no recurrente en el tiempo, permitiendo obtener al final del procesado una señal representativa de la estructura interna de la corteza, ya sea en un perfil vertical bajo cada estación o en el sector comprendido entre dos estaciones cuando se correlacionan las señales entre ellas (véase Acevedo, 2021).

Resultados hasta la fecha

La primera red de estaciones sísmicas destinada al análisis del ruido sísmico en el estudio de la corteza continental fue instalada en el entorno de la falla de Ventaniella entre 2015 y 2017, en un sector caracterizado por una relativa moderada actividad sísmica (López-Fernández et al., 2018). El procesamiento del ruido ambiental registrado por esta red, junto con datos obtenidos de la red nacional del IGN y de la red IberArray, permitió obtener la primera imagen tridimensional de la corteza superior en el sector central de la Cordillera Cantábrica, incluyendo el macizo de Picos de Europa (Acevedo et al., 2019). Un análisis avanzado de las ondas S reveló la presencia de anisotropía en la propagación de ondas sísmicas,

atribuible en parte a la estructura de las rocas y, adicionalmente, a la fracturación posiblemente relacionada con el acortamiento alpino reciente (Acevedo et al., 2021).

La técnica de autocorrelación aplicada a los registros sísmicos en cada estación posibilita la identificación vertical de señales de origen geológico, correspondientes a cambios en las propiedades físicas de las rocas y de las distintas unidades geológicas, alcanzando incluso la base de la corteza, conocida como la discontinuidad de Mohorovicic. Mediante el empleo de esta y otras metodologías, se ha precisado la ausencia de continuidad hacia el este del engrosamiento cortical originado por la colisión alpina (Fernández-Viejo et al., 2021). La raíz cortical, zona de engrosamiento de la corteza continental, se extiende desde la longitud geográfica de Villaviciosa hasta el río Nansa, abarcando latitudes al norte de la divisoria de aguas. La caracterización detallada de la geometría y posición de la raíz orogénica, su constitución interna y el impacto ejercido sobre el levantamiento superficial y la evolución del relieve (López-Fernández et al., 2020) constituye una de las líneas de investigación actualmente activas en nuestro grupo de investigación.

Trabajo de investigación en curso

El trabajo realizado hasta la fecha se ha centrado principalmente en la determinación y delimitación de la estructura cortical a gran escala en la Cordillera Cantábrica, aplicando diversas herramientas y obteniendo resultados en diferentes sectores. Actualmente, se procesan y analizan los datos provenientes de los registros sísmicos de la red GEOCAN-CAE, registrando en 2023, la cual cubre íntegramente el Parque Nacional, con el objetivo de incrementar la resolución en un área caracterizada por la elevada complejidad tectónica. De forma paralela, se desarrolla la investigación sobre la evolución del relieve a escala de toda la cordillera, incluyendo el Parque Nacional, mediante la evaluación del desarrollo y transformación de la red de drenaje situada al norte de la divisoria de aguas entre Galicia y la cuenca del río Nansa. Los resultados de este trabajo se encuentran en proceso de revisión por pares en una revista científica especializada.

Adicionalmente, se exploran actualmente dos líneas complementarias de investigación. Por una parte, se busca caracterizar con mayor precisión las propiedades petrofísicas de las rocas que conforman el zócalo de la región de Picos de Europa, lo que permitirá optimizar la interpretación de la tomografía sísmica tridimensional. Por otra, se están seleccionando las muestras para su datación por U-Pb en calcitas asociadas a eventos tectónicos significativos para la configuración de la corteza continental en la Cordillera Cantábrica en su conjunto y, en particular, en el Parque Nacional y su entorno. Esta aproximación no solo aportará información sobre la cronología de dichos eventos, sino que también permitirá contrastar su duración y las tasas a las que tienen lugar los procesos responsables de la modelación del relieve.

Agradecimientos: la financiación de esta línea de trabajo se ha realizado a través de sucesivas convocatorias de ayudas a grupos de investigación por las consejerías de Economía y Empleo; Empleo, Industria y Turismo; Ciencia, Innovación y Universidad; y Ciencia, Empresas, Formación y Empleo del Gobierno del Principado

de Asturias, a través de FICYT (GRUPIN14-044, IDI/2018/000184, AYUD/2021/51766) y de SEKUENS (IDE/2024/000753).

Bibliografía

Acevedo, J., 2021, Monitorización y análisis de la sismicidad asociada a la falla de Ventaniella: interferometría sísmica e implicaciones geodinámicas en el contexto de la Cordillera y margen cantábricos: University of Oviedo, 1–358 p.

Acevedo, J., Fernández-Viejo, G., Llana-Fúnez, S., López-Fernández, C., and Olona, J., 2019, Ambient noise tomography of the southern sector of the Cantabrian Mountains, NW Spain: Geophysical Journal International, v. 219, no. 1, p. 479–495, doi: 10.1093/gji/ggz308.

Acevedo, J., Fernández-Viejo, G., Llana-Fúnez, S., López-Fernández, C., and Olona, J., 2021, Upper-Crustal Seismic Anisotropy in the Cantabrian Mountains (North Spain) from Shear-Wave Splitting and Ambient Noise Interferometry Analysis: Seismological Research Letters, v. 92, no. 1, p. 421–436, doi: 10.1785/0220200103.

Alonso, J.L., Marcos, A., and 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, v. 7, no. 4, p. 451–473, doi: 10.1344/105.000001449.

Bahamonde, J.R., Merino-Tomé, O.A., and Heredia, N., 2007, A Pennsylvanian microbial boundstone-dominated carbonate shelf in a distal foreland margin (Picos de Europa Province, NW Spain): Sedimentary Geology, v. 198, no. 3–4, p. 167–193, doi: 10.1016/j.sedgeo.2006.12.004.

Cadenas, P., and Fernández-Viejo, G., 2017, The Asturian Basin within the North Iberian margin (Bay of Biscay): seismic characterisation of its geometry and its Mesozoic and Cenozoic cover: Basin Research, v. 29, no. 4, p. 521–541, doi: 10.1111/BRE.12187.

Fernández-Viejo, G., Cadenas, P., Acevedo, J., and Llana-Fúnez, S., 2021, The unevenness of the north Iberian crustal root, a snapshot of an elusive stage in margin reactivation: Geology, v. 49, no. 12, p. 1426–1430, doi: 10.1130/G49341.1.

Flórez Rodríguez, A.G., 2024, Reactivación de fallas en Picos de Europa (Cordillera Cantábrica) deducida a partir del análisis estructural y la caracterización de paleofluidos y mineralizaciones asociadas: University of Oviedo, 1–272 p.

Llana-Fúnez, S., Marcos, A., Alonso, J.L., and Fernández-Viejo, G., 2019, Interpretación tectónica de la sección cortical del orógeno Varisco en el noroeste de la península Ibérica: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, v. 27, no. 3, p. 293–300.

López-Fernández, C., Fernández-Viejo, G., Olona, J., and Llana-Fúnez, S., 2018, Intraplate Seismicity in Northwest Iberia along the Trace of the Ventaniella Fault: A Case for Fault Intersection at Depth: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 108, no. 2, p. 604–618, doi: 10.1785/0120170215.

López-Fernández, C., Llana-Fúnez, S., Fernández-Viejo, G., Domínguez-Cuesta, M.J., and Díaz-Díaz, L.M., 2020, Comprehensive characterization of elevated coastal platforms in the north Iberian margin: A new template to quantify uplift rates and tectonic patterns: Geomorphology, v. 364, p. 107242, doi: 10.1016/J.GEOMORPH.2020.107242.

Teixell, A., Labaume, P., Ayarza, P., Espurt, N., de Saint Blanquat, M., and Lagabrielle, Y., 2018, Crustal structure and evolution of the Pyrenean-Cantabrian belt: A review and new interpretations from recent concepts and data: Tectonophysics, v. 724, p. 146–170, doi: 10.1016/j.tecto.2018.01.009.

HISTORIA Y DESARROLLO DE LAS EXPLORACIONES ESPELEOLÓGICAS (1971-2025) EN CAMALEÑO, MACIZO CENTRAL: UNA PUERTA A LA INVESTIGACIÓN DE NUEVOS ENTORNOS

Sánchez-Benítez, FJ.[1], Hivert, Bernard.[2], Guillem, Éric[3].

[1] *Club Espeleológico CES-ALFA,* [2 y 3] *Association Spéléologique Charentaise (ASC).*

Resumen

El Parque Nacional de Picos de Europa alberga uno de los territorios con mayor riqueza kárstica de España donde se reconoce como uno de los dominios espeleológicos de referencia mundial, por su concentración de simas profundas y su variedad de formas subterráneas. Es por ello por lo que entendemos que en estas segundas Jornadas de Investigación del Parque Nacional de Picos de Europa tienen cabida los trabajos desarrollados por numerosos colectivos espeleológicos que han centrado sus esfuerzos en los tres macizos calcáreos del Parque. En esta comunicación haremos mención únicamente al desarrollo de las exploraciones en Camaleño desde su inicio en 1971 hasta hoy.

A menudo se entiende la Espeleología como una disciplina meramente deportiva, fundamentada en la consecución de récords y cotas competitivas. Sin embargo, esta actividad se apoya en ciencias consolidadas como la Geología, Geomorfología, Hidrología, Climatología, Biología, Arqueología, Paleontología etc. a las que da apoyo y abre puertas a nuevas visiones científicas y técnicas.

En este contexto la divulgación de estos trabajos espeleológicos refuerza y amplía la gestión del Parque Nacional revalorizando su patrimonio subterráneo.

La historia y el desarrollo de las exploraciones espeleológicas en el término municipal de Camaleño se inicia en 1967 cuando unos escaladores observan mientras coronan Peña Vieja (abriendo la vía del Espolón de los franceses) un lapiaz calizo inexplorado. Años más tarde el Club ASC al que están asociados inicia sus expediciones anuales en Camaleño en lo que denominan el "Dorado espeleológico español". Veinte años más tarde otro club, el CES ALFA, esta vez desde Madrid, se suma a este proyecto continuando todos ellos sus actividades hasta la fecha.

Durante todo este tiempo se han explorado 545 cavidades, de las cuales 4 superan los 600 m.p que son catalogadas como Grandes Cavidades dentro del ámbito mundial. Algunas de ellas con posibilidades de continuación.

Paralelamente al desafío deportivo que conlleva revelar y topografiar nuevos espacios ocultos de nuestra geografía seguimos promoviendo y compartiendo el interés científico que despiertan estos entornos a distintos grupos de investigadores ofreciendo, respaldo sobre dataciones precisas de muchas cuevas muestreando espeleotemas para reconstruir cronologías detalladas, comportamientos en las redes de drenaje del macizo, modelos climáticos antiguos y plegamientos geológicos integrando datos de paleoclima y tectónica para entender los cambios ligados a glaciaciones, lluvia, etc., sin olvidar acompañar a aquellos científicos que han extendido sus investigaciones biológicas a estos entornos hostiles bajo la más absoluta oscuridad, con temperaturas próximas a cero grado y escasez de nutrientes en profundidades inéditas.

Finalmente, otro aspecto importante que ofrecen los estudios espeleológicos tienen que ver con el impacto ambiental y conservación: el uso público, la degradación y la contaminación potencial de aguas subterráneas que requieran estrategias de protección.

DINÁMICA Y EVOLUCIÓN DE CONOS DE DERRUBIOS Y APLICACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS: QUINCE AÑOS DE ESTUDIO EN LA VUELTONA (2009-2024)

Enrique Serrano[1], José Juan de Sanjosé Blasco[2], Mariló López[3], Estrella Alonso[4], Javier Rodrigo[4], Álvaro Gómez Gutiérrez[5], Manuel Gómez Lende[6]

[1] *Departamento de Geografía, Universidad de Valladolid.*
[2] *Departamento de Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura.*
[3] *Departamento de Matemáticas y Ciencia computacional, Universidad Politécnica de Madrid.*
[4] *Departamento de Matemáticas aplicadas, Escuela Técnica de Ingeniería, Universidad Pontificia de Comillas.*
[5] *Departamento de Geografía, Universidad de Extremadura.*
[6] *Departamento de Geografía. Universidad de Cantabria.*

Resumen

En este estudio se analiza la dinámica de dos conos de derrubios situados en La Vueltona, en el macizo central de los Picos de Europa. Los conos y taludes de derrubios son una forma de modelado muy común en las altas montañas templadas y los más representativos de los procesos periglaciales y nivales. En el Parque Nacional de los Picos de Europa constituyen uno de los procesos geomorfológicos más activos.

Se ha utilizado tecnología de escaneo láser terrestre (TLS) para su evaluación continua cada mes de agosto durante 15 años (2009-2024). Se elaboraron mapas geomorfológicos detallados, se realizaron trabajos de campo en su superficie y se detectaron cambios anuales de volumen en superficie mediante comparación de MDT. Por último, se calculó el valor predictivo estadístico de la posición (Z) en 2024 para la misma posición planimétrica (X, Y) en todos los perfiles de pendientes máximas del modelo digital de elevación (MDE) de 2009. Para ello, se interpolaron los datos reales de campo de 2009 a 2023 y se utilizaron para formar una muestra de curvas, que se interpretan como la realización de una variable aleatoria funcional que puede predecirse mediante técnicas estadísticas. La curva predictiva obtenida se comparó con los datos de campo de 2024.

En los conos estudiados se observaron diferentes comportamientos geomorfológicos. Uno presenta un equilibrio entre la acumulación y la transferencia de sedimentos, mientras que el otro denota procesos de acumulación en la parte superior derivados de la mayor frecuencia de aludes. Los cambios en la morfología superan los 50 cm/año y la mayor parte de la actividad se produce en las zonas más altas y bajas, donde se han detectado movimientos de flujo. Los principales procesos sobre los conos son los flujos de derrubios, muy activos en el verano de 2025, y la reptación. Muestran procesos de alta intensidad y baja frecuencia (flujos de derrubios, aludes) y procesos de alta frecuencia y baja intensidad (reptación, deslizamiento, solifluxión y movimientos en masa). Las técnicas predictivas muestran que los resultados de ambas coordenadas (Z), los datos reales de campo y los datos estadísticos son coherentes dentro del margen de error de la recopilación

de datos. Las observaciones y los cálculos de los dos conos de derrubios se trataron de forma independiente, pero ambos mostraron el mismo comportamiento. De este modo, el presente estudio demuestra la idoneidad de algunas técnicas estadísticas para el análisis funcional de datos que permiten predecir curvas de desplazamiento ajustando el modelo a la muestra de curvas de movimiento de años anteriores.

Abstract:
Dynamics and evolution of debris cones and predictive techniques applied: studies on La Vueltona over the last fifteen years (2009–2024)

This study analyses the dynamic of two debris cones located in La Vueltona, Central massif of the Picos de Europa. Debris talus is a very common landform in the temperate high mountain, so much so that it is the most representative of the periglacial and nival processes. They are the most active process in the Picos de Europa National Park.
Terrestrial laser scanning (TLS) technology was used for their continuous assessment every August for 16 years (2009–2024). Detailed geomorphological maps were prepared, fieldwork was carried out on the debris cone surface, and the annual volume changes on the surface were detected. Finally, the statistical predictive value of position (Z) in 2024 was calculated for the same planimetric position (X, Y) throughout all the profiles of maximum slopes of the digital elevation model (DEM) of 2009. To do so, we interpolated the actual field data from 2009 to 2023 and used them to form a sample of curves, which are interpreted as the realization of a functional random variable that can be predicted using statistical techniques. The predictive curve obtained was compared with the 2024 field data.
Different geomorphological behaviours were observed: one has equilibrium between accumulation and sediment transfer, while the other one denoting accumulation processes in the upper part deriving from the greater frequency of snow avalanches. Changes in morphology surpass 50 cm/year with most of the activity taking place in the highest and lowest areas where flow movements have been detected. The main processes on debris cones are debris flow, very active in summer 2025, and creep related to snow cover. Sediment transfer on the slopes involves high intensity-low frequency (debris flow, avalanches) and high frequency-low intensity processes (creep, shift, solifluction and wasting). The predictive techniques show that the results of both coordinates (Z), the actual field data, and the statistical data are coherent within the margin of error of the data collection. The observations and calculations of the two debris cones were treated independently, but both showed the same behaviour. In this way, the present study demonstrates the goodness of some statistical techniques for the functional analysis of data that allow predicting displacement curves by adjusting the model to the sample of movement curves from previous years.

HACIA UN INVENTARIO DE INESTABILIDADES DE LADERA EN LA RUTA DEL CARES (PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA, ESPAÑA)

Pablo Valenzuela[1*], Eduardo García-Meléndez[1], Montserrat Ferrer-Julià[1], Elena Colmenero-Hidalgo[1], Juncal A. Cruz[1], Indira Rodríguez[1], María José Domínguez-Cuesta[2], Pedro Almendros[1] e Inés Pereira[1].

[1] *Grupo de Investigación Geología Ambiental, Cuaternario y Geodiversidad (Q-GEO), Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, Campus de Vegazana s/n, 24071 León (España). *pvalm@unileon.es*

[2] *Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. C/Jesús Arias de Velasco s/n, 33003 Oviedo (España).*

Resumen

La Ruta del Cares (Parque Nacional Picos de Europa, N de España) recibe una gran afluencia anual de visitantes que están expuestos a frecuentes procesos de inestabilidad de ladera. En este contexto, el desarrollo de un inventario de inestabilidades de ladera constituye una potente herramienta para mejorar la gestión de estos fenómenos y definir futuras líneas de investigación. El inventario se encuentra en desarrollo e integra datos de diferentes fuentes de información: (1) archivos de prensa y redes sociales, (2) informes técnicos y alertas, (3) datos proporcionados por la guardería del parque nacional, y (4) observaciones de campo. Comprende 40 campos, incluyendo datos sobre el tipo de fuente, la localización espacial y temporal de los eventos, el tipo de proceso de ladera y los daños asociados. Sobre esta base se ha generado un mapa del inventario en un entorno de SIG, al que se han incorporado la senda y el canal de la central hidroeléctrica de Camarmeña, principales infraestructuras afectadas por la dinámica de laderas. Actualmente, la base de datos incluye 97 registros: el 45% proceden de archivos de prensa, redes sociales, informes técnicos y alertas, el 33% de informes de los guardas del parque y el 21% de indicios recogidos en campo. La mayor parte de los registros corresponden a procesos de caída de rocas, aunque también se han detectado indicios de deslizamientos y flujos.

Abstract

The Cares Route (Picos de Europa National Park, Northern Spain) receives a large annual influx of visitors who are exposed to frequent landslide processes. In this context, the development of a landslide inventory is a powerful tool for improving the management of these phenomena and guiding future research. The inventory is currently under development and integrates data from several sources: (1) press and social media archives, (2) technical reports and warnings, (3) reports from park rangers, and (4) field observations. It comprises 40 data fields, including information on the type of data source, the spatial and temporal location of the events, the type of slope process and the associated damage. Based on this information, an inventory map has been generated in a GIS environment, incorporating the path and the Camarmeña hydroelectric power plant canal, which are the main infrastructure affected by slope dynamics. At present, the database includes 97 records: 45% from press archives, social media, technical reports and

warnings, 33% from rangers' reports and 21% from field evidence. Most of the records correspond to rockfall, although evidence of slides and flows have also been detected.

Palabras clave: Ruta del Cares, inestabilidad de ladera, caída de rocas, inventario, SIG.

Keywords: Cares Route, landslide, rockfall, inventory, GIS.

1. Introducción y objetivos

En los últimos años las situaciones de masificación se han vuelto frecuentes en las sendas más populares de los espacios naturales de montaña, favoreciendo la llegada de visitantes sin experiencia previa que carecen de una conciencia clara sobre los riesgos naturales que implican estos entornos (Brandolini, 2006); en concreto, esta situación genera un aumento de su exposición a las inestabilidades de ladera, especialmente frecuentes en zonas montañosas. La gestión de este tipo de riesgo debe apoyarse en estudios detallados sobre los procesos de inestabilidad, que permitan a los responsables técnicos implementar medidas físicas de protección e inculcar al visitante actitudes de autoprotección que minimicen su exposición. En este escenario, los inventarios de procesos de inestabilidad de ladera constituyen una herramienta básica de gran potencial.

La Ruta del Cares (PR-PNPE 3), el sendero de mayor afluencia del Parque Nacional Picos de Europa (N de España), constituye un caso paradigmático de este tipo de problemática. Debido a su escaso desnivel, el sendero llega a recibir 200.000 visitantes al año (OAPN, 2022), discurriendo por un entorno agreste en el que las inestabilidades de ladera son frecuentes (Álvarez García, 2006; Domínguez-Cuesta et al., 2016).

El objetivo de esta investigación es: (1) desarrollar un inventario de indicios de inestabilidades de ladera ocurridas en la Ruta del Cares y (2) analizar los datos recopilados para caracterizar la dinámica gravitacional en el área y detectar tramos de mayor exposición. Esta iniciativa sienta las bases de un proyecto de mayor alcance que pretende: (a) estudiar el riesgo por inestabilidades de ladera en la Ruta del Cares, no abordado en profundidad hasta la fecha, y (b) colaborar con los gestores del espacio natural para traducir los resultados científicos obtenidos en directrices de autoprotección que puedan ser transferidas a los visitantes.

2. Área de estudio

La Ruta del Cares discurre a través de una garganta natural que separa los macizos del Cornión (occidental) y Los Urrieles (central) de los Picos de Europa. Su formación se debe a la acción de procesos fluviales, fluviotorrenciales, fluvioglaciares y fluviokársticos sobre los materiales calcáreos de las formaciones Valdeteja y Picos de Europa (Zona Cantábrica-Macizo Ibérico), dando lugar a un relieve con grandes desniveles y laderas con fuertes pendientes. La senda, de 12 km de longitud, fue construida entre 1945 y 1950 como vía de servicio de un canal que capta el agua del río Cares en Caín (León) y la conduce hasta la central hidroeléctrica de Poncebos (Asturias), actualmente propiedad de la empresa REPSOL S.A. La senda discurre paralela a la canalización y, en muchos casos, a través de túneles excavados en la roca. Los fuertes desniveles existentes en la zona favore-

cen el desencadenamiento de diversos procesos gravitacionales (Figura 1), siendo muchos los canchales que se acumulan en las laderas aledañas a la senda y que, en casos puntuales, se removilizan, afectando a su trazado. También son numerosas las canales (valles secundarios, estrechos y muy inclinados, generados por la actividad torrencial y de procesos de gravedad), cuyas trazas atraviesan la ruta, en las que son habituales los eventos torrenciales. Finalmente, existen indicios de que la senda se ve afectada por pequeños deslizamientos.

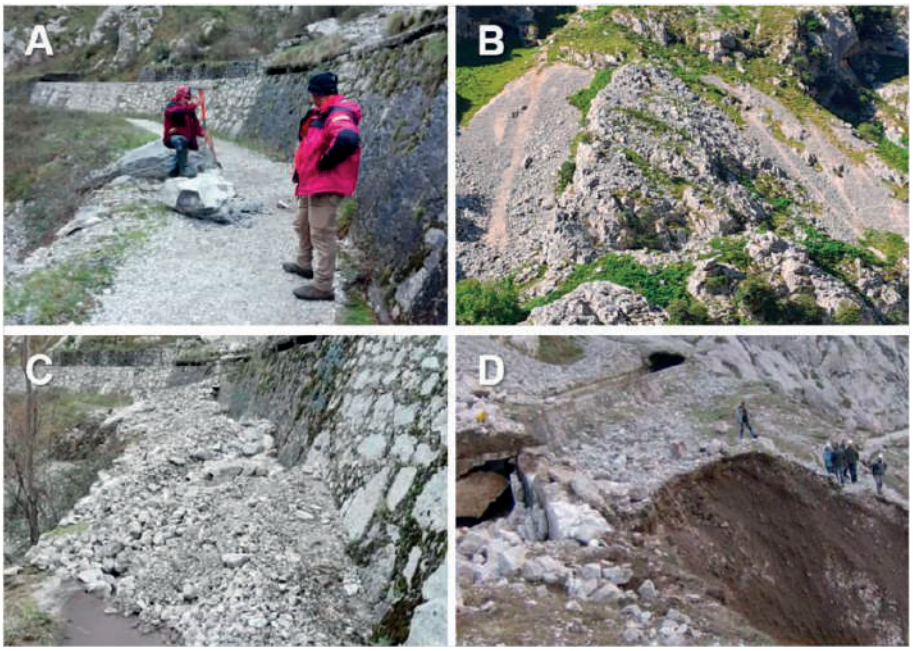


Figura 1. A Bloque de roca caído sobre la senda en enero de 2023 (foto: Guardería del Parque Nacional); B Removilización de canchales por pequeños flujos de derrubios; C Derrubios caídos sobre la senda en enero de 2019 (foto: Diario de león); D Cicatriz afectando a la senda en febrero de 2010 (foto: La Nueva España).

3. Metodología

El proceso de recopilación de datos incluye tanto la prospección de diferentes fuentes bibliográficas y web como el trabajo de campo. En concreto, se han considerado indicios procedentes de: (1) hemerotecas de la prensa regional y local y redes sociales, (2) informes técnicos y alertas, (3) comunicaciones de la guardería del parque nacional, y (4) observaciones en campo. Dicha información se ha registrado en una base de datos que cuenta con 40 campos agrupados en seis bloques: (1) fuente de información, (2) datos temporales, (3) datos espaciales, (4) tipo de proceso, (5) factores causantes, y (6) daños y costes generados. Se han incluido tres campos dedicados a evaluar la fiabilidad espacial y temporal de los datos recopilados según la metodología propuesta por Valenzuela et al. (2017), que incluye el uso de la herramienta en línea Google Maps-Google Street View y el trabajo de campo para comprobar la localización de los indicios. Los eventos identificados han sido georreferenciados y representados como puntos en un entorno de SIG en el que también se han incluido las trazas de la senda y del canal.

Dichas trazas han sido digitalizadas sobre la base de fotografías aéreas y observaciones de campo, diferenciándose tramos en función de las características de cada infraestructura (tramos descubiertos, con túnel, etc.).

4. Resultados

Actualmente, la base de datos incluye 97 registros: el 45% proceden de archivos de prensa (periodo 1990-2025), redes sociales, informes técnicos (REPSOL S.A.) y alertas (Protección Civil de Asturias y parque nacional), el 33% de informes de los guardas y el 21% de indicios recogidos en campo. En total se han identificado 78 inestabilidades de ladera, de las cuales el 60% han sido clasificadas como caída de rocas, siendo la tipología más frecuente en la zona, seguida por los flujos (15%), que en su mayor parte consisten en pequeñas removilizaciones del material de los canchales, si bien se ha detectado un evento de flujo de derrubios de mayor entidad en la Canal del Xaigu en octubre de 2005. La base de datos registra también indicios de 6 deslizamientos, 5 aludes y otros 10 eventos que no se han podido clasificar. Según las fuentes consultadas, la lluvia es el factor desencadenante más citado, aunque en noticias puntuales se indican otros factores naturales, como la oscilación térmica o el deshielo, y antrópicos, como la rotura del canal y la presencia de ganado en la zona.

El 62% de los indicios registrados han sido georreferenciados con elevada fiabilidad, mientras que el 27% restante ha sido localizado de forma aproximada. La

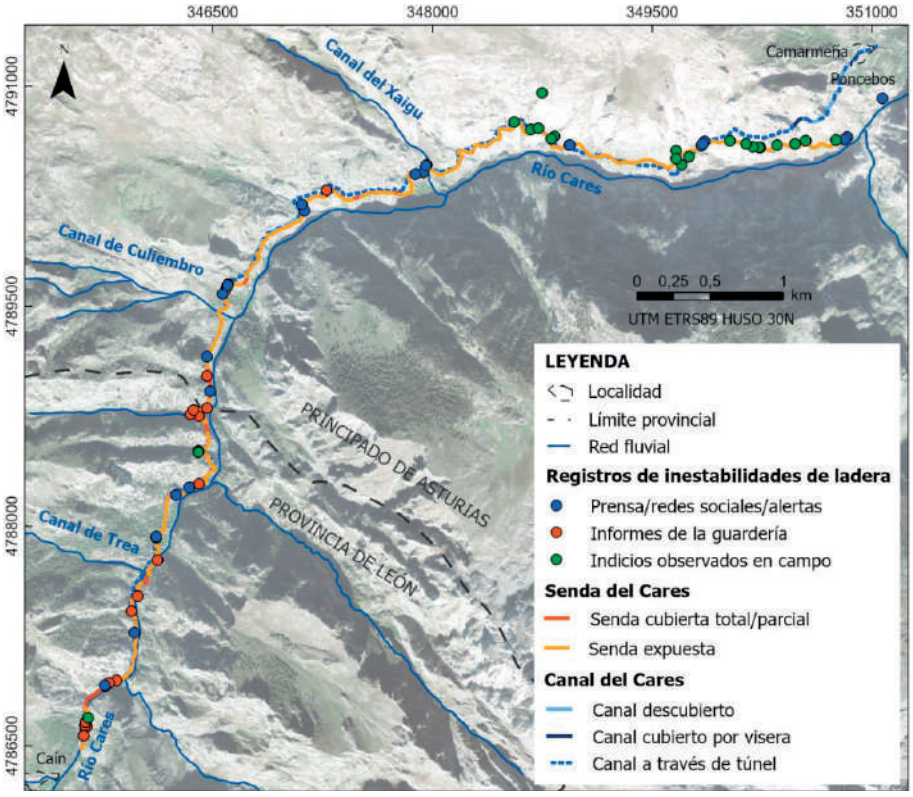


Figura 2. Mapa del inventario de inestabilidades de ladera de la Ruta del Cares, clasificadas según la fuente de información de procedencia.

mayor parte de los indicios (48) se sitúan en la zona asturiana de la senda, mientras que los restantes (30) se encuentra en el sector leonés. En cuanto al aspecto temporal, se dispone de datos exactos o aproximados sobre la fecha de ocurrencia en el 73% de los registros. La mayoría se han producido en el periodo 2001-2024 (1,2 inestabilidades/año), mientras que solo uno se ha producido con anterioridad a este lapso temporal. Los eventos se distribuyen a lo largo de todo el año, si bien febrero es el mes con una mayor incidencia. La representación de la localización espacial de los eventos registrados hasta la fecha en un SIG (Figura 2) ha permitido localizar, de forma preliminar, 12 puntos de especial incidencia. Con respecto a las afecciones generadas por las inestabilidades, en 20 casos la senda se ha visto afectada, y en otros 5 se han producido daños en el canal. Así mismo, 13 de los eventos registrados han ocasionado daños personales a usuarios de la senda, llegando a causar 3 víctimas mortales.

5. Discusión y conclusiones

Los archivos de prensa, redes sociales, informes técnicos y alertas constituyen la fuente de información espacial y temporal más fiable sobre ocurrencia de procesos de ladera en la Ruta del Cares, reflejando sobre todo eventos que han generado algún daño personal o material en la senda o el canal. Los informes aportados por la guardería del parque y los indicios puntuales recogidos en el campo presentan una alta fiabilidad espacial, pero en su mayoría carecen de información exacta sobre la fecha de ocurrencia. No obstante, dichas fuentes aportan información sobre inestabilidades que no han tenido repercusión en los medios de información o en forma de alertas, reduciendo el sesgo del inventario. Este hecho demuestra la utilidad de considerar diferentes fuentes de información para nutrir la base de datos.

El análisis de la información gráfica recopilada, en combinación con el trabajo de campo, la colaboración con los guardas del parque y el uso de la herramienta Google Maps-Google Street View, ha resultado de gran utilidad para georreferenciar los indicios de eventos. Dicha tarea se ha visto facilitada por la disponibilidad de archivos digitales detallados de la traza de la senda y del canal, que proporcionan una referencia espacial fiable en una zona con escasa cobertura de sistemas globales de navegación. El 62% de los registros ha sido situado con alta fiabilidad espacial, lo que ha permitido definir zonas del área de estudio con mayor concentración de inestabilidades. No obstante, estos resultados deben ser considerados como preliminares, dado el reducido número de eventos recopilados hasta la fecha. Así mismo, la información gráfica ha sido clave a la hora de determinar la tipología de las inestabilidades, ya que las descripciones sobre el tipo de evento que se extraen de los archivos de prensa y los informes o alertas tienen una validez limitada, debido a la habitual falta de experiencia del informante en el ámbito geomorfológico.

Cabe resaltar el potencial de la base de datos como fuente de información básica para futuras líneas de investigación, destacando: (1) la correlación con datos meteorológicos para cuantificar la influencia de diferentes factores en su desencadenamiento, como lluvia, viento u oscilación térmica, (2) la validación de cartografías de riesgo por procesos gravitacionales, o (3) la modelización del alcance de los procesos de caída de rocas, entre otras utilidades. Así mismo, el inventario constituye una herramienta de apoyo para los técnicos encargados de

gestionar el riesgo, aportando criterios para implantar señalizaciones de advertencia, diseñar protocolos de autoprotección para su transmisión a los visitantes, etc. Por ello, se considera relevante la actualización periódica de dicho inventario en colaboración con diversas entidades presentes en la zona de estudio (Parque Nacional Picos de Europa, Protección Civil, REPSOL S.A.).

Agradecimientos

Este trabajo está financiado por el Proyecto "Sensibilización ante los procesos de ladera y mejora de la seguridad en sendas de montaña de los Parques Nacionales: propuesta de innovación para la autoprotección y educación ambiental – SAFE-TRACK" mediante la convocatoria de Ayuda a Proyectos de Investigación de la Universidad de León. Los autores agradecen la colaboración prestada por la dirección y la guardería del Parque Nacional Picos de Europa, Protección Civil de Asturias, la empresa REPSOL S.A. y el periódico La Nueva España.

6. Referencias bibliográficas

Álvarez García, L. (2016). Zonificación y evaluación de la peligrosidad por procesos de ladera en la Ruta del Cares. Trabajo Fin de Máster, Universidad de Oviedo. 87 pp.

Brandolini, P., Faccini, F. y Piccazzo, M. (2006). Geomorphological hazard and tourist vulnerability along Portofino Park trails (Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 563-571.

Domínguez-Cuesta, M.J., Álvarez García, L., Meléndez Asensio, M. (2016). Procesos de inestabilidad de laderas en la Ruta del Cares, PN Picos de Europa. En: Morales González, J.A. (Ed.): IX Congreso Geológico de España, Geo-Temas, 16, 601-604. ISSN 1576-5172.

Organismo Autónomo de Parques Nacionales - OAPN. (2022). Visitantes en la Red de Parques Nacionales. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 9 pp.

Valenzuela, P., Domínguez-Cuesta, M.J., Mora García, M.A., Jiménez-Sánchez, M. 2017. A spatio-temporal landslide inventory for the NW of Spain: BAPA database. Geomorphology, 293, 11-23.

DESAPARICIÓN DEL LAGO DE ÁNDARA Y ESTUDIOS Y POSIBILIDADES DE RECUPERACIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO

AUTORES: José Manuel Samperio Calderón[1], E. Ruiz Prieto[2], C. González García[2], A. Martínez Fernández[2], P. Ruiz Vázquez[2], J. Herrero Ruiz[2].

[1] *IES Potes; ACNAMA*
[2] *IES Potes*



El Lago de Ándara era el único lago permanente del macizo oriental de los Picos de Europa. Situado en Cantabria, término municipal de Cillorigo de Liébana en lugar también conocido como del Redondal, majada tradicionalmente utilizada por Tresviso con más de una treintena de cabañas trogloditas.
En esta ponencia se intenta poner fecha a la desaparición del mismo, si bien esta se ha producido paulatinamente por la actividad minera y las posibles voladuras derivadas de las explotaciones que hasta los años 80 del siglo pasado ha habido en la zona. Sabemos con la certeza de fotografías y testimonios relevantes que su pérdida de superficie y volumen fue paulatina entre 1890 y 1920 y que definitivamente en 1924 ya estaba en la situación actual.
Al demostrarse las causas de desaparición por intervención humana, las intenciones de recuperación siempre han destacado en las intenciones del Parque Nacional de Picos de Europa, reflejadas al menos en estudios de 2003, 2009, 2010, y trabajos en 2012 y otros años de este siglo con partidas económicas para desarrollo de proyectos, anunciados en prensa y medios de comunicación que no se han llevado a cabo. En 2018 la Confederación Hidrográfica remitió un informe que observaba posibles contaminaciones que se pueden ver contrastadas por el

mayor impacto ambiental que puede suponer la no existencia del lago, aparte de otros valores evidentes que siempre han existido en favor de su recuperación.
El pasado 14 de mayo de 2025 en la Comisión de despoblación y reto demográfico del Senado se aprobó la siguiente moción en la que en su primer punto se insta al Gobierno a:

1. Iniciar los trabajos necesarios para realizar una nueva valoración que determine si, para la recuperación del Lago de Ándara en el Parque Nacional de los Picos de Europa, existe alguna alternativa técnica de ejecución que elimine los riesgos detectados previamente, y en caso positivo, recabar los correspondientes informes favorables del órgano gestor del parque nacional y del espacio protegido Red Natura 2000, así como de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico y la administración competente en materia de suelos.

Hoy, han transcurrido más de cien años desde su desaparición y la ya escasa población de la zona tiene otras prioridades.
Creemos que el coste de un primer intento de recuperación es mínimo y sin impacto ambiental, valorando una posible solución de impermeabilización.

ESTABLECIMIENTO Y CONSOLIDACIÓN DE LA PLATAFORMA LTSER – PICOS DE EUROPA EN LA RED ESPAÑOLA DE INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA A LARGO PLAZO

José Barquín Ortiz[1] y María Begoña García[2]

[1] *IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria*
[2] *Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC*

La red LTER (Long Term Ecological Research) se inicia en España en 2008, entrando a formar parte de ILTER (red internacional) y eLTER (red Europea). El objetivo principal de esta red es proporcionar información científica de calidad sobre el funcionamiento a largo plazo de los procesos socio-ecológicos en los variados ecosistemas del territorio español. En los últimos años la red LTER-España ha recibido financiación de varios proyectos para consolidar el trabajo en red que se realiza en los 12 nodos en los que participan más de 27 instituciones científicas. Este trabajo ha permitido marcar la hoja de ruta para la consolidación de la red y la harmonización de observaciones que se realizan a nivel nacional, así como, la definición de los criterios y necesidades para que los nodos españoles puedan integrarse en la Infraestructura Europea eLTER. En este marco, cabe mencionar la adhesión de la Plataforma LTSER-Picos de Europa a la red LTER-España en Abril de 2023. El principal objetivo de esta plataforma es mejorar el conocimiento de los efectos del cambio global en los socio-ecosistemas de la montaña cantábrica. En la actualidad la plataforma LTSER-Picos de Europa cuenta con la participación de más de 19 investigadores concentrados en 7 instituciones. Esta plataforma se encuentra refrendada actualmente por un convenio marco que regula su gobernanza y que está impulsando una hoja de ruta para mejorar la digitalización de los resultados de los diferentes programas de seguimiento e impulsar la colaboración entre sus miembros. En esta presentación expondremos el programa de actuaciones realizado hasta la fecha, así como la hoja de ruta prevista para los próximos años tanto a nivel de LTER-España como de la Plataforma LTSER-Picos de Europa. De este modo, los asistentes podrán conocer de primera mano como se están desarrollando estas iniciativas y como pueden contribuir a ambas.

Establishment and consolidation of the LTSER Platform – Picos de Europa in the Spanish Long-Term Ecological Research Network

The LTER (Long Term Ecological Research) network was launched in Spain in 2008, becoming part of ILTER (international network) and eLTER (European network). The main objective of this network is to provide high-quality scientific information on the long-term functioning of socio-ecological processes in the various ecosystems of Spain. In recent years, the LTER-Spain network has received funding for several projects to consolidate the networking work carried out in the 12 nodes in which more than 27 scientific institutions participate. This work has made it possible to set out a roadmap for consolidating the network and harmo-

nising observations made at the national level, as well as defining the criteria and requirements for Spanish nodes to be integrated into the European eLTER Infrastructure. In this context, it is worth mentioning the accession of the LTSER-Picos de Europa Platform to the LTER-Spain network in April 2023. The main objective of this platform is to improve knowledge of the effects of global change on the socio-ecosystems of the Cantabrian mountains. It currently has the participation of more than 19 researchers concentrated in 7 institutions. This platform is currently endorsed by a framework agreement that regulates its governance and is promoting a roadmap to improve the digitisation of monitoring data from different ecosystems and to promote collaboration between members. It currently has the participation of more than 19 researchers concentrated in 7 institutions. This platform is currently endorsed by a framework agreement that regulates its governance and is promoting a roadmap to improve the digitisation of monitoring data from different ecosystems and boost collaboration between platform members. In this presentation, we will outline the programme of actions carried out to date, as well as the roadmap planned for the coming years, both at the LTER-Spain level and at the LTSER-Picos de Europa Platform level. In this way, attendees will be able to learn first-hand how these initiatives are developing and how they can contribute to both.

ACTUALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MAPA DE HÁBITATS DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA MEDIANTE INTEGRACIÓN DE DATOS IN SITU Y TELEDETECCIÓN

Jose Manuel Álvarez-Martínez[12], Jorge González le Barbier[12], Alicia Valdés[12], Gonzalo Hernández Romero[12], Borja Jiménez Alfaro[12]

[1] *Biodiversity Research Institute (IMIB), University of Oviedo–CSIC–Principality of Asturias, Mieres, Asturias, 33600 Spain*
[2] *Department of Organismal and Systems Biology, University of Oviedo, Oviedo, Asturias, 33071 Spain*

RESUMEN

Resumen (inglés):

Monitoring Natura 2000 habitats requires up-to-date and comparable maps over time. In Picos de Europa National Park, a reference habitat map from 2010 provides valuable information but has become outdated for several habitat types. Here we propose a methodological framework to update and validate this map by integrating expert knowledge, field data and satellite time series (Landsat, MODIS and Sentinel-2). Based on the previous map, available field surveys and expert knowledge on the ground, we select training areas and cross-check them with spectral and phenological indicators derived from remote sensing, allowing us to validate and refine current habitat distributions. These data are then used to train predictive remote sensing models, capable of generating updated habitat extent maps and detecting changes in ecosystem structure and function. This approach, successfully applied in recent studies in the Cantabrian Mountains, Central Anatolia and several regions across Spain and Europe, provides a robust pathway to improve habitat mapping accuracy, support adaptive management in protected areas and enhance reporting on conservation status under the Natura 2000 framework.

Resumen (español):

El seguimiento de los hábitats de la Red Natura 2000 requiere disponer de mapas actualizados y comparables en el tiempo. En el Parque Nacional de Picos de Europa, el mapa de referencia de 2010 constituye una fuente valiosa de información, pero ha quedado desactualizado para varios tipos de hábitat. En este trabajo proponemos un marco metodológico para actualizar y validar dicho mapa mediante la integración de conocimiento experto, datos de campo y series temporales de imágenes satelitales (Landsat, MODIS y Sentinel-2). A partir del mapa previo, los muestreos disponibles y la experiencia de expertos en el territorio, seleccionamos áreas de entrenamiento que contrastamos con indicadores espectrales y fenológicos derivados de teledetección, lo que permite validar y refinar la distribución actual de los hábitats. Estos datos se emplean posteriormente para entrenar modelos predictivos basados en teledetección, capaces de generar mapas actualizados de extensión y detectar cambios en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas. Este enfoque, aplicado con éxito en estudios recientes en la Cordillera Cantábrica,

Anatolia Central y diversas regiones de España y Europa, ofrece una vía robusta para mejorar la precisión del mapeo de hábitats, apoyar la gestión adaptativa en espacios protegidos y optimizar el reporte del estado de conservación en el marco de la Directiva Hábitats de la Unión Europea.

MEJORA DE LA CONECTIVIDAD FLUVIAL EN EL ENTORNO DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA. ACCIONES Y SEGUIMIENTO EN EL MARCO DEL PROYECTO DIVAQUA

Francisco J. Peñas[1*], Mario Álvarez-Cabria[1], Alejandra Goldenberg-Vilar[1], Alexia M. González-Ferreras[1], Amaia A. Rodeles[1,2], Victor Liaño[1], Asier Saiz, Francisco[3] J. Sanz-Ronda[4] y José Barquín[1].

[1] *IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.*
[2] *Centro de Investigacion Mariña (CIM), Universidade de Vigo, Vigo, España*
[3] *Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, Palencia. España.*
[4] *Centro Tecnológico ITAGRA CT, Palencia. España*

RESUMEN

La conectividad longitudinal es una propiedad clave de los ríos, permitiendo el flujo de agua, sedimentos, nutrientes y organismos desde la cabecera hasta la desembocadura. Sin embargo, las presas y otras barreras transversales han alterado la conectividad en ríos de todo el mundo, amenazando su biodiversidad y funcionamiento ecológico, lo que ha impulsado acciones de conservación y restauración para recuperarla. En este contexto, uno de los objetivos del proyecto LIFE DIVAQUA fue mejorar la conectividad en ríos del Parque Nacional de Picos de Europa y su entorno, mediante cuatro demoliciones de azudes y la mejora o construcción de tres escalas para peces. Paralelamente, se realizaron seguimientos para evaluar su efectividad a través de cambios en las comunidades piscícolas, la franqueabilidad de obstáculos, el metabolismo fluvial y la hidromorfología. El seguimiento de las comunidades piscícolas indicó un aumento potencial en la distribución del salmón atlántico, localizándose ejemplares aguas arriba de Potes tras derribar tres obstáculos en el río Deva. El experimento en la escala de Poncebos mostró una franqueabilidad moderada para salmónidos, y un incremento de la misma tras las obras de mejora. Los seguimientos también evidenciaron cambios sustanciales en el metabolismo y la hidromorfología, recuperando condiciones más naturales en un periodo de tiempo corto. Aunque los resultados observados sugieren una respuesta positiva, se recomienda un monitoreo a largo plazo para evaluar la efectividad real de estas acciones.

PALABRAS CLAVE:

Azudes, demolición, escalas, peces, hidromorfología

Improvement of river connectivity in and around the Picos de Europa National Park: Actions and monitoring within the framework of the LIFE-DIVAQUA Project

Longitudinal connectivity, that is, the connection from headwaters to river mouths, is a key property of rivers, allowing the flow of water, sediments, nutrients, and organisms. However, dams and weirs have altered this connectivity in rivers world-

wide, threatening their biodiversity, ecological functioning, and ecosystem services. Over the past decade, this has driven an increase in conservation measures and actions to restore it. In this context, one of the objectives of the LIFE-DIVAQUA project was to improve connectivity in rivers in and around the Picos de Europa National Park, through the removal of four weirs and the improvement or construction of three fishways. Beyond these actions, an intense monitoring program was carried out to assess their effectiveness through changes in fish communities and their ability to overcome obstacles, as well as river metabolism and hydromorphology. Monitoring of fish communities indicated a potential increase in the distribution of Atlantic salmon, with individuals found upstream of Potes after the removal of three barriers in the Deva River. The experiment at the Poncebos fishway showed some permeability for salmonids, with an increase after the improvement works. Monitoring also revealed substantial changes in metabolism and hydromorphology following the four removals, showing more natural conditions in a relatively short period of time. Although the short-term results are encouraging, long-term monitoring is recommended to evaluate the real effectiveness of these actions.

KEYWORDS:
Weirs, removal, fishways, fish, metabolism, hydromorphology

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

La conectividad longitudinal, entendida como la continuidad del río desde la cabecera hasta la desembocadura, constituye una de las propiedades fundamentales de los sistemas fluviales, ya que permite el flujo de agua, sedimentos, nutrientes y organismos a lo largo del cauce (Thieme et al., 2023). No obstante, esta continuidad se encuentra actualmente amenazada en un gran número de ríos, como demuestra la existencia de 1,2 millones de barreras artificiales en los ríos europeos (Belletti et al., 2020). Este elevado grado de fragmentación tiene, además, potenciales consecuencias ambientales para funcionamiento y biodiversidad de los ecosistemas acuáticos (Rodeles et al., 2020). Esta situación no es exclusiva de áreas intensamente transformadas, sino que también se reproduce en espacios naturales protegidos con elevados valores ecológicos. Un ejemplo representativo lo constituyen las cuencas de los ríos Deva-Cares y Sella, que drenan el Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE), donde se ha documentado una afección significativa a la continuidad fluvial (González-Ferreras et al., 2019).

Ante este escenario, numerosos autores subrayan la necesidad urgente de restaurar la conectividad mediante la eliminación de estructuras obsoletas y la priorización de la reconexión de tramos fluviales (Belletti et al., 2020), lo cual quedado reflejado esplícitamente en la Estrategia de Biodiversidad de la Unión Europea. En este contexto, en el marco del proyecto DIVAQUA (lifedivaqua.com) se desarrollaron diversas acciones orientadas a incrementar la conectividad en las cuencas del Deva-Cares y del Sella. Concretamente, se llevaron a cabo actuaciones de derribo de cuatro azudes en los ríos Deva (3) y Bullón (1). Asimismo, se realizaron intervenciones de mejora en tres escalas para peces localizadas en los ríos Urdón, Cares y Dobra (Figura 1). El objetivo principal de este trabajo es evaluar la efectividad de estas actuaciones de restauración sobre los ecosistemas fluviales, mediante el análisis de indicadores biológicos, funcionales e hidromorfológicos.

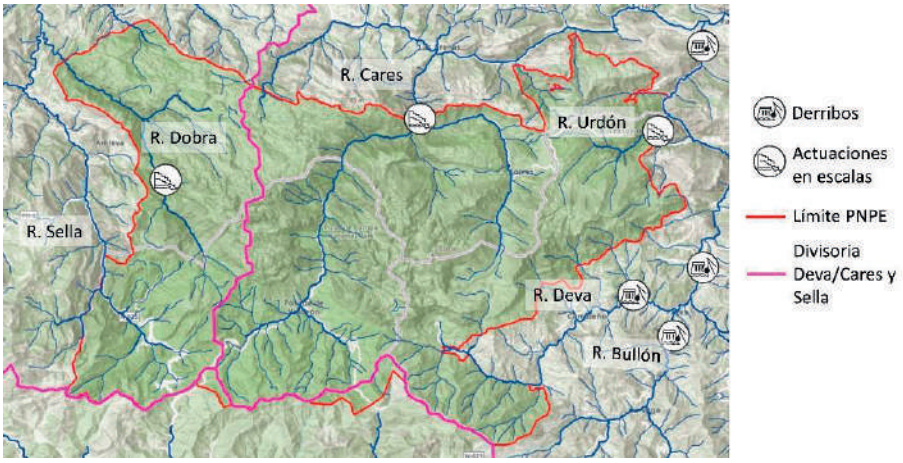


Figura 1. Localización de las actuaciones de derribo y mejora o construcción de escalas desarrolladas en el proyecto DIVAQUA en los ríos del entorno del PNPE.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los indicadores biológicos se utilizaron para evaluar todas las acciones, mientras que los indicadores funcionales e hidromorfológicos solo se aplicaron en los tramos afectados por derribos.

2.1. Seguimiento mediante indicadores biológicos

Se realizaron campañas de caracterización de la fauna piscícola mediante la técnica de pasadas sucesivas con pesca eléctrica. Estas campañas se llevaron a cabo antes y después de las actuaciones, tanto aguas arriba como aguas abajo de cada obstáculo, con el fin de captar las posibles respuestas a la mejora de la conectividad. En cada campaña, todos los individuos capturados fueron identificados a nivel de especie, medidos, pesados y clasificados por estadio de desarrollo. Las abundancias totales y biomasas de cada especie y estadio se estimaron mediante el método de Carle y Strub (1978).

De forma complementaria, se desarrolló un experimento in situ para evaluar la mejora de la capacidad de ascenso de la escala de Poncebos tras su adecuación. Se analizó el comportamiento de ascenso de truchas (Salmo trutta) pertenecientes a diferentes estadios de desarrollo antes y después de la intervención, utilizando un sistema de antenas de detección y marcado individual mediante PIT-tag. Este enfoque permitió estimar cambios en el éxito de ascenso, así como en el tiempo de ascenso.

2.2. Seguimiento mediante indicadores funcionales

Como indicador del funcionamiento del ecosistema fluvial se empleó el metabolismo fluvial, que permite cuantificar, a partir de las variaciones del oxígeno disuelto en el agua, la producción primaria bruta (GPP), la respiración del ecosistema (ER) y la producción neta del ecosistema (NEP). El metabolismo se estimó mediante el método de canal abierto con una estación de medida. Para ello, se instalaron, durante la época estival, sondas y registradores de datos que registraron de forma continua el oxígeno disuelto, la temperatura del agua y la radiación incidente, con una frecuencia de muestreo 5-minutal durante un periodo

de un mes. Las mediciones se realizaron aguas arriba de los obstáculos, tanto antes como después de las actuaciones de derribo. A partir de las series temporales obtenidas se estimaron GPP, ER y NEP mediante modelos de regresión bayesiana, utilizando el paquete StreamMetabolizer (Appling et al., 2018) implementado en R software.

2.3. Seguimiento mediante indicadores hidromorfológicos

El seguimiento de los indicadores hidromorfológicos en los tramos afectados por el derribo de los cuatro azudes se realizó mediante el análisis de los cambios en los modelos digitales del terreno (MDT) del lecho fluvial, considerando tanto el lecho seco como de lecho húmedo, antes y después de los derribos. Para la generación de los MDT se llevaron a cabo campañas topográficas combinando distintas técnicas de adquisición de datos, incluyendo GNSS, escáner láser 3D y equipos Doppler ADCP, con el objetivo de caracterizar de forma precisa la morfología del cauce seco y húmedo en zonas vadeables y no vadeables. Los datos brutos obtenidos fueron procesados mediante ArcGIS Pro, Civil 3D y CloudCompare para la generación de los MDT en las situaciones pre y post-derribo. El análisis de los cambios morfológicos se llevó a cabo mediante Leica Cyclone 3D y Civil3D, lo que permitió cuantificar las variaciones de cota y evaluar la redistribución de sedimentos asociada a cada azud derribado y a cada escenario temporal.

3. RESULTADOS y DISCUSIÓN

3.1. Seguimiento mediante indicadores biológicos

El análisis de las comunidades piscícolas no mostró patrones de cambio consistentes entre las situaciones previas y posteriores a las actuaciones de derribo que puedan atribuirse de forma inequívoca a las obras de restauración. Estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que el periodo de seguimiento considerado es relativamente corto para detectar respuestas claras en comunidades piscícolas, que suelen presentar dinámicas multianuales y una elevada sensibilidad a la variabilidad de las condiciones hidroclimáticas a esta escala temporal. En este contexto, la ausencia de respuestas claras a corto plazo pone de manifiesto la necesidad de seguimientos a medio y largo plazo y de diseños experimentales más robustos, como esquemas de tipo Antes-Después-Control-Impacto. A pesar de ello, se obtuvo un resultado de especial relevancia en el marco del seguimiento independiente desarrollado por IHCantabria en ríos del PNPE dentro de la plataforma LTSER (Peñas et al., 2022). Así, en los años 2022 y 2024 se detectaron ejemplares juveniles de salmón atlántico (Salmo salar) aguas arriba de Potes, un hecho particularmente significativo, dado que desde el inicio del seguimiento en este punto (2015) no se había registrado la presencia de esta especie. Esta observación sugiere una posible expansión del área de distribución de esta especie en el río Deva, coherente con la eliminación de tres azudes previamente infranqueables, y refuerza la hipótesis de que la mejora de la conectividad longitudinal puede traducirse en beneficios ecológicos detectables a corto plazo.

En relación con la evaluación de la franqueabilidad de la escala de peces de Poncebos, los resultados evidencian una mejora clara y consistente tras la actuación. El aumento en el porcentaje de éxito de ascenso y la reducción del tiempo de ascenso indican que la escala ha alcanzado valores de funcionamiento acordes con los estándares de este tipo de infraestructuras, frente a la situación deficitaria do-

cumentada en 2020 (Bravo-Córdoba et al., 2022). Además, la detección de esguines de salmón en el canal de la central hidroeléctrica de Camarmeña, que capta agua arriba del obstáculo, constituye una evidencia indirecta adicional de esta mejora, sugiriendo la existencia de actividad reproductora aguas arriba del obstáculo. No obstante, este resultado también pone de relieve la necesidad de actuaciones complementarias orientadas a evitar la entrada de peces en los canales de derivación, minimizando así los riesgos de mortalidad asociados a las infraestructuras hidroeléctricas.

3.2. Seguimiento mediante indicadores funcionales

El análisis del funcionamiento del ecosistema fluvial mostró cambios sustanciales en las tasas de GPP, ER y NEP tras las actuaciones de restauración (Figura 2). En general, los valores metabólicos tendieron a restablecerse hacia rangos característicos de ríos de montaña con condiciones más naturales, generalmente asociados una reducción de la heterotrofia. Este patrón fue especialmente acusado tras el derribo de los azudes de Potes y Ojedo, lo que sugiere que la eliminación de estas barreras tuvo un efecto sobre diversos factores clave que controlan el metabolismo fluvial. Por el contrario, las menores diferencias observadas en el tramo de Puentelles pueden explicarse por sus características hidromorfológicas y ecológicas naturales, al situarse en una zona más baja de la cuenca.

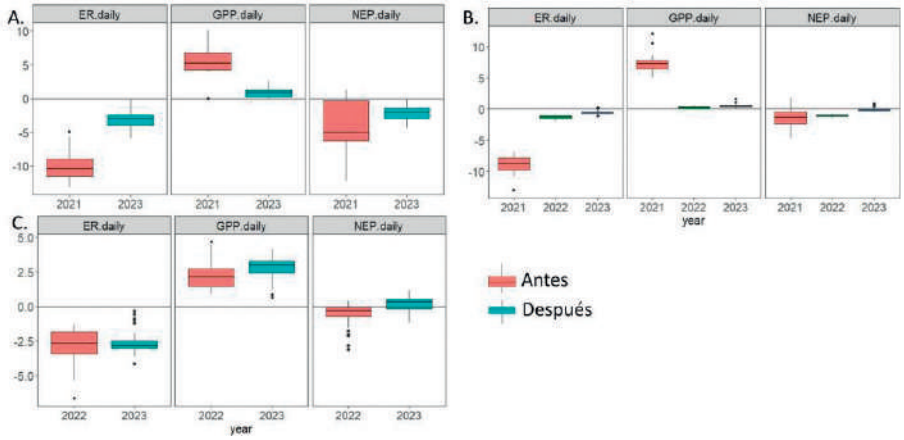


Figura 2. Box-Plots que representan el cambio en la producción primaria bruta (GPP), la respiración del ecosistema (ER) y la Producción Neta del Ecosistema (NEP) tras el derribo de los azudes de Potes (A), Ojedo (B) y Puentelles (C)

El análisis de los cambios hidromorfológicos, basado en la comparación de MDTs obtenidos antes y después del derribo de los azudes, evidenció una reactivación de la dinámica sedimentaria en los tramos restaurados. En todos los casos se observó una movilización sustancial de los sedimentos acumulados aguas arriba de los obstáculos, previamente retenidos por las estructuras transversales. De forma complementaria, se detectaron procesos de acreción sedimentaria en la zona inmediatamente aguas abajo de los azudes, coincidente con las áreas donde se desarrollaban pozas. Más allá de estas pozas, los tramos aguas abajo permanecieron mayoritariamente estables, lo que sugiere que los sedimentos liberados han sido

progresivamente transportados río abajo durante episodios de crecida. Este patrón es coherente con procesos de ajuste geomorfológico post-derribo descritos previamente (Ibisate et al., 2016) y respalda la eficacia de estas actuaciones para restaurarla continuidad y la funcionalidad sedimentaria del sistema fluvial.

4. CONCLUSIONES

Las actuaciones de restauración desarrolladas en el marco del proyecto DIVAQUA y evaluadas en este estudio han supuesto una mejora significativa de la conectividad fluvial en las cuencas del PNPE, con un incremento aproximado de 120 km de continuidad longitudinal libre de obstáculos y una mejora notable de la franqueabilidad de las infraestructuras existentes. Los resultados obtenidos a partir del seguimiento biológico sugieren un aumento en la eficiencia de los movimientos migratorios de la fauna piscícola, lo que se traduce en evidencias especialmente relevantes, como la detección de juveniles de salmón atlántico en tramos donde no se había registrado su presencia en más de una década. Este hallazgo apunta a una posible recolonización de tramos fluviales dentro del PNPE, en un contexto especialmente sensible para una especie catalogada en peligro de extinción tanto en la vertiente cantábrica como en la asturiana, donde su distribución se encontraba previamente muy restringida. De forma complementaria, los indicadores funcionales e hidromorfológicos evidencian una recuperación parcial del funcionamiento del ecosistema fluvial y de la dinámica sedimentaria, observándose patrones y procesos característicos de ríos de montaña con un menor grado de alteración antrópica. En conjunto, estos resultados refuerzan el papel de las actuaciones de eliminación de barreras y mejora de la conectividad como herramientas eficaces para la restauración de ecosistemas fluviales de alta montaña y elevado valor ecológico. No obstante, las conclusiones deben interpretarse con cautela, ya que la obtención de evidencias más robustas requerirá la continuidad del seguimiento a largo plazo, especialmente en lo relativo a la respuesta de las comunidades biológicas y al funcionamiento ecosistémico. En este sentido, el presente trabajo constituye una base sólida sobre la que avanzar hacia evaluaciones más integrales que permitan valorar plenamente los beneficios de la restauración fluvial en espacios naturales protegidos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido llevado a cabo como parte del proyecto CONNECTFISH financiado por la Fundacion Biodiversidad del MITECTO en el marco del PRTR, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU y como parte del proyecto RIUCO (3193/2024), financiado por el OAPN/MITECO. Francisco J. Peñas agradece la ayuda RYC2024-049751-I financiada por MICIU.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Appling AP et al (2018) Overcoming Equifinality: Leveraging Long Time Series for Stream Metabolism Estimation. JCR Biogeosciences 123 (2).

Belletti B et al. (2020) More than one million barriers fragment Europe's rivers. Nature 588.

Bravo-Cordoba FJ al. (2022). Brown trout upstream passage performance for a fishway with water drops between pools beyond fish passage design recommendations. Water 14 (17).

Carle FL y Strub MR (1978) A New Method for Estimating Population Size from Removal Data. Biometrics 34.

Gonzalez-Ferreras AM et al. (2019) Effects of altered river network connectivity on the distribution of Salmo trutta: Insights from a metapopulation model. Freshwater Biology 64 (11).

Ibisate A et al (2016). Geomorphic monitoring and response to two dam removals: rivers Urumea and Leitzaran (Basque Country, Spain). Earth Surface Processes and landforms 41.

Peñas FJ et al. (2023) An evaluation of freshwater monitoring programs in ILTER nodes and mountain national parks: identifying key variables to monitor global change effects. Biodiversity and Conservation 32 (1), 65-94.

Rodeles AA et al. (2020) Barriers to longitudinal river connectivity: review of impacts, study methods and management for Iberian fish conservation. Limnetica 39 (2), 601-288.

Thieme M et al. (2024) Measures to safeguard and restore river connectivity. Environmental Reviews, 32 (3).

EVALUACIÓN DE LA ALTERACIÓN DE LOS REGÍMENES HIDROLÓGICOS, TÉRMICOS Y METABÓLICOS PRODUCIDA POR APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS EN EL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA

Raquel Zarauza, Francisco J. Peñas, Amaia A. Rodeles[1,2,]
Alejandra Goldenberg-Vilar[1] & José Barquín

[1] *IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, España.*
[2] *Centro de Investigación Mariña (CIM), Universidad de Vigo, España.*

1. RESUMEN

Los ríos de montaña del Parque Nacional de Picos de Europa son considerados ecosistemas naturales con una escasa perturbación humana. No obstante, un importante número de estos cursos fluviales presentan numerosas infraestructuras destinadas al aprovechamiento hidroeléctrico. Estos aprovechamientos pueden alterar los patrones hidrológicos y térmicos y, en consecuencia, repercutir de forma importante sobre la biodiversidad, los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos derivados, como el secuestro de carbono. El objetivo principal de este estudio es conocer y cuantificar cómo los aprovechamientos hidroeléctricos localizados en ríos del Parque Nacional de Picos de Europa modifican los regímenes de caudal y temperatura, así como sus patrones naturales de funcionamiento. Para ello, hemos monitoreado el caudal, la temperatura del agua y el metabolismo fluvial en la primavera y verano del 2023 y 2024 en 7 tramos (controles e impactos). Los resultados indican alteraciones de la temperatura y de caudal significativos en los tramos impactados, que se traduce en un aumento de las tasas de metabolismo. Sin embargo, la magnitud y dirección de estas tendencias no son uniformes en todos los aprovechamientos estudiados, lo que sugiere la singularidad de cada aprovechamiento y variabilidad local. Estos resultados son de especial relevancia para mejorar la comprensión del impacto de las hidroeléctricas y mejorar así la gestión y conservación de los ecosistemas fluviales.

SUMMARY

The mountain rivers of the Picos de Europa National Park are considered natural ecosystems with little human disturbance. However, a significant number of these watercourses have numerous infrastructures for hydroelectric exploitation. These exploitations can alter hydrological and thermal patterns and, consequently, have a significant impact on biodiversity, ecological processes and related ecosystem services, such as carbon sequestration. The main objective of this study is to understand and quantify how hydroelectric developments located on rivers in the Picos de Europa National Park modify flow and temperature regimes, as well as their natural functioning patterns. To this end, we monitored flow, water temperature and river metabolism during the spring and summer of 2023 and 2024 in seven sections (controls and impacts). The results indicate significant impacts in temperature and flow in the impacted sections, which translates into an increase

in metabolism rates. However, the magnitude and direction of these trends are not uniform across all the developments studied, suggesting the uniqueness of each development and local variability. These results are particularly relevant for improving our understanding of the impact of hydroelectric power plants and thus improving the management and conservation of river ecosystems.

2. PALABRAS CLAVE:
Respiración ecosistémica, Producción primaria, Regimen hidrológico, Aprovechamientos hidroeléctricos.

Ecosystem respiration, Primary production, Hydrological regimes, Hydroelectric dams.

3. OBJETIVOS:
1. Evaluar el impacto de la actividad hidroeléctrica en los regímenes hidrológicos y térmicos y los patrones naturales del metabolismo fluvial en los ríos del Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE).
2. Analizar la influencia de la alteración del caudal y la temperatura sobre las variaciones en las tasas de producción primaria (PP) y respiración ecosistémica (RE).

4. MATERIALES Y MÉTODOS:
4.1. Área de estudio y diseño de muestreo.
Para este estudio se han seleccionado siete tramos fluviales localizados en las cuencas del Deva-Cares y del Dobra. El diseño experimental sigue un enfoque control-impacto en el que se ha estudiado el efecto de los aprovechamientos hidroeléctricos en cuatro localizaciones: Dos en el Dobra (Jocica y Restaño) y dos en el Cares (Cordiñanes y Caín). En cada localización, los controles se sitúan aguas arriba de los aprovechamientos hidroeléctricos y los impactos aguas abajo, con un total de tres tramos control y cuatro tramos impactados. En la cuenca del Dobra, los tramos seleccionados se encuentran condicionados por la presa de La Jocica, la cual presenta un embalse de gran profundidad. En este sistema se ha definido un tramo control situado aguas arriba de la presa y dos tramos impacto ubicados aguas abajo, uno de ellos afectado además por la central de Restaño. Por su parte, las localizaciones analizadas en el Cares corresponden a la presa y central de Cordiñanes, que presenta un embalse somero aguas arriba de la presa. En este punto se ha establecido un tramo control situado aguas arriba de la toma de agua y del embalse y un tramo impactado aguas abajo antes de la restitución del caudal en la central hidroeléctrica. Adicionalmente, en el sistema del Cares también hemos analizado el impacto producido por la presa y toma de Caín, donde se ha considerado un tramo control aguas arriba de la presa, y un tramo impactado aguas abajo de la misma.

4.2. Estimación de metabolismo.
El metabolismo fluvial se ha estimado mediante la metodología de una estación de caudal abierto, tomando mediciones de las variables necesarias para ello en campañas mensuales realizadas durante la primavera y verano del 2023 y 2024 (6 campañas en total). Concretamente, para la estimación del metabolismo se

instalaron sondas de medición continua de 1) luz fotosintéticamente activa mediante el dispositivo HOBO (Pendant Temperature/Light Data Loggers; UA-002-64, Onset), 2) presión barométrica y presión en agua mediante Modular Sensing Pressure Loggers para estimar niveles de agua en continuo y 3) concentración de oxígeno disuelto en el agua y temperatura a través de MiniDOT loggers.
Finalmente, se tomaron medidas de caudal en cada campaña mediante un correntímetro acústico Doppler (SonTek, flowtracker 2), que se utilizaron para elaborar curvas de gasto y estimar el caudal diario. 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 et al., 2018), del software - R version 4.4.3 (RCore Team, 2025). El modelo calcula las variaciones diarias de oxígeno combinando la PP, RE e intercambio gaseoso, a través de la profundidad, la luz y la saturación de oxígeno. Las asunciones del modelo fueron comprobadas, como Rhat < 1.2, valores imposibles o correlaciones menores a 0.7 entre RE e intercambio gaseoso, entre otras.

4.3. Análisis del impacto generado por los aprovechamientos hidroeléctricos.
Para evaluar el impacto de las centrales hidroeléctricas sobre los regímenes hidrológicos y térmicos y sobre la PP y la RE, se ajustaron modelos mixtos para cada localización que permitieron analizar las diferencias entre los impactos y sus controles. En cada uno de los modelos, la temperatura del agua, el caudal, la PP y la RE fueron utilizadas como variables dependientes, el tratamiento (control vs impacto) como efecto fijo y la fecha como factor aleatorio. Todas las asunciones de normalidad, independencia y homocedasticidad fueron comprobadas y se aplicaron transformaciones de la variable dependiente cuando fue necesario. Además, en varios modelos se controló la heterocedasticidad para cumplir con los supuestos haciendo uso de dispformula del paquete glmmTMB. El ajuste de los modelos se evaluó a través del error cuadrático medio (rmse).

4.4. Influencia de la alteración de los patrones hidrológicos y térmicos sobre el metabolismo fluvial.
Para responder al segundo objetivo se ajustaron dos modelos mixtos similares a los descritos en el apartado anterior con la PP y la RE como variables dependientes, pero incluyendo la temperatura del agua, el caudal o ambas variables como covariables del modelo. Posteriormente, se seleccionaron los mejores modelos según el criterio de Akaike. Este procedimiento nos permitió comprender qué covariable tiene más peso sobre las tasas de PP y RE. De manera análoga a los modelos descritos en la sección 4.3, todas las asunciones fueron comprobadas. Para comprender la magnitud del efecto de las covariables, el ajuste de los modelos se evaluó a través de R2 marginal (solo factores fijos) y R2 condicional (modelo completo). Todos los análisis se realizaron con el paquete glmmTMB (Mollie E. et al, 2017), del software - R version 4.4.3 (RCore Team, 2025).

5. RESULTADOS:
5.1.Impacto de la actividad hidroeléctrica sobre los patrones hidrológicos y térmicos.
Los modelos mixtos realizados para conocer cómo afecta la actividad hidroeléctrica a la temperatura del agua, han mostrado diferencias significativas entre los

tramos control e impacto en todas las localizaciones estudiadas. Caín (rmse = 0.15) y Cordiñanes (rmse = 0.455) han mostrado aumentos significativos de la temperatura aguas abajo de la central hidroeléctrica ($p < 0.01$; Figura 1). Por el contrario, Jocica (rmse = 0.125) y Restaño (rmse = 0.018) mostraron reducciones significativas de la temperatura del agua en los tramos impactados ($p < 0.01$). De manera similar, los modelos mixtos realizados para analizar si existen diferencias en la magnitud de caudal, han mostrado reducciones significativas de caudal en los tramos impactados ($p < 0.01$; Figura 1), en tres de las cuatro localizaciones estudiadas, Cain (rmse = 0.415), Cordiñanes (rmse = 0.888) y Restaño (rmse = 0.378).

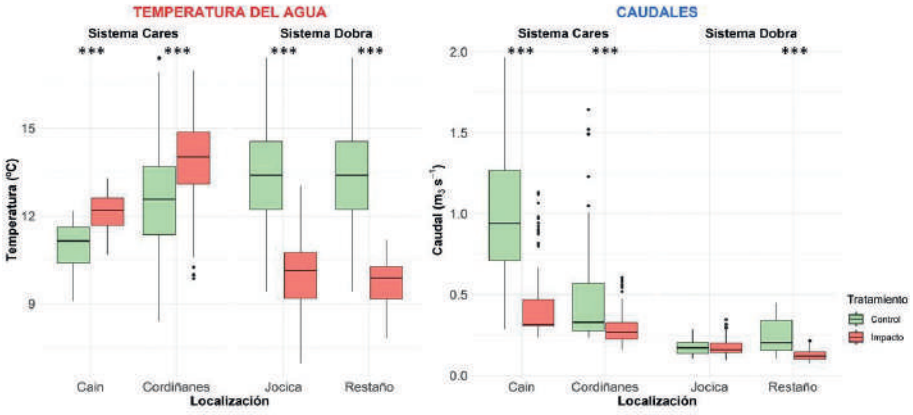


Figura 1. Temperatura del agua y caudales en los distintos sitios de estudio, separados por sistema. Las cajas verdes se corresponden con los tramos control y las rojas con tramos impacto. Los asteriscos representan la significación: $p < 0.01$ '***', $p < 0.05$ '*'.

5.2. Impacto de la actividad hidroeléctrica sobre los patrones metabólicos.

Los modelos mixtos de PP han mostrado aumentos significativos en los tramos impactados ($p < 0.01$; Figura 2), para tres de las localizaciones estudiadas Cordiñanes (rmse = 0.700), Jocica (rmse = 0.543), y Restaño (rmse = 0.15). Pa-

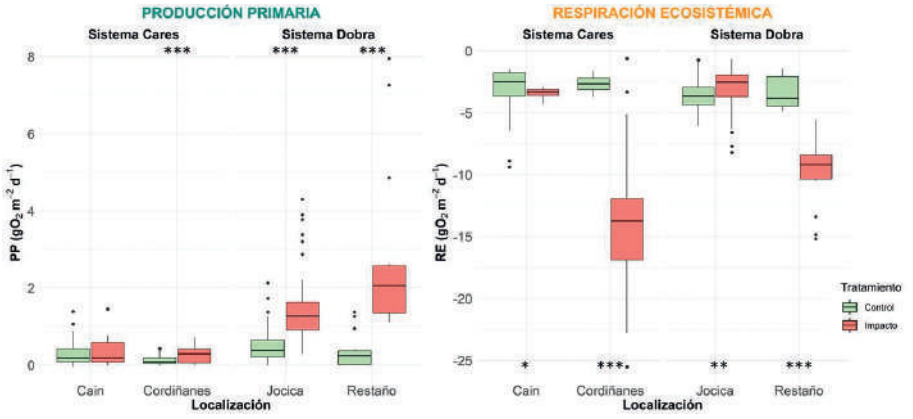


Figura 2. Producción primaria (PP) Y Respiración ecosistémica (RE) en los distintos sitios de estudio, separados por sistema. Las cajas verdes se corresponden con los tramos control y las rojas con tramos impacto. Los asteriscos representan la significación: $p < 0.01$ '***', $p < 0.05$ '*'.

ralelamente, los modelos de RE han indicado diferencias significativas en todas las localizaciones (Figura 2). Así, se han obtenido incrementos significativos de la RE en Cain ($p < 0.05$; rmse = 0.638), Cordiñanes ($p < 0.01$; rmse = 0.639) y Restaño ($p < 0.01$; rmse = 0.156). Por el contrario, la localización de Jocica ($p < 0.01$; rmse = 0.973) ha mostrado una reducción significativa.

5.3. Influencia de la alteración de los patrones hidrológicos y térmicos sobre el metabolismo fluvial.

Los resultados muestran que la PP se ve significativamente ($p<0.01$) influenciada por los cambios de temperatura del agua en dos de las cuatro localizaciones estudiadas, mientras que la RE se ve influenciada tanto por la alteración del caudal ($p<0.01$) en dos de las localizaciones estudiadas, como por la modificación de la temperatura del agua ($p<0.01$), en las dos localizaciones restantes.

Variable dependiente	Localización	Covariable	*p* valor	R^2c	R^2m
Producción primaria	Caín	Temperatura del agua	0.364	0.018	0.119
	Cordiñanes	Temperatura del agua	*p*<0.01	0.198	0.425
	Jocica	Temperatura del agua	*p*<0.01	0.501	0.614
	Restaño	Caudal	0.054	0.604	0.918
Respiración ecosistémica	Caín	Caudal	*p*<0.01	0.226	0.408
	Cordiñanes	Temperatura del agua	*p*<0.01	0.591	0.60
	Jocica	Caudal	*p*<0.01	0.159	0.164
	Restaño	Temperatura del agua	*p*<0.01	0.828	0.937

Tabla 1: Resultados de los modelos mixtos realizados para cada localización para la Producción primaria y la Respiración ecosistémica. Se muestra la covariable con mayor peso seleccionada a través del criterio de Akaike, el p valor y la R2 condicional (R2c) y marginal (R2m).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:

Los ríos de montaña dentro del PNPE albergan aprovechamientos hidroeléctricos debido a su notable potencial hidroenergético (Rocha Pompeu et al., 2024) y a la percepción de esta generación de energía renovable como una alternativa de reducido impacto ambiental. Sin embargo, estas infraestructuras pueden alterar los patrones naturales del ecosistema, afectando tanto a su biodiversidad como a su funcionamiento. Los resultados de este estudio ponen de manifiesto reducciones significativas de caudal en tres de las cuatro localizaciones estudiadas, lo cual modifica las características hidráulicas del tramo como las profundidades y las velocidades del agua (Demars et al., 2024).

Variaciones en la velocidad y en el tiempo de residencia del agua pueden modificar los patrones de temperatura en el río. De hecho, nuestros resultados muestran aumentos significativos de la temperatura en dos de las localizaciones estudiadas.

No obstante, las dos localizaciones en el sistema del Dobra, muestran reducciones significativas en la temperatura aguas abajo de la presa. Es importante matizar, que debido a la naturaleza Karstica del PNPE existen numerosas surgencias de agua subterránea a lo largo de todo el sistema. En este sentido, se ha documentado la existencia de una surgencia aguas abajo de la presa de la Jocica que podría explicar los resultados obtenidos. Estos cambios en los caudales y temperaturas aguas abajo de la toma de agua de los aprovechamientos hidroeléctricos pueden alterar la concentración de nutrientes, los flujos de sedimento (Rocha Pompeu et al., 2024) y afectar a organismos, lo cual, a su vez puede dar lugar a variaciones en el metabolismo fluvial. En este contexto, los resultados de este estudio muestran aumentos significativos de la PP, así como incrementos significativos de la RE en la mayoría de las localizaciones estudiadas. El gran incremento de la RE observado en Cordiñanes podría estar vinculado a la presencia del embalse muy somero, que favorece la ralentización del agua y el desarrollo de comunidades heterótrofas. La localización del Jocica, por el contrario, muestra una reducción significativa de la RE, que podría asociarse con las reducciones de temperatura observadas.

El análisis de las covariables más significativas ha puesto en evidencia en dos localizaciones que la PP y la ER se ven principalmente influenciadas por la temperatura del agua, como demuestra el grado de significación de esta covariable. Esto puede deberse a que la temperatura regula directamente la actividad enzimática y los ratios de actividad de los organismos (Maggi et al., 2018). Además, la RE también se ha visto influenciada por el caudal, ya que las reducciones de este, pueden exponer sedimentos y aumentar la oxidación de materia orgánica, intensificando la RE (Acuña, 2004).

Como conclusión, nuestros resultados ponen de manifiesto efectos generalizados de los aprovechamientos hidroeléctricos sobre el funcionamiento fluvial, con tendencia hacia un incremento de la heterotrofia. No obstante, los cambios observados no son homogéneos en todas las localizaciones, lo que refuerza la idea de que estos sistemas son altamente dependientes del tipo de regulación, gestión y del contexto hidrológico a escala local. En este contexto, resulta fundamental poner de manifiesto la complejidad inherente a la gestión de los impactos en los ecosistemas fluviales de montaña, donde es necesario compatibilizar las demandas antrópicas con las necesidades ecológicas. En este sentido, el conocimiento científico desempeña un papel clave en el diseño de medidas de gestión eficaces y sostenibles a largo plazo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Acuña, V. (2004). Riparian forest and hydrology influences on the ecosystem structure and function of a mediterranean stream.

Appling, A. P., Hall, R. O., Yackulic, C. B., & Arroita, M. (2018). Overcoming Equifinality: Leveraging Long Time Series for Stream Metabolism Estimation. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 123(2), 624–645. https://doi.org/10.1002/2017JG004140

Demars, B. O. L., Schneider, S. C., Thiemer, K., Dörsch, P., Pulg, U., Stranzl, S., Velle, G., & Pathak, D. (2024). Light and temperature controls of aquatic plant photosynthesis downstream of a hydropower plant and the effect of plant removal. Science of the Total Environment, 912. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169201

Maggi, F., Fiona, F. H., & Riley, W. J. (2018). The Thermodynamic Links between Subs-

trate, Enzyme, and Microbial Dynamics in Michaelis–Menten–Monod Kinetics. International Journal of Chemical Kinetics, 50(5), 343–356. https://doi.org/10.1002/kin.21163

Mollie E. Brooks, Kasper Kristensen, Koen J. van Benthem, Arni Magnusson, Casper W. Berg, Anders Nielsen, Hans J. Skaug, Martin Maechler and Benjamin M. Bolker (2017). glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. The R Journal, 9(2), 378-400. doi: 10.32614/RJ-2017-066.

R Core Team (2025). R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

Rocha Pompeu, C., Peñas, F. J., & Barquín, J. (2024). Effects of irrigation dams on riverine biota in mountain streams. Frontiers in Environmental Science, 12. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1332268

ESTIMACIÓN DE TASAS DE RESPIRACIÓN DE LOS DISTINTOS COMPARTIMENTOS DE LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES: LOS PROYECTOS RIUCO Y BIORESP

Alexia María Gonzalez-Ferreras[1*], Eoin J. O'Gorman[2], Mario Álvarez-Cabria[1], Francisco J. Peñas[1] and José Barquín[1]

[1] *IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. C/Isabel Torres 15, 39011 Santander, Spain*

[2] *School of Life Sciences, University of Essex, Wivenhoe Park, Colchester, CO4 3SQ, UK*

RESUMEN

La mayoría de métodos para evaluar el estado de los ríos se basan en la desviación de elementos estructurales (p. ej., grupos biológicos o calidad del agua) respecto a condiciones de referencia. Sin embargo, basarse solo en estos elementos no aporta información sobre la calidad funcional de los sistemas fluviales. Por ello, usar indicadores funcionales es cada vez más importante para predecir las consecuencias de perturbaciones a gran escala, como el cambio climático. En este sentido, las tasas metabólicas figuran entre los rasgos de los organismos que podrían verse más afectados por el cambio climático, ya que dependen de la temperatura. En este contexto, los proyectos RIUCO y BIORESP (ambos en desarrollo), enfocados en el papel de los refugios térmicos en ecosistemas fluviales de montaña y en los efectos del calentamiento en el funcionamiento de ríos, respectivamente, muestran gran sinergia en sus objetivos. Ambos incluyen entre sus tareas la estimación in situ de tasas de respiración en distintos compartimentos del ecosistema fluvial (p. ej., peces, biofilm o invertebrados) en el PNPE. Comprender las tasas de respiración en estos compartimentos es clave para identificar qué grupos podrían verse más afectados por el calentamiento y cómo sus respuestas metabólicas influyen en el funcionamiento ecosistémico. Los resultados de RIUCO y BIORESP generarán nuevo conocimiento sobre cómo el calentamiento podría afectar a los ecosistemas fluviales.

PALABRAS CLAVE: temperatura del agua, tasa metabólica, biofilm, invertebrados, trucha común

Estimation of Respiration Rates in Different Compartments of River Ecosystems: The RIUCO and BIORESP Projects

Most available methods for evaluating river condition are based on the deviation of structural elements (e.g., biological groups or water quality) from a reference condition. However, relying solely on structural elements does not provide information about the functional quality of river systems. Therefore, the use of functional indicators is becoming increasingly important to predict the consequences of large-scale disturbances such as climate change. In this regard, metabolic rates are among the organismal traits that might be most affected by climate warming, as they are highly temperature-dependent. In this context, the RIUCO and BIO-

RESP projects (both currently under development), aimed at studying the role of thermal refuges in mountain river ecosystems and studying the effects of warming on river functioning respectively, show strong synergy in the development of their objectives. Both projects include among their core tasks the in situ estimation of respiration rates of different compartments of river ecosystems (e.g., fish, biofilm, or invertebrates) in the Picos de Europa National Park. Understanding respiration rates across these compartments is essential for identifying which groups could be most affected by warming, and how their metabolic responses may influence overall ecosystem functioning. Results from RIUCO and BIORESP projects will contribute to generating new knowledge on how warming might affect river ecosystems.

KEYWORDS: water temperature, metabolic rate, biofilm, invertebrates, brown trout

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

Los ecosistemas de agua dulce se caracterizan por una alta contribución a la biodiversidad global en relación a su superficie (Dudgeon et al., 2006), así como por la provisión de bienes y servicios fundamentales para la sociedad. Sin embargo, estos ecosistemas se enfrentan a múltiples amenazas antropogénicas que incluyen la sobreexplotación, contaminación, alteración de caudales, cambios en los usos del suelo, modificación, fragmentación o degradación del hábitat e invasión por especies exóticas (Dudgeon et al., 2006; Oberdorff, 2022; Strayer & Dudgeon, 2010). Además, tanto la calidad como la cantidad del agua son dependientes del clima y, en consecuencia, las alteraciones en la magnitud, frecuencia, duración, temporalidad y variabilidad de los eventos térmicos e hidrológicos debidas al cambio climático aumentan la presión sobre estos ecosistemas, y que además es probable que se pueda ver incrementada en los próximos años (IPCC, 2022; van Vliet et al., 2023).

Los ríos y arroyos de montaña, caracterizados por corrientes rápidas, aguas frías y bien oxigenadas, son ecosistemas clave dentro de las redes fluviales. Son zonas muy importantes desde un punto de vista ecológico, ya que pueden albergar especies que solamente se encuentran en esas zonas de la red fluvial, son esenciales para las especies que viven en otras zonas de la red fluvial y/o pueden influenciar el funcionamiento de las zonas aguas abajo de la red fluvial y a los ecosistemas terrestres adyacentes (Meyer et al., 2007). Los ríos y arroyos de montaña suelen tener su origen en manantiales alimentados por aguas subterráneas (con temperaturas estables) o en zonas de cabecera, donde las pendientes elevadas, el fuerte relieve y las precipitaciones recurrentes favorecen la formación de cauces (con temperaturas variables). Estos regímenes térmicos diferentes (estables o variables) proporcionan una útil sustitución espacio-tiempo para estudiar los efectos del cambio climático, el cual puede alterar tanto los valores promedio de la temperatura del agua como su variabilidad.

La mayoría de métodos para evaluar el estado ecológico de los ríos y arroyos se basan en la desviación de elementos estructurales (p. ej., grupos biológicos o calidad del agua) respecto a condiciones de referencia. Sin embargo, estos elementos no aportan información sobre la calidad funcional de los sistemas fluviales, la cual puede ser esencial para entender los impactos sobre estos ecosistemas. En este sentido, las tasas metabólicas se encuentran entre los rasgos de los organis-

mos que pueden verse afectados sustancialmente por el cambio climático, ya que dependen en gran medida de la temperatura (Brown et al., 2004). En este contexto, los proyectos RIUCO (3193/2024) y BIORESP (PID2023-150641OB-I00; ambos en desarrollo actualmente), enfocados en el papel de los refugios térmicos en ecosistemas fluviales de montaña y en los efectos del calentamiento en el funcionamiento de ríos, respectivamente, muestran gran sinergia en sus objetivos. El objetivo central de BIORESP es generar relaciones entre la biomasa y las tasas de respiración de organismos biológicos específicos de los ríos, con el fin de aumentar nuestra capacidad de predicción de los efectos del cambio climático en los ríos. Por su parte, el objetivo principal del proyecto RIUCO consiste en analizar y evaluar la importancia de los refugios térmicos en los ecosistemas fluviales de los Parques Nacionales de montaña con el fin de generar nuevo conocimiento y aumentar la capacidad predictiva de los efectos del cambio global. Ambos proyectos incluyen entre sus tareas la estimación in situ de tasas de respiración en distintos compartimentos del ecosistema fluvial (p. ej., peces, biofilm o invertebrados). El objetivo de este trabajo es presentar la metodología propuesta por los proyectos BIORESP y RIUCO para la estimación de las tasas metabólicas en los distintos compartimentos del ecosistema fluvial en 6 tramos fluviales de montaña localizados en las cuencas Deva-Cares y Sella, los cuales presentan regímenes térmicos diferentes (estables o variables; Figura 1), así como definir las perspectivas futuras de los resultados del proyecto.

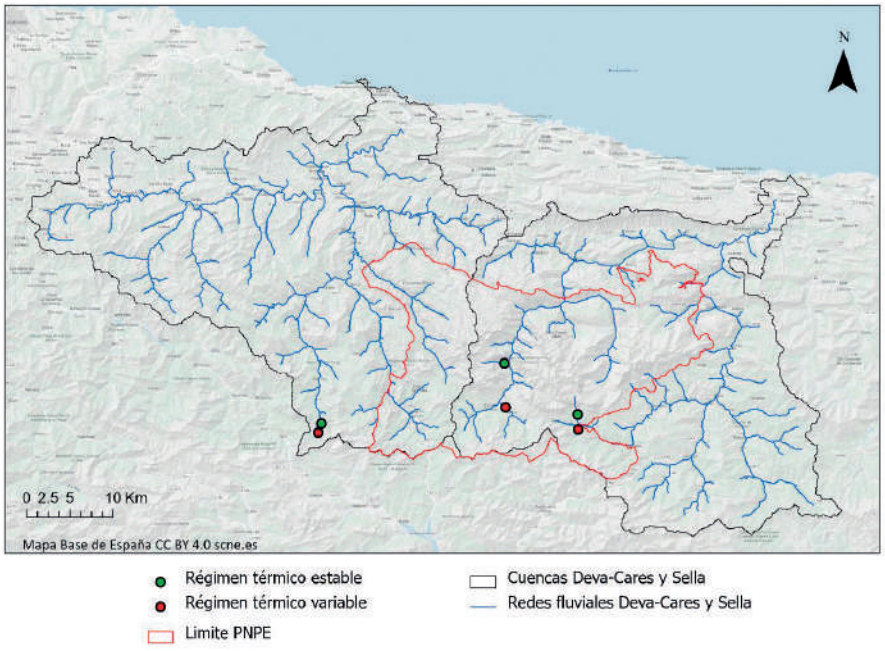


Figura 1. Localización de los 6 tramos fluviales de estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

En el contexto de los proyectos RIUCO y BIORESP se ha llevado a cabo un muestreo en cada uno de los 6 tramos fluviales de estudio (Figura 1) en septiembre de

2025 para obtener la estimación in situ de las tasas de consumo de oxígeno (como indicador de las tasas metabólicas) de diferentes compartimentos del ecosistema fluvial (biofilm, peces e invertebrados).
En cada uno de los puntos de muestreo se han capturado en torno a 18 individuos de trucha común (Salmo trutta Linnaeus, 1758) de diferentes estadios de desarrollo mediante técnicas de pesca eléctrica y se han recolectado manualmente 6 piedras con biofilm bentónico del lecho del río para la posterior medición del consumo de oxígeno en recipientes cilíndricos de plástico transparente cerrados herméticamente (Figura 2). Estos recipientes se han sumergido para su llenado en un recipiente de 50 L con agua de río previamente filtrada a través de un tamiz de 250 µm. Cada recipiente hermético contiene un pez o una piedra, evitando durante su llenado la aparición de burbujas de aire. En el caso del biofilm, se han utilizado 3 recipientes transparentes (para estimar la producción primaria) y 3 recipientes opacos (para estimar las tasas de respiración). Dentro de cada recipiente se ha colocado un sensor (Minidot-PME) para registrar las mediciones de oxígeno y temperatura del agua en intervalos de 1 minuto durante una duración aproximada de 2-3 horas y un pequeño motor que recircula el agua. Además, se ha utilizado un recipiente conteniendo solamente agua filtrada (sin pez ni biofilm) para utilizar como control de la fotosíntesis/respiración de microorganismos presentes en el agua. Al finalizar el experimento se ha medido y pesado cada individuo de trucha común y se han devuelto al mismo tramo en el que fueron capturados. Tras el experimento, el biofilm de las piedras se ha raspado y conservado para la medición posterior en laboratorio de chlorophyll a (Chla) y carbono epilítico (AFDM - Ash Free Dry Mass). La biomasa de las poblaciones piscícolas se ha calculado a partir de la captura de peces en un área conocida. Para ello, además del registro del peso de los individuos, se ha medido el área de muestreo donde se ha llevado a cabo la captura del total de individuos. La biomasa del biofilm se determinará a través de la Chla y del AFDM para la parte fotosintética y el total del biofilm, respectivamente.



Figura 2. Vista superior de los recipientes colocados en el tramo de estudio durante la medición del consumo de oxígeno por peces y biofilm. La piedra superior colocada sobre el recipiente previene el desplazamiento o movimiento del recipiente por la corriente.

En el caso de los macroinvertebrados, se han recolectado a través de una red de tipo kicker e identificado visualmente en campo al nivel taxonómico más bajo posible. El consumo de oxígeno de los macroinvertebrados se ha medido durante un periodo de 1-2 horas utilizando un SDR SensorDish® Reader que mide el oxígeno a lo largo del tiempo mediante sensores ópticos. En cada tramo de estudio, se han utilizado en torno a 5 individuos de cada taxón identificado, los cuales se incluyen individualmente en cada vial con agua filtrada de río. Se ha utilizado además un vial de agua filtrada sin invertebrados para controlar la fotosíntesis/respiración de microorganismos presentes en el agua. El equipo SDR SensorDish® Reader se ha mantenido dentro de un recipiente (sin agua dentro) sumergido en agua del tramo fluvial para obtener una temperatura lo más cercana posible a la temperatura del agua del tramo de estudio. Una vez completado el tiempo del experimento, los macroinvertebrados se han conservado en etanol al 70 % para la medición posterior de su longitud y poder calcular su peso mediante ecuaciones longitud-peso descritas en estudios previos.
Tras el análisis de los datos del muestreo de campo, se calcularán posteriormente en gabinete las tasas de consumo de oxígeno para cada uno de los grupos de organismos y se explorará su relación con la temperatura y la biomasa, así como su relación con el metabolismo fluvial. Para estimar el metabolismo fluvial (balance entre la producción primaria bruta y la respiración del ecosistema), en cada uno de los 6 tramos fluviales de estudio se han instalado, además, sensores para registrar la temperatura del agua y la concentración de oxígeno disuelto (miniDOT-PME) y luz incidente (HOBO Pendant Temperature/Light) de forma continua durante el día de muestreo y los días previos y/o posteriores, así como mediciones de caudal y presión atmosférica.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Actualmente, los proyectos RIUCO y BIORESP se encuentran en fase de desarrollo, y los datos obtenidos durante las campañas de campo están siendo procesados y analizados. Los equipos de trabajo de ambos proyectos están analizando qué grupos de los diferentes compartimentos del ecosistema fluvial podrían verse más afectados por el calentamiento y cómo sus respuestas metabólicas influyen en el funcionamiento ecosistémico. Además, también se está analizando la influencia de la variabilidad térmica y el consiguiente papel que los refugios térmicos (p. ej., tramos con temperaturas estables) pueden desempeñar en un contexto de cambio climático. Los resultados que se obtendrán próximamente en el marco de ambos proyectos permitirán profundizar en la utilidad del metabolismo como herramienta para comprender cómo los principales factores asociados al cambio climático afectan al funcionamiento de los sistemas fluviales.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido llevado a cabo como parte del proyecto RIUCO - “El papel de los refugios térmicos en los ecosistemas fluviales de montaña” (3193/2024), financiado por el Organismo Autónomo Parques Nacionales / Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y del proyecto BIORESP – “Los efectos del calentamiento en el funcionamiento fluvial: una respuesta mediada a través de la biomasa” (PID2023-150641OB-I00), financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE. Alexia M. González-Ferreras agra-

dece la ayuda RYC2023-045780-I financiada por MICIU/AEI/10.13039/501 100011033 y por FSE+. Agradecemos al personal involucrado en las tareas de campo y laboratorio de los proyectos RIUCO y BIORESP, así como a los guardas y los organismos gestores del PNPE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

•Brown, J. H., Gillooly, J. F., Allen, A. P., Savage, V. M., & West, G. B. (2004). Toward a metabolic theory of ecology. Ecology, 85, 1771–1789. https://doi.org/10.1890/03-9000

•Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews, 81, 163–182. https://doi.org/10.1017/S1464793105006950

•IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844

•Meyer, J. L., Strayer, D. L., Wallace, J. B., Eggert, S. L., Helfman, G. S., & Leonard, N. E. (2007). The Contribution of Headwater Streams to Biodiversity in River Networks. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 43, 86–103. https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.2007.00008.X

•Oberdorff, T. (2022). Time for decisive actions to protect freshwater ecosystems from global changes. Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems, 423, 19. https://doi.org/10.1051/kmae/2022017

•Strayer, D. L., & Dudgeon, D. (2010). Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. Journal of the North American Benthological Society, 29, 344–358. https://doi.org/10.1899/08-171.1

•van Vliet, M. T. H., Thorslund, J., Strokal, M., Hofstra, N., Flörke, M., Ehalt Macedo, H., Nkwasa, A., Tang, T., Kaushal, S. S., Kumar, R., van Griensven, A., Bouwman, L., & Mosley, L. M. (2023). Global river water quality under climate change and hydroclimatic extremes. Nature Reviews Earth & Environment, 4, 687–702. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00472-3

SEGUIMIENTO DE LOS CAMBIOS PRODUCIDOS EN HUMEDALES DE MONTAÑA TRAS LA LIMITACIÓN DE ACCESO DEL GANADO

Alberto Vélez Martín[1] & José Barquín Ortiz[1]

[1] *IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.*

RESUMEN / ABSTRACT

Resumen Las turberas y tremedales son áreas prioritarias de conservación por su fragilidad, endemicidad, reducida extensión y elevada fragmentación. La captación de agua, el sobrepastoreo o el cambio climático suponen sus principales amenazas y están detrás de su actual declive a nivel global. Una de las medidas prioritarias del proyecto LIFE-DIVAQUA (2019-24), que contemplaba acciones encaminadas a la mejora de la biodiversidad acuática en Picos de Europa, consistió en la instalación de un vallado perimetral de protección en algunos de estos humedales de montaña ubicados en áreas de uso ganadero estival en las tres CCAA del Parque Nacional. Con el proyecto NBRACER (2023-27), que estudia Soluciones Basadas en la Naturaleza para la resiliencia climática en la región atlántica, se eligieron algunos de esos vallados (Las Salgardas, Vegabaño, Pedabejo y Vega Comeya) para evaluar su efectividad frente a la degradación del suelo, la alteración de la lámina de agua y la afección sobre las comunidades vegetales producidas por el efecto del ganado. El seguimiento de estas áreas de exclusión efectuado en verano de 2025 ha consistido en mediciones y toma de muestras de suelo, agua y vegetación en diferentes hábitats de interés comunitario (7110, 7120, 7140 y 7230) localizados dentro y fuera de las mismas. Los resultados preliminares señalan los múltiples beneficios de esta medida de conservación que pretende compatibilizar la actividad ganadera con la conservación de estos humedales de montaña.

Abstract Bogs and fens are priority conservation areas due to their fragility, endemicity, small size and high fragmentation. Water abstraction, overgrazing and climate change are their main threats and are behind their current decline worldwide. One of the priority measures of the LIFE-DIVAQUA project (2019-24), which included actions aimed at improving aquatic biodiversity in Picos de Europa, consisted of the installation of a protective perimeter fence in some of these mountain wetlands located in areas used for summer livestock farming on the three CCAA of the National Park. As part of the NBRACER project (2023-27), which studies Nature-based Solutions for climate resilience in the Atlantic region, some of these fences (Las Salgardas, Vegabaño, Pedabejo and Vega Comeya) were selected to evaluate their effectiveness against soil degradation, water table alteration and the impact on plant communities caused by livestock. Monitoring of these exclusion areas carried out in the summer of 2025 consisted of measurements and sampling of soil, water and vegetation in different habitats of community interest (7110, 7120, 7140 and 7230) located inside and outside these areas. Preliminary results indicate the multiple benefits of this conservation measure, which aims to make livestock farming compatible with the conservation of these mountain wetlands.

Palabras clave: Turberas, Tremedales, Conservación, Ganadería, Vallado.

Keywords: Bogs, Fens, Conservation, Livestock, Fence.

OBJETIVOS

El estudio se marca como metas principales:

1. Evaluar la eficacia de los cierres perimetrales para proteger la integridad física y química de humedales de alta montaña.
2. Cuantificar la recuperación de la biomasa y estructura vegetal en hábitats higrófilos tras eliminar la presión por pisoteo, ramoneo y deyecciones.
3. Determinar el papel de estos ecosistemas como sumideros o fuentes de carbono mediante el análisis de flujos de gases de efecto invernadero bajo diferentes regímenes de uso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y diseño experimental

El estudio se llevó a cabo en cuatro humedales estratégicos del Parque Nacional de los Picos de Europa (Fig.1), seleccionados por albergar Hábitats de Interés Comunitario (HIC) prioritarios y estar sometidos a presión ganadera estival. Las localidades de muestreo abarcan un gradiente altitudinal y geográfico en las tres vertientes del Parque: Vega Comeya (850 msnm, Asturias), Vegabaño (1315 msnm, León), Las Salgardas (1540 msnm, Cantabria) y Pedabejo (1815 msnm, León).

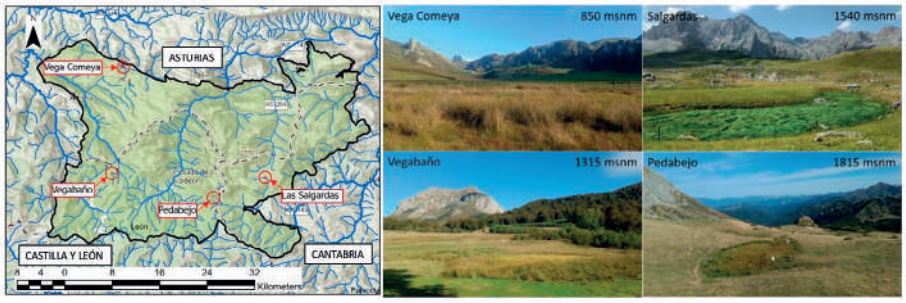


Figura 1. Localización y vistas panorámicas de los humedales de estudio con sus respectivas zonas valladas en el Parque Nacional de los Picos de Europa.

Se aplicó un diseño experimental de tipo Control-Impacto (CI). El tratamiento de "Impacto" (a partir de ahora Vallado) consistió en áreas protegidas mediante cercados temporales (Vegabaño, Salgardas y Pedabejo) o permanentes (Vega Comeya) instalados en el marco del proyecto LIFE-DIVAQUA. El tratamiento "Control" se estableció en zonas colindantes no protegidas y accesibles para el ganado. En total, se monitorizaron 12 combinaciones de humedal, tratamiento y hábitat, incluyendo turberas abombadas activas y degradadas (HIC 7110, 7120), tremedales de transición (HIC 7140) y tremedales neutro-basófilos (HIC 7230). Dos informes botánicos realizados en el contexto del proyecto LIFE-DIVAQUA en 2021 y 2024 permitieron la localización detallada de estos hábitats que posteriormente se utilizó para ubicar los puntos de muestreo en cada humedal (Fig. 2).

El seguimiento ambiental se estructuró en tres campañas durante el verano de 2025, coincidiendo con los ciclos de uso ganadero: junio (inicio del verano, 3 semanas de carga ganadera), julio (pleno verano, 8 semanas de carga) y septiembre (final del periodo estival, 15 semanas de carga). Cada visita tuvo una duración aproximada de cuatro días, destinando una jornada completa a cada humedal.

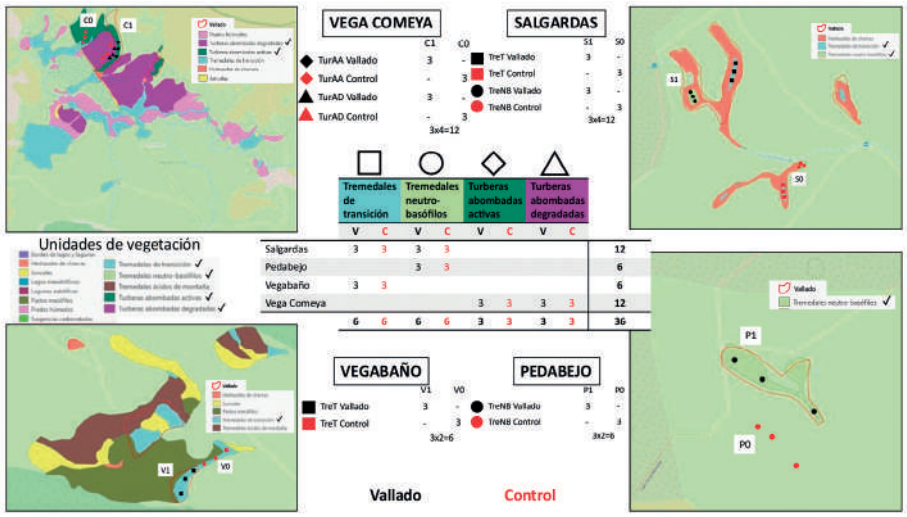


Figura 2. Mapas de las unidades de vegetación y cuadro resumen del diseño experimental con el número de puntos de muestreo por tratamiento (vallado y control) y tipo de hábitat.

Toma y análisis de muestras

Caracterización del agua y carga microbiológica. En cada humedal se seleccionaron 3 puntos de muestreo en zona vallada y 3 en zona control, siguiendo el gradiente del flujo hídrico. Se realizaron mediciones in situ de temperatura, pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales (TDS) mediante una sonda multiparamétrica. Asimismo, se estimó de forma cualitativa el nivel y flujo del agua. Para el análisis de laboratorio, se recogieron muestras en junio y septiembre para determinar la concentración de nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), amonio, nitratos, nitritos y silicatos. La carga microbiológica se evaluó mediante la cuantificación de coliformes totales y Escherichia coli (E. coli), procesando las muestras en un periodo inferior a 24 horas tras su recogida. También se midieron los sólidos en suspensión (SST) como indicador de procesos erosivos vinculados al pisoteo.
Parámetros físico-químicos y estabilidad del suelo. Las mediciones de suelo se realizaron en 3 puntos por cada hábitat en ambos tratamientos. Se midió in situ la humedad, temperatura y conductividad mediante un sensor WET Kit, y el pH a partir de muestras diluidas en agua destilada. Se empleó una sonda JXBS-3001-SCY-PT para medir nutrientes (N, P, K). El estado físico del suelo se evaluó cualitativamente mediante el grado de alteración visual (escala de 0 a 5 según el nivel de pisoteo) y la condición de la turba a través del test de von Post. En laboratorio, se analizaron muestras para determinar la densidad aparente, la textura (proporción de arena, limo y arcilla), el contenido en materia orgánica y el carbono orgánico total (TOC).

Respuesta de la comunidad vegetal. La estructura de la vegetación se caracterizó en julio mediante la cuantificación de la abundancia relativa de especies y cobertura de briófitos en dos cuadrículas de 50x50 cm por punto siguiendo la escala de Braun-Blanquet. Se registró la altura media y máxima de la vegetación y el porcentaje de suelo desnudo.
Balances de gases de efecto invernadero. Se cuantificó el flujo de CO2 mediante analizador portátil EGM-5 conectado a cámaras estancas circulares de 24 cm de diámetro. Las mediciones se realizaron en julio y septiembre, tanto en condiciones de luz (5 minutos para determinar la fijación neta) como de oscuridad (10-45 minutos para medir la respiración ecosistémica mediante fundas opacas). En julio, se tomaron muestras de aire en viales al vacío en cuatro tiempos (t0, t15, t30 y t45) para el análisis de CO2, CH4 y N2O mediante cromatografía de gases. Para relacionar estos datos con la vegetación presente, se cuantificó la biomasa aérea mediante cosecha directa con tijeras en las cámaras de gases (septiembre), procediendo a su secado y pesado en laboratorio.

RESULTADOS

A continuación, se presenta un resumen de los resultados preliminares más destacados del análisis descriptivo de los datos recogidos en 2025.

1. Caracterización del agua y carga microbiológica

Aunque los datos de temperatura del agua resultan por lo general poco concluyentes, en Vega Comeya la diferencia entre ambas zonas es apreciable, manteniéndose más frescas en la zona vallada. Los valores de la conductividad eléctrica tienden a ser menores y más estables en los vallados en julio en Pedabejo y Salgardas. Al observar los resultados del pH del agua (Fig.3a), se constata la enorme diferencia entre los tremedales y las turberas. Y es en éstas últimas concretamente (Vega Comeya) donde las diferencias entre ambas zonas son muy significativas, manteniendo las turberas protegidas niveles más ácidos que en las zonas fuera de los cercados. Los sólidos en suspensión (SST) presentan valores altísimos en el control de Salgardas en junio (Fig.3b), vinculados probablemente al proceso erosivo ocasionado por el pisoteo inicial a la llegada del ganado, efecto que no se aprecia en el resto de lugares. Se aprecia un fenómeno similar en dicho lugar con los valores de fósforo total, nitrógeno total y amonio. En Vegabaño, la concentración de E. coli en septiembre se dispara respecto a junio en la zona control.

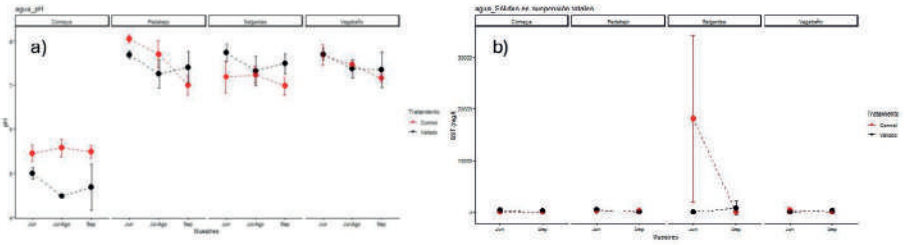


Figura 3. Parámetros físico-químicos del agua en los cuatro humedales: a) valores de pH y b) concentración de sólidos en suspensión totales.

2. Parámetros físico-químicos y estabilidad del suelo

En los tremedales presentes en Salgardas y Vegabaño la temperatura medida del suelo es claramente inferior en zonas valladas, aunque aparentemente esas diferencias se van reduciendo a lo largo del verano. En las turberas abombadas activas de Vega Comeya y en los tremedales de Salgardas, la conductividad eléctrica es claramente inferior en áreas protegidas por vallados (Fig.4a). El pH del suelo de las turberas no muestra tantas diferencias entre zonas valladas y no valladas, aunque sus valores están muy por debajo del de los tremedales. Sin embargo, al comparar este parámetro, sí que se aprecian valores ligeramente superiores en los tremedales vallados de Salgardas y Vegabaño. La humedad del suelo es consistentemente mayor en casi todas las turberas y tremedales vallados respecto a las áreas colindantes (Fig.4b), lo que sugiere una mejor retención hídrica del sustrato cuando no está compactado por la acción del ganado. Los análisis de densidad aparente refuerzan esta idea, mostrando una mayor porosidad en las zonas excluidas frente a la compactación observada en los controles pastoreados. El grado de alteración visual del suelo es muy contundente: las áreas de control en Pedabejo y Salgardas escalan de niveles moderados a niveles de degradación severa entre junio y septiembre, mientras que los vallados mantienen una integridad estructural constante. Por último, respecto a los nutrientes, el nitrógeno total, fósforo y potasio el suelo de Salgardas muestran concentraciones muy elevadas en las zonas de control en junio, coincidiendo con la entrada del ganado, para luego estabilizarse en niveles similares a los vallados.

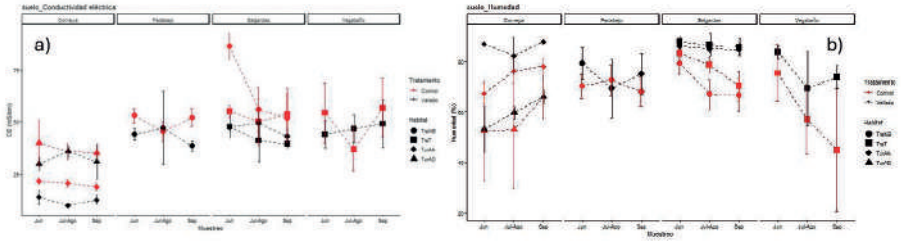


Figura 4. Propiedades del suelo por tipo de hábitat y tratamiento: a) niveles de conductividad eléctrica y b) porcentaje de humedad edáfica.

3. Respuesta estructural de la comunidad vegetal

El parámetro de proporción de suelo desnudo es revelador en los tremedales de Salgardas, Vegabaño y Pedabejo, donde las zonas de control presentan entre un 20% y un 40% de superficie sin vegetación debido al ramoneo y al pisoteo, mientras que en las zonas protegidas este valor es prácticamente cero (Fig.5a). La altura de la vegetación es otro de los parámetros más concluyentes respecto a la estructura vegetal. En todos los lugares, la capa herbácea es significativamente más alta en los tratamientos vallados, alcanzando en algunos puntos casi los 100 cm frente a los escasos 10-20 cm de las zonas pastoreadas (Fig.5b), reflejando así el evidente efecto del consumo por el ganado. Por otro lado, la riqueza específica tiende a ser ligeramente superior o más estable en los vallados, donde se evita la desaparición de especies sensibles por ramoneo. No obstante, hay que destacar que la identificación de especies es particularmente compleja en zonas pastadas por la falta de elementos distintivos entre especies.

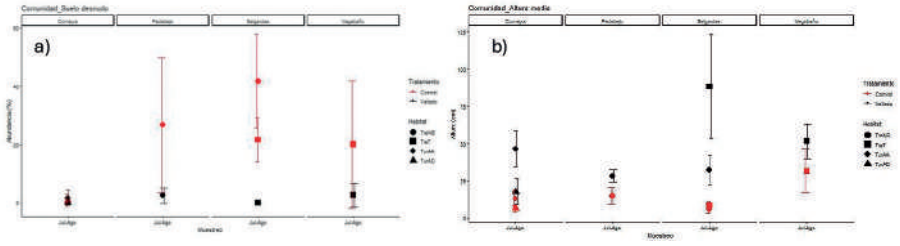


Figura 5. Caracterización estructural de la comunidad vegetal: a) porcentaje de suelo desnudo y b) altura media de la vegetación.

4. Balances de gases y dinámica del carbono

Los balances de CO2 demuestran que los vallados optimizan la función de sumidero. En condiciones de luz, tremedales como los de Pedabejo muestran curvas de absorción neta de carbono (dC negativo). Aunque se observan diferencias entre zonas valladas y control (Fig.6a), estos resultados requieren un análisis más profundo considerando la cantidad de biomasa presente en las campanas (datos aún no procesados). En condiciones de oscuridad (respiración ecosistémica), la emisión de CO2 a la atmósfera es más acelerada y lineal en las zonas de control. Al comparar los vallados con las zonas control, se observan crecientes diferencias en los tremedales de Vegabaño y Pedabejo (Fig.6b), indicando una mayor degradación de la materia orgánica o mayor estrés del sistema en áreas desprotegidas que provoca una mayor emisión de CO2 en estos lugares. Además, los niveles de metano (CH4) muestran una acumulación lineal constante durante los 45 minutos de medición en todos los humedales, destacando la alta emisión biogénica en los tremedales vallados respecto a las zonas desprotegidas de las Salgardas.

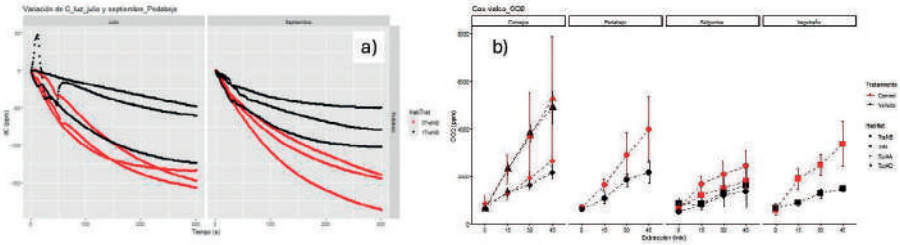


Figura 6. Análisis de flujos de gases: a) curvas de variación de carbono en condiciones de luz en el humedal de Pedabejo y b) evolución de la concentración de CO2 en condiciones de oscuridad medida en viales cada 15 minutos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados preliminares apuntan a que la limitación de acceso del ganado es una medida de regeneración natural asistida altamente eficaz para los humedales de montaña. Los cierres instalados por LIFE-DIVAQUA actúan como refugios biológicos que mitigan la degradación física por pisoteo y la contaminación química por deyecciones, permitiendo que la vegetación recupere su estructura y funciones ecosistémicas en un tiempo breve.

Se concluye que el vallado perimetral es una herramienta de gestión estratégica que reduce la alteración de la lámina de agua y protege el suelo como reservorio

de carbono. Esta medida es compatible con la ganadería extensiva. En este sentido, el acondicionamiento de abrevaderos alternativos fuera de los humedales, asegura la provisión de agua al ganado sin comprometer la supervivencia de hábitats de alto interés para la biodiversidad.

Aquí solo se han presentado algunos de los resultados preliminares más destacados al comparar entre humedales, zonas valladas y de control y hábitats. Gracias al estudio en profundidad que se prevé realizar de los mismos con la incorporación al análisis de variables como la carga ganadera, la elevación y las condiciones meteorológicas locales de cada humedal, se podrá discernir con mayor precisión las causas de las variaciones fisicoquímicas y biológicas observadas, mejorar el conocimiento de las dinámicas biogeoquímicas y la capacidad de resiliencia de los hábitats de turbera y tremedal de montaña, así como mejores evidencias de la efectividad de esta medida de conservación.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido llevado a cabo como parte del proyecto NBRACER (Nature Based Solutions for Atlantic Regional Climate Resilience), financiado por las acciones de Investigación e Innovación de HORIZON Europa en apoyo a la implementación de la Misión de Adaptación al Cambio Climático (HORIZON-MISS-2022-CLIMA-01).

DENTRO DEL PERMAFROST DE MONTAÑA: CUEVAS HELADAS COMO HERRAMIENTAS PARA EL ESTUDIO DEL PERMAFROST ACTUAL Y PASADO

Ana Moreno[1], Miguel Bartolomé[2], Reyes Giménez[1] y Mario Bielsa[1]

[1] *Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC*
[2] *Museo Nacional de Ciencias Naturales – CSIC*

Resumen

El permafrost de montaña, uno de los componentes más sensibles de la criosfera, está experimentando una degradación acelerada por el calentamiento global. En paisajes kársticos, las cuevas heladas constituyen ventanas naturales para analizar esta dinámica, ya que albergan hielo perenne y carbonatos criogénicos gruesos (CCCcoarse), indicadores de la presencia de agua líquida y, por tanto, de episodios de degradación del permafrost. El proyecto ORCHESTRA se centró en las cuevas heladas del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP) para evaluar su respuesta al Cambio Global y extraer información paleoambiental. Los resultados se agrupan en tres ejes: (1) seguimiento del retroceso del hielo mediante sensores térmicos en una docena de cavidades, con tasas medias de pérdida de 25 cm/año (2017-2021) que aumentaron a 100 cm/año desde 2022, provocando la desaparición de algunos depósitos; (2) análisis isotópico que vincula la señal de precipitación invernal y primaveral con el hielo fósil acumulado en el último milenio, mostrando la coherencia entre nieve, hielo reciente y secuencias antiguas; y (3) estudio de la cueva de Devaux, donde las calcitas criogénicas indican que esta cavidad, aún bajo influencia del permafrost, conserva un registro único para reconstruir su evolución durante los últimos milenios. Estos resultados evidencian la rápida degradación del hielo subterráneo y la utilidad de las cuevas heladas como archivos paleoclimáticos y observatorios del cambio global.

Abstract

Mountain permafrost, one of the most sensitive components of the cryosphere, is undergoing accelerated degradation due to global warming. In karst landscapes, ice caves provide natural windows for analyzing this dynamic, as they contain perennial ice and coarse cryogenic carbonates (CCCcoarse), indicators of the presence of liquid water and, therefore, of episodes of permafrost degradation. The ORCHESTRA project focused on the ice caves of the Ordesa y Monte Perdido National Park (PNOMP) to assess their response to global change and extract paleoenvironmental information. The results are grouped into three areas: (1) monitoring of ice retreat using thermal sensors in a dozen cavities, with average loss rates of 25 cm/year (2017-2021) increasing to 100 cm/year since 2022, causing the disappearance of some deposits; (2) isotopic analysis linking winter and spring precipitation signals to fossil ice accumulated over the last millennium, showing consistency between snow, recent ice, and ancient sequences; and (3) a study of the Devaux cave, where cryogenic calcite indicates that this cavity, still under the influence of permafrost, preserves a unique record for reconstructing its evolution over the last millennia. These results demonstrate the rapid degra-

dation of underground ice and the usefulness of frozen caves as paleoclimatic archives and observatories of global change.

Palabras clave: permafrost de montaña, cuevas heladas, carbonatos criogénicos, cambio climático, Pirineos

Keywords: mountain permafrost, ice caves, cryogenic carbonates, climate change, Pyrenees

El permafrost, definido como el suelo (ya sea tierra o roca, incluyendo hielo o material orgánico) que permanece a una temperatura igual o inferior a 0 °C durante al menos dos años consecutivos (IPA, Asociación Internacional del Permafrost, www.permafrost.org), es uno de los componentes más sensibles y dinámicos de la criosfera y responde rápidamente ante las fluctuaciones ambientales. En consecuencia, el permafrost de montaña está sufriendo una intensa degradación debido al ascenso de las temperaturas en relación al calentamiento global aumentando la vulnerabilidad de las zonas de alta montaña ante el cambio climático actual. Como resultado de que el calentamiento acelera la fusión del hielo, se han registrado desprendimientos de rocas vinculados al deshielo en los Alpes y los Pirineos, incluyendo el flujo de escombros de Esparrets en 2022, en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido que destruyó un puente en una zona turística (Ballesteros-Cánovas et al., 2025).

Comprender la distribución y evolución del permafrost de montaña requiere enfoques multidisciplinares que incluyan la monitorización de temperaturas en sondeos, mediciones de la temperatura en la base del manto nival (BTS), prospecciones geofísicas y cartografía detallada (geomorfológica y térmica). En los últimos años, la integración de estudios sobre permafrost actual y fósil ha proporcionado información valiosa sobre la dinámica a largo plazo. En los paisajes kársticos de alta montaña, las cuevas situadas dentro del permafrost de montaña (frecuentemente cuevas heladas) ofrecen una visión única y localizada de las condiciones del permafrost. Aunque no reflejan el régimen térmico general del entorno, constituyen manifestaciones esporádicas de permafrost y actúan como ventanas naturales para el estudio de su dinámica (e.g. (Bartolomé et al., 2023). Los objetivos de este estudio han sido por tanto la identificación y caracterización del permafrost, tanto en la actualidad como en el pasado, en la zona del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido a través del estudio de cuevas de hielo.

Las cuevas heladas son cavidades abiertas en roca que albergan hielo perenne, formado por la transformación de la nieve y/o la congelación del agua infiltrada (Perşoiu and Lauritzen, 2018). El hielo de cueva puede datarse (e.g 14C, U-Th, 3H, 210Pb) y utilizarse como un valioso archivo paleoclimático (e.g.(Sancho et al., 2018; Leunda et al., 2019; Bartolomé et al., 2023). Recientemente, los carbonatos criogénicos gruesos (CCCcoarse), formados durante la congelación lenta del agua en el interior de las cuevas, se han utilizado como indicadores de la degradación del permafrost, del espesor del permafrost y de la formación de hielo subterráneo, ya que requieren la presencia de agua líquida en la cueva para precipitar.

El proyecto ORCHESTRA se ha centrado en el estudio de las cuevas de hielo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP) con el principal objetivo de investigar el impacto que están experimentando como consecuencia del Cam-

bio Global a la vez que extraemos información paleoambiental y paleoclimática del registro de hielo fósil preservado. Los principales resultados derivados de este proyecto de investigación se aportan en torno a tres temas de interés.

• Primero, el seguimiento anual de la degradación de los depósitos de hielo presentes en las cuevas del PNOMP mediante el registro con diferentes sensores de temperatura de los cambios ambientales hielo en una docena de cavidades. Hemos establecido una tasa media de retroceso del hielo de 25 cm por año (2017-2021) que aumenta a 100 cm por año desde el año 2022, como consecuencia de unos veranos especialmente cálidos, resultando en la desaparición completa de algunos depósitos.

• El segundo bloque de resultados se centra en establecer cómo se produce la transferencia de la señal isotópica desde la lluvia / nieve hasta el hielo que se preserva en las cuevas y qué interpretación ambiental podemos obtener para reconstruir el clima de los pasados siglos. Hemos conseguido obtener una clara relación entre la composición isotópica de la nieve, las muestras de hielo reciente y las secuencias de hielo fósil, indicando que la acumulación de hielo observada en el último milenio representa la señal de precipitación de invierno y primavera.

• Por último, en este proyecto hemos estudiado en detalle los depósitos de la cueva de Devaux, hasta ahora los únicos que no muestran retroceso por estar bajo la influencia del permafrost. En dicha cueva, el estudio de minerales de calcita formados en el hielo (calcitas criogénicas) nos permite reconstruir la historia del permafrost de los últimos milenios.

Futuros trabajos en el marco de otros proyectos presentes y futuros van a permitir avanzar en el conocimiento de las cuevas heladas y sus depósitos asociados. Por ahora, se hace patente la urgencia de esta investigación ante la inminente desaparición de las secuencias de hielo, con riesgo de perder información paleoclimática congelada desde hace milenios.

Referencias

Ballesteros-Cánovas, J.A., Twose, I.M., Muñoz-Torrero, A., Robredo Sánchez, J.C., Grodek, T., López-Moreno, I., Bartolomé, M., Benito, G., 2025. Rockfall-induced debris flow event in the Pyrenees: The case of Pineta valley of September 2022. CATENA 253, 108876. https://doi.org/10.1016/j.catena.2025.108876

Bartolomé, M., Cazenave, G., Luetscher, M., Spötl, C., Gázquez, F., Belmonte, Á., Turchyn, A.V., López-Moreno, J.I., Moreno, A., 2023. Mountain permafrost in the Central Pyrenees: insights from the Devaux ice cave. The Cryosphere 17, 477–497. https://doi.org/10.5194/tc-17-477-2023

Leunda, M., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Bartolomé, M., Belmonte-Ribas, Á., Gómez-García, D., Kaltenrieder, P., Rubiales, J.M., Schwörer, C., Tinner, W., Morales-Molino, C., Sancho, C., 2019. Ice cave reveals environmental forcing of long-term Pyrenean tree line dynamics. Journal of Ecology 107, 814–828. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13077

Perşoiu, A., Lauritzen, S.-E. (Eds.), 2018. Ice caves. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

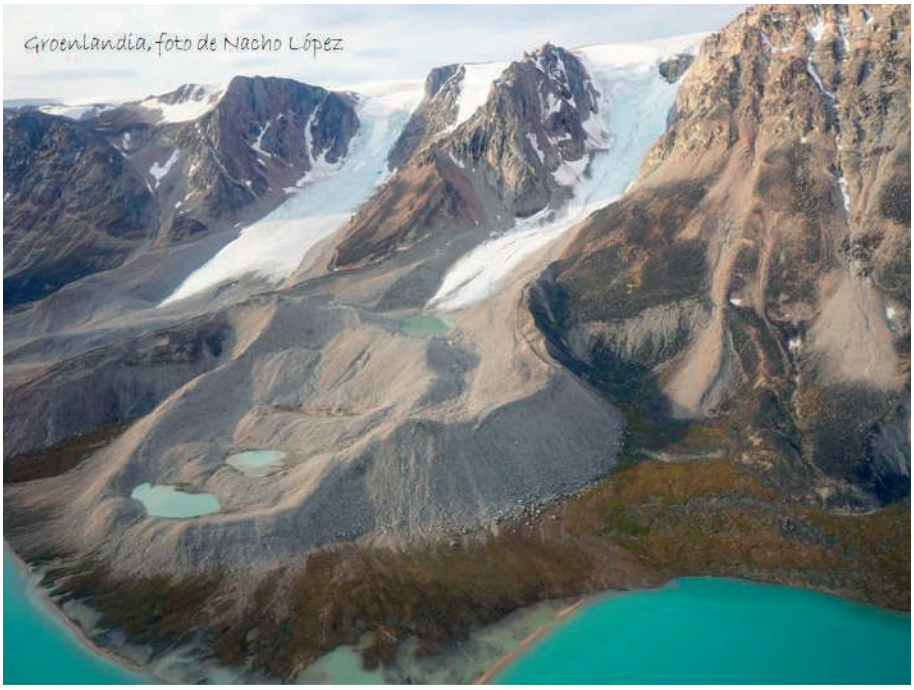
Sancho, C., Belmonte, Á., Bartolomé, M., Moreno, A., Leunda, M., López-Martínez, J., 2018. Middle-to-late Holocene palaeoenvironmental reconstruction from the A294 ice-cave record (Central Pyrenees, northern Spain). Earth and Planetary Science Letters 484, 135–144. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.12.027

MONITARIZACIÓN DEL GLACIAR DE MONTE PERDIDO, ¿QUÉ NOS DICE SU EVOLUCIÓN RECIENTE?

Beltrán Audea, F. (PNOMP)

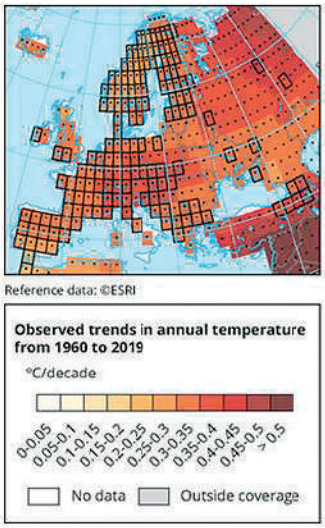


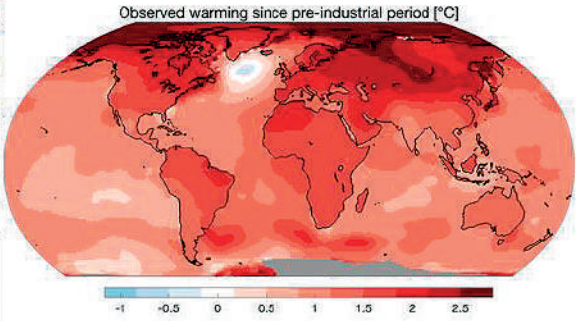



Groenlandia, foto de Nacho López

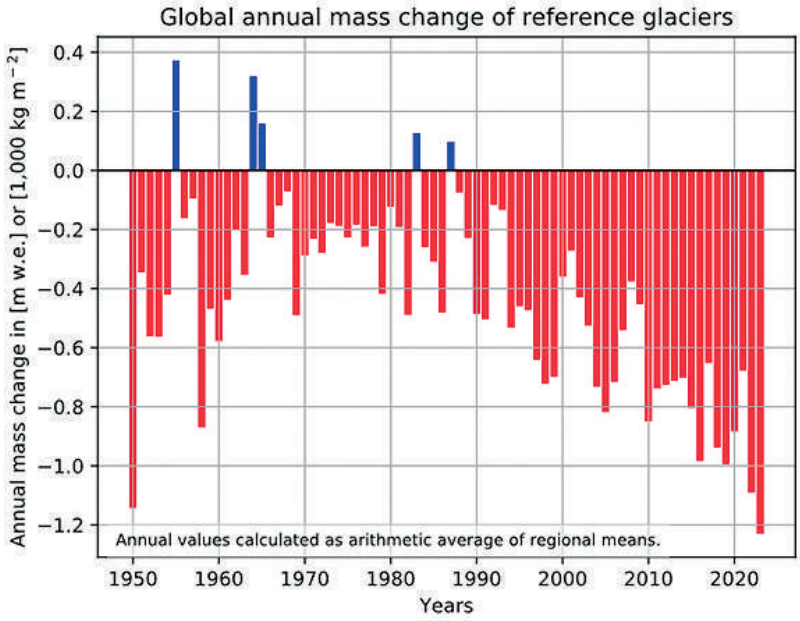

Monte Perdido, foto de Ibai Rico

Incremento térmico





Evolución del balance de masa de los glaciares de montaña del mundo
World Glacier Monitoring



Los Pirineos

Desde la PEH (aprox. 1850) la temperatura de los Pirineos ha aumentado aproximadamente 2ºC

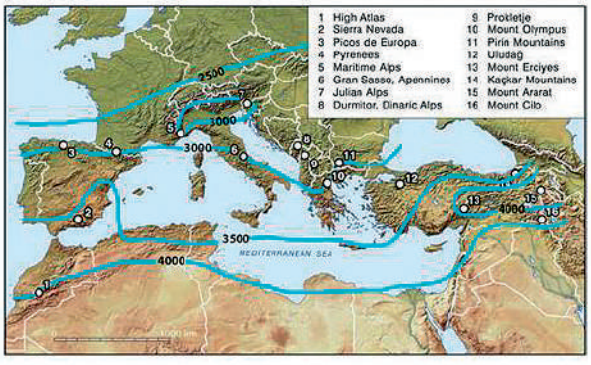
No ha habido cambios significativos en la precipitación

Ha disminuido la fracción de precipitación en forma de nieve

Se ha observado un inicio de la temporada de nieve más tardío, y un final más temprano. En los glaciares significa menor protección del hielo y un descenso del albedo más temprano, lo que incrementa su fusión.

Glaciares del Pirineo

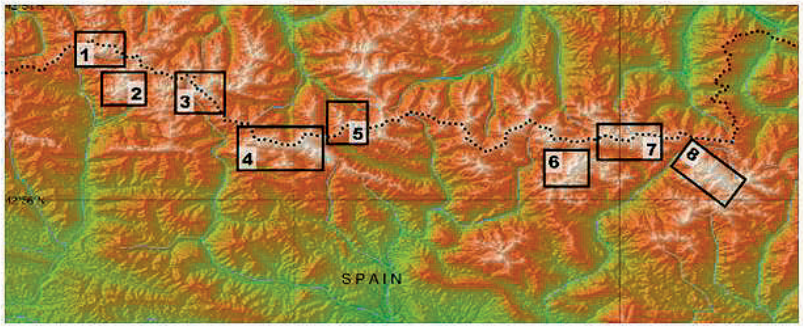
Durante la PEH muchas montañas del sur de Europa (>43ºN) desarrollaron glaciares, por debajo de 41ºN han desaparecido, y a día de hoy ningún glaciar fuera de los Pirineos (Apeninos y Alpes Marítimos, Bulgaria, Albania Montenegro y Eslovenia) supera las 5 ha de superficie.



Hughes 2018

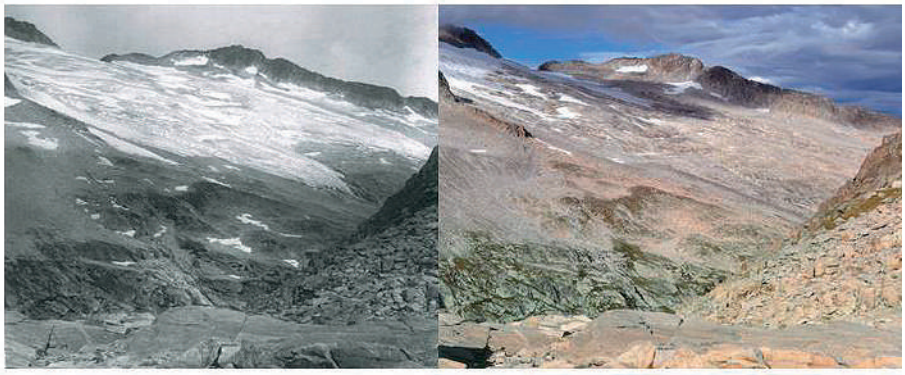
Glaciares del Pirineo

1850: 52 glaciares, 2060 hectáreas
1984: 39 glaciares, 810 hectáreas
2020: 24 glaciares, 297 hectáreas
2024: 14 glaciares, 156 hectáreas



Glaciares del Pirineo

Glaciar de Aneto 1894-2010



Pierre René (2013). Glaciers des Pyrénés: le rechaufement climatique en images. Ed. Caim

Glaciares del Pirineo



Lucien Briet



J.M. García-Ruiz



-Anticipo de lo que va a suceder en otras montañas de Europa
-Respuesta muy compleja al clima (pequeño tamaño pero elevado control topográfico)

¿Qué implica su desaparición?
- **Pérdida de patrimonio paisajístico**
- **Indicador regional de cambio climático**
- **Desaparición de un archivo ambiental**

Monitorización de glaciares en el Pirineo



1- Saber si todavía posee movimiento

2- Cuantificar cuanto hielo le queda

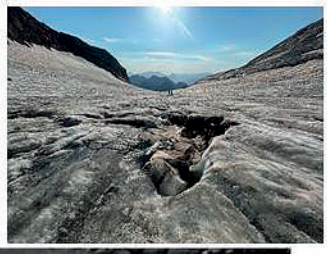
3- Cuantificar sus cambios anuales de área y volumen

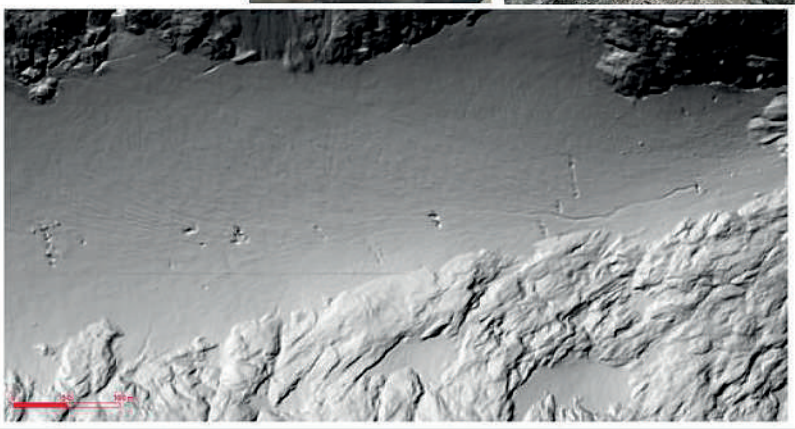
4- Predecir la evolución inmediata de las masas de hielo y de los espacios recientemente deglaciados

1- Saber si todavía posee movimiento

Observación de grietas y elementos del glaciar su evolución





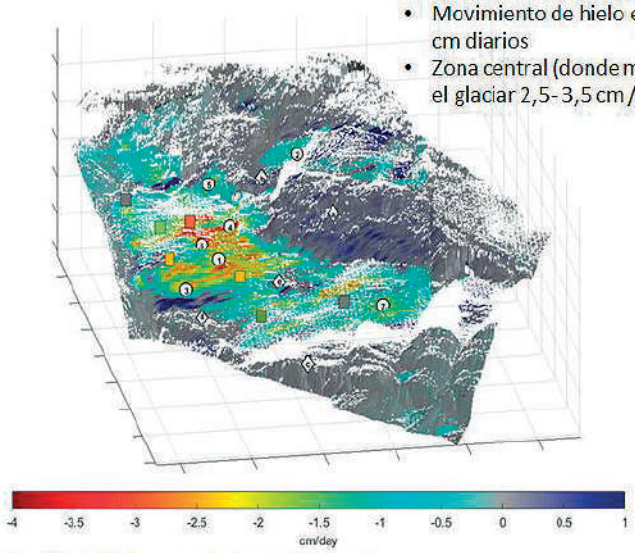




1- Saber si todavía posee movimiento

Observación GBSAR en verano 2016

- Movimiento de hielo entre 1 y 4 cm diarios
- Zona central (donde mas "fluye" el glaciar 2,5-3,5 cm/dia)



Movimiento diario del Glaciar de Monte Perdido

2- Cuantificar cuanto hielo le queda (Georadar)

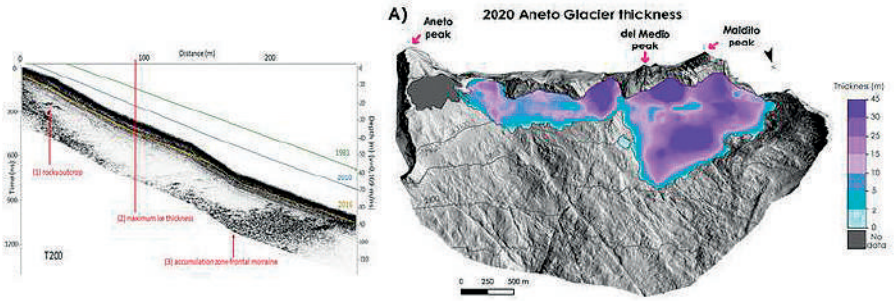
Antena 200 MHz no apantallada



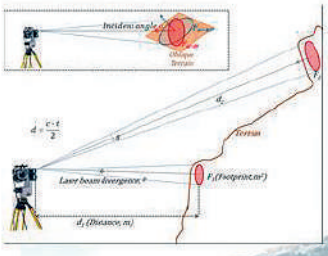
Antena 500 MHz apantallada

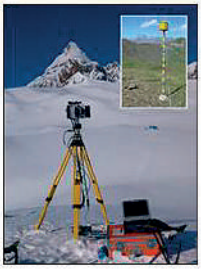


2- Cuantificar cuanto hielo le queda (Georadar)



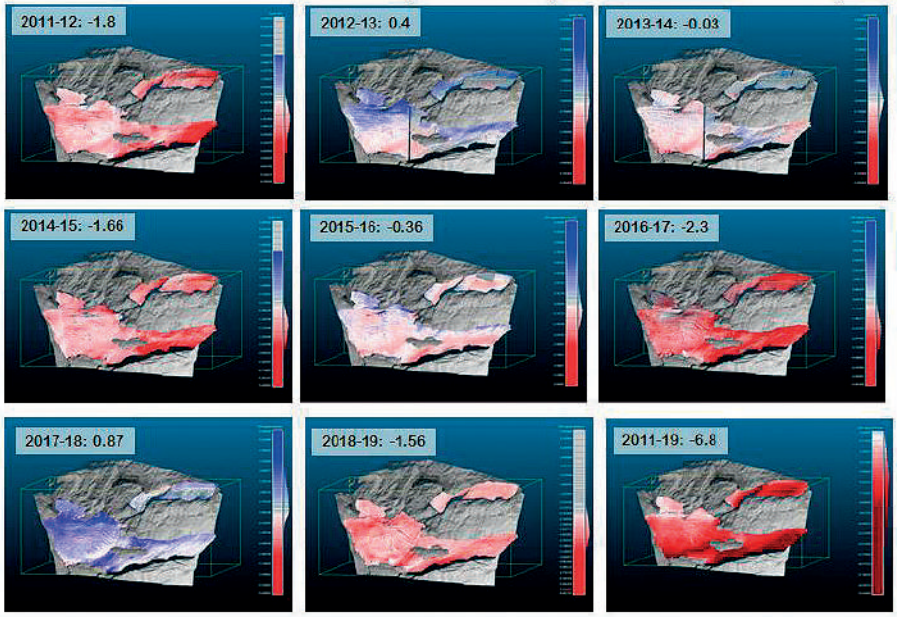
3- Cuantificar cambios de área y volumen (láser escáner terrestre)



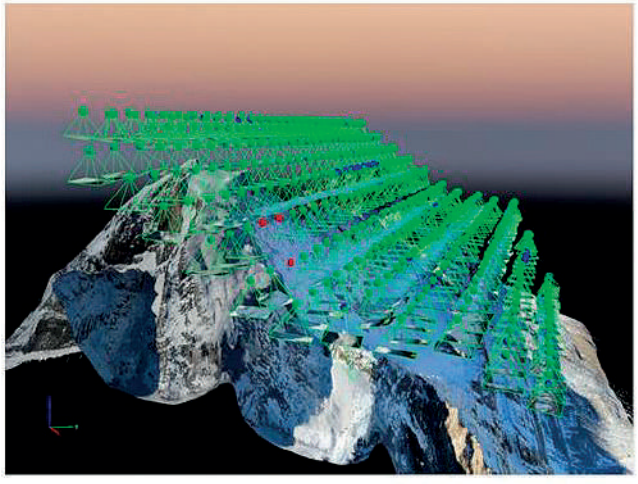




3- Cuantificar cambios de área y volumen (láser escáner terrestre)



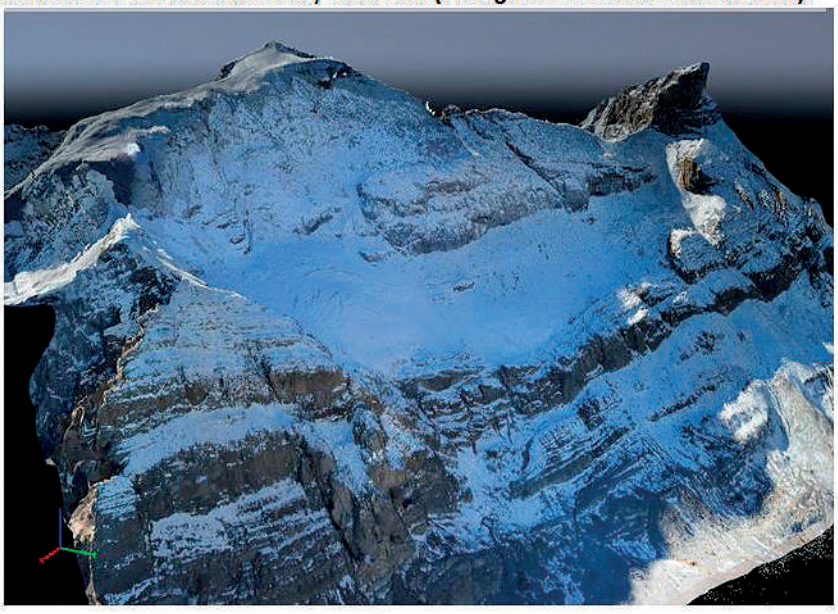
3- Cuantificar cambios de área y volumen (Fotogrametría mediante drones)

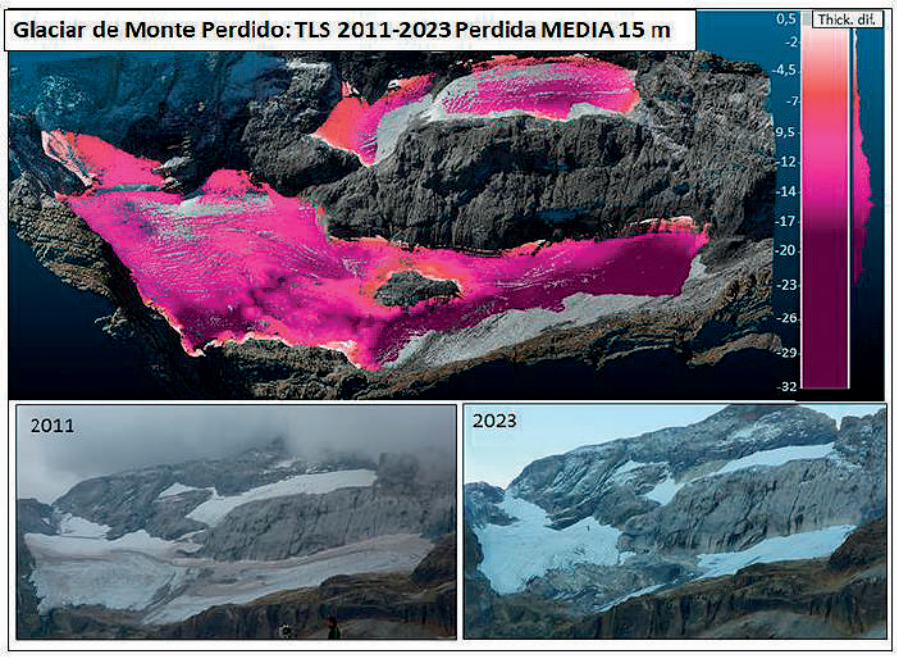


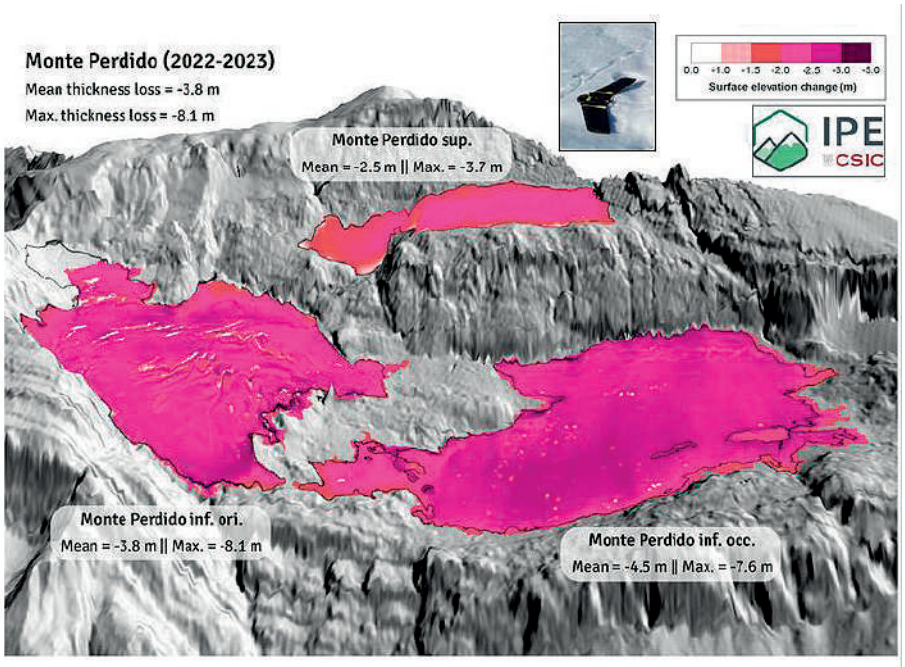




3- Cuantificar cambios de área y volumen (Fotogrametría mediante drones)







Posibles retroalimentaciones: aumento de pendiente menor capacidad de acumular nieve



Posibles retroalimentaciones: Oscurecimiento del hielo y cubierta de detritos que llevan a un menor albedo y mayor emisión de calor



Posibles retroalimentaciones: aparición de afloramientos rocosos que también emiten calor a zonas circundantes

Estado del Glaciar de Monte Perdido en Septiembre de 2023



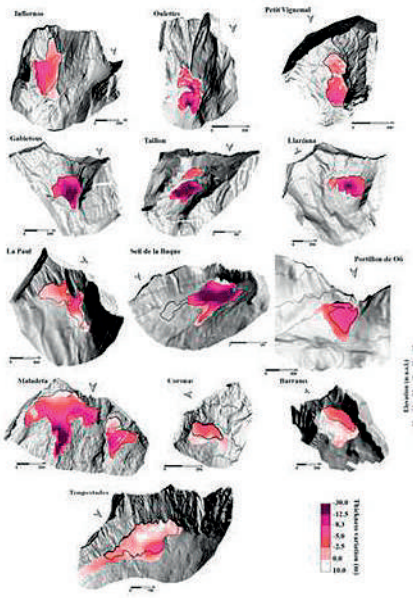
Posibles retroalimentaciones: Ahuecamientos y colapsos

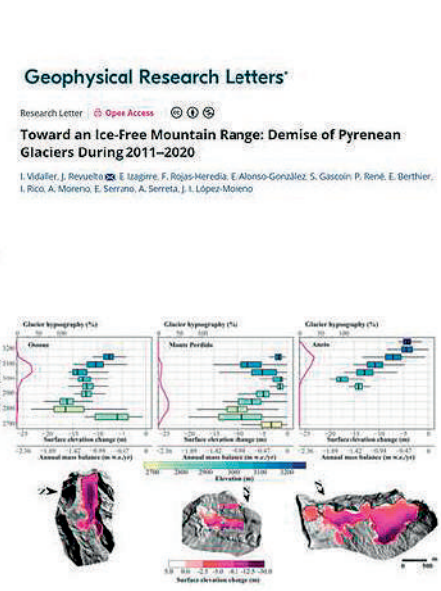


Posibles retroalimentaciones: Ahuecamientos y colapsos dificultad para hacer trabajo de campo sobre el glaciar

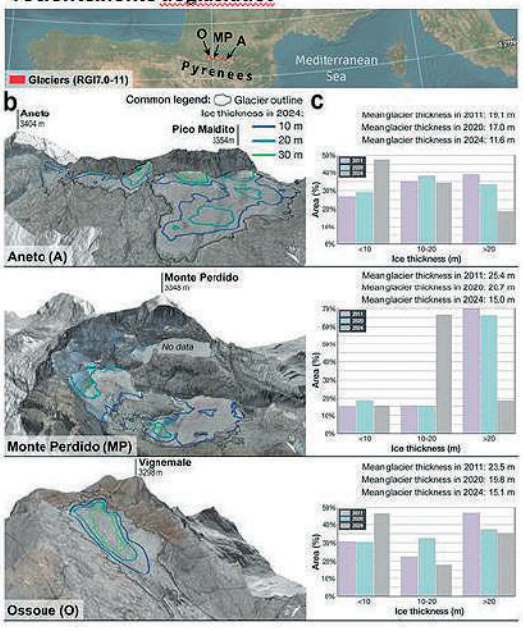


3- Cuantificar cambios de área y volumen (Fotogrametría mediante drones)





4- Predecir la evolución inmediata de las masas de hielo y de los espacios recientemente deglaciados



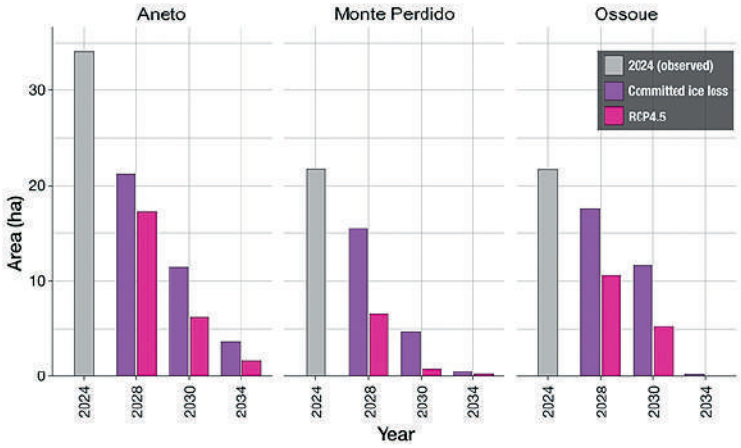


Remaining ice thicknes (average)
Aneto: 11.6
Monte Perdido-Treserols:15
Ossoue: 15.1

Ice losses 2011-2024 (average)
Aneto: 16.8
Monte Perdido-Treserols: 15.8
Ossoue: 21

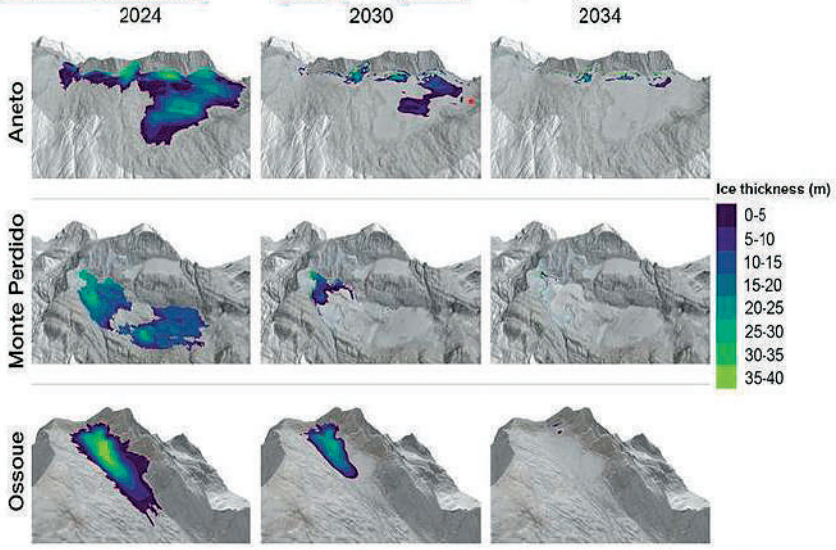
4- Predecir la evolución inmediata de las masas de hielo y de los espacios recientemente deglaciados

Instructed Glacier Model-IGM (Jouvet et al., 2022)



Present and future glacier areas under two scenarios (committed ice loss, RCP4.5)

4- Predecir la evolución inmediata de las masas de hielo y de los espacios recientemente deglaciados. Instructed Glacier Model-IGM (Jouvet et al., 2022)



Spatio-temporal evolution of ice thickness compared to 2024 and predictions for 2030 and 2034 under the committed ice loss scenario

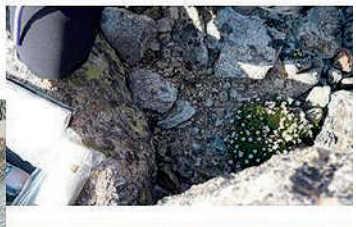
Glaciare

Nuevos paisajes, nuevos

Science of The Total Environment

Incipient soils: New habitats in proglacial areas of the Maladeta massif (Central Pyrenees)







Los glaciares Pirenaicos

- Los glaciares Pirenaicos están gravemente amenazados por el cambio climático perdiéndose así un patrimonio paisajístico.
- Nuevos ecosistemas colonizarán las zonas que ocupan estas masas de hielo (lagos, nuevos suelos).
- Hoy en día la extensión total es <156 ha (>2000 ha en el último máximo de LIA alrededor de 1850).
- Las áreas cubiertas de escombros están aumentando exponencialmente, lo que afecta la evolución de los glaciares.
- Su evolución actual avanza el futuro de los glaciares en otras regiones montañosas.


Instituto
Pirenaico
de Ecología
CSIC
CRYOPYR

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO ECOLOGICO EN EL PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO

I. Gómez Pellicer[1], E. Villagrasa Ferrer[2] y F. Beltrán Audera[2]

[1] *SARGA*
[2] *Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. Gobierno de Aragón.*

Resumen:
El Programa de Seguimiento Ecológico del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (PNOMP), desarrollado entre 2007 y 2025, constituye una herramienta fundamental para la gestión basada en la evidencia científica. El programa se estructura en fases que abarcan desde el inventariado inicial y la priorización en el seguimiento de especies mediante índices multicriterio, hasta la consolidación de protocolos estandarizados para flora amenazada, invertebrados de interés comunitario, fauna vertebrada y medios abióticos. A través de la colaboración con instituciones como el IPE-CSIC y el IGME, se monitorizan especies clave de flora como Carex bicolor, Vicia argentea y Cypripedium calceolus, así como procesos hidrogeológicos. También se realiza un seguimiento de invertebrados de interés comunitario (escarabajo eremita, mariposa isabelina) y de otras especies de vertebrados como rana pirenaica. Los resultados permiten evaluar tendencias poblacionales y la eficacia de medidas de gestión. Los trabajos incluyen también acciones de control de especies piscícolas invasoras para favorecer a anfibios endémicos. La integración de datos en sistemas de información geográfica y el análisis estadístico avanzado garantizan la robustez de la vigilancia del estado de conservación de este espacio protegido.

Palabras clave:
Seguimiento ecológico, Ordesa y Monte Perdido, Conservación, Biodiversidad, Gestión de espacios protegidos.

Objetivos:
El programa establece los siguientes objetivos estratégicos a largo plazo:
• Realizar y mantener el inventario de los recursos naturales existentes en el Parque Nacional.
• Monitorizar a largo plazo el estado de los ecosistemas mediante el seguimiento de la dinámica de poblaciones de especies bioindicadoras y de los procesos ecológicos.
• Integrar los resultados del programa en la planificación y ejecución de las actuaciones de gestión del Parque.
• Fomentar la cooperación y coordinación con instituciones públicas y privadas dedicadas a la investigación y conservación de hábitats y especies.

Materiales y métodos:
La metodología se basa en un esquema de trabajo iterativo que incluye la revisión de literatura científica, la selección de métodos eficientes adaptados al contexto

local y la realización de pruebas piloto de 2 a 4 años antes de la implementación definitiva de los protocolos de seguimiento a largo plazo.

• Priorización: Se emplea un análisis multicriterio para seleccionar especies de interés (flora y fauna), utilizando índices que consideran el estado de conservación de las especies en la Red List de la UICN y la presencia en Catálogos de Especies Amenazadas -autonómicos y estatales-, la existencia de endemismos y el criterio de expertos.

• Flora Amenazada: Seguimiento mediante transectos y parcelas de especies como Carex bicolor, Vicia argentea y Cypripedium calceolus, entre otras.

• Invertebrados: Uso de feromonas sintéticas para el seguimiento de Actias isabelae y trampas tipo "cross-trap" para Osmoderma eremita. Para lepidópteros diurnos comunes se aplica la metodología estandarizada europea BMS (Butterfly Monitoring Scheme) y se realizan a su vez seguimientos específicos para otras especies como Phengaris arion, Parnassius apollo y Parnassius mnemosine.

• Fauna Vertebrada: Se realiza el seguimiento de especies de anfibios como rana pirenaica y de reptiles como lagartija pirenaica. Se censa la comunidad de mesomamíferos mediante fototrampeo.

• Gestión de Invasoras: Uso de motores portátiles de pesca eléctrica, redes de agalla y nasas para el descaste de especies piscícolas exóticas como el salvelino (Salvelinus fontinalis) y truchas de origen no natural.

• Medio Abiótico: Monitorización hidrológica en colaboración con el IGME, incluyendo seguimiento de precipitación, aforos y caracterización físico-química de manantiales.

Resultados:

• Flora: Se dispone de series temporales sólidas; por ejemplo, el seguimiento de C. bicolor en Faixa Luenga y Carriata desde 2013 muestra la evolución del número de individuos.

• Invertebrados: El uso de feromonas para A. isabelae ha demostrado una detectabilidad muy alta (0,92) en comparación con otras metodologías basadas en luces actínicas (0,58). En el caso de Osmoderma eremita, los muestreos intensivos en valles como Ordesa han arrojado resultados negativos hasta la fecha, no pudiéndose establecer un seguimiento de esta especie en el Parque Nacional.

• Anfibios y Peces: Se han retirado más de 2200 truchas alóctonas en la cabecera del río Arazas entre 2018 y 2023 para favorecer la conservación de rana pirenaica, en el valle de Ordesa.

• Mamíferos: El fototrampeo ha permitido determinar periodos óptimos de muestreo (20-25 días) para alcanzar probabilidades de detección superiores al 95% en especies como corzo, sarrio o zorro.

• Hidrogeología: Se han establecido bases técnicas para la monitorización continua del Sistema Garcés y otros manantiales, evaluando nivel, conductividad y temperatura del agua. La monitorización de manantiales clave permite entender el funcionamiento del agua en el macizo de Monte Perdido.

Discusión y conclusiones:

El programa ha evolucionado desde una fase inicial de inventariado hacia una fase de análisis y validación de la información histórica recopilada. La estandarización de métodos y protocolos ha sido clave para garantizar la comparabilidad

de los datos a largo plazo. La experiencia adquirida demuestra que la colaboración institucional es imprescindible para abordar la complejidad de los ecosistemas de alta montaña. La gestión activa, informada por estos seguimientos (como el descaste de peces), se revela eficaz para la recuperación de especies endémicas amenazadas como rana pirenaica. Finalmente, la digitalización y el uso de herramientas como R y Q-GIS permiten una visualización y análisis de resultados que facilitan la toma de decisiones por parte de la dirección del Parque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benito, J. L. (2000). Priorización de especies de flora en el Pirineo aragonés. Dirección General de Medio Natural, Gobierno de Aragón.

Campanaro, A., Hardersen, S., Pagola, I., & Méndez, M. (2011). Guidelines for the monitoring of Rosalia alpina. Nature Conservation, 20, 79-94.

https://doi.org/10.3897/natureconservation.2.3061

MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Royle, J. A., Pollock, K. H., Bailey, L., & Hines, J. E. (2006). Occupancy estimation and modeling: Inferring patterns and dynamics of species occurrence. Academic Press.

Van Swaay, C. A. M., van Strien, A. J., Aghababyan, K., Åström, S., Botham, M., Brereton, T., Chambers, P., Collins, S., Domènech, M., Escobés, R., Feldmann, R., Fernández-García, J. M., Fontaine, B., Goloshchapova, S., Gracianteparaluceta, A., Harpke, A., Heliölä, J., Khanamiryan, G., Julliard, R., … Warren, M. S. (2015). The European Butterfly Monitoring Scheme: Manual for field counts. Butterfly Conservation Europe & BC Dutch Butterfly Conservation.

Vila, M. (Coord.). (2017). La “graellsia”, Actias isabelae (Graells, 1849): Historia, genética, ecología, distribución y conservación de un emblema de nuestra fauna. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

GERMINACIÓN DE LA FLORA ALPINA EN EL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA

C. Espinosa del Alba, E. Fernández-Pascual y B. Jiménez-Alfaro

Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (IMIB), CSIC – Universidad de Oviedo – Principado de Asturias, 33600 Mieres, Asturias
Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo, 33071 Oviedo, Asturias

Resumen:
La germinación de la flora alpina está regulada por complejos procesos fisiológicos y señales ambientales. Comprender la germinación en ecosistemas alpinos es vital para el seguimiento de especies y comunidades de montaña, especialmente bajo escenarios climáticos futuros. Aquí presentamos los resultados de tres años de investigación sobre la germinación de flora alpina del Parque Nacional de Picos de Europa, y sus diferencias con flora alpina de la vertiente sur del occidente cantábrico. La investigación reveló distintos patrones fenológicos asociados con la dormición de las semillas y la respuesta a las condiciones invernales, con la flora de Picos de Europa mostrando una germinación significativamente más tardía. Al estudiar las respuestas germinativas a señales ambientales específicas, como estrés hídrico, oscuridad o temperaturas constantes, no encontramos diferencias entre ambas floras. Tanto el estrés hídrico como la oscuridad disminuyen la germinación. Nuestros datos también mostraron una alta especificidad en la germinación de cada especie y una notable modulación debido a las condiciones microclimáticas. En resumen, la germinación de la flora alpina de los Picos de Europa parece estar fuertemente regulada por las condiciones invernales. En escenarios climáticos futuros, con inviernos más cortos y menos nieve, la flora alpina de los Picos de Europa se verá alterada por una disminución de su capacidad regenerativa.

Abstract:
Germination of the alpine flora in Picos de Europa National Park
A complex array of physiological and environmental cues regulates the germination of alpine flora. Understanding the germination in alpine ecosystems is crucial for tracking species responses and community dynamics under future climate conditions. Here, we present the results from a 3-year investigation conducted in the Picos de Europa National Park, comparing the germination of its alpine flora with that of the flora on southern slopes of the Cantabrian Mountains. Germination exhibited distinctive phenological patterns related to seed dormancy and response to the winter season, with significantly delayed germination phenology in the Picos de Europa flora. We did not find differences in responses to other specific germination drivers, such as water limitation, darkness, and constant temperatures. Lack of water and light both hindered germination. Our data also showed that germination is highly species-specific and modulated by microclimatic conditions. In summary, the germination of the alpine flora in the Picos de Europa appears to be strongly regulated by the winter season. Future climatic scenarios with changing winter conditions, i.e., shorter and less snowy winters, will negatively affect the germination of a large portion of the alpine flora in Picos de Europa National Park.

Palabras clave: Germinación alpina, Condiciones microclimáticas, Fenología de la germinación, Determinantes de la germinación, Estrés hídrico

Key words: Alpine germination, Microclimatic conditions, Germination phenology, Germination Drivers, Water stress

Introducción

La reproducción sexual de las plantas es esencial para el mantenimiento de la diversidad genética y el potencial adaptativo de estas ante cambios ambientales. La unidad básica de la reproducción sexual en plantas vasculares es la semilla, que actúa como reservorio de energía para el crecimiento inicial de las plantas. La germinación puede considerarse el primer estadio en la regeneración sexual de las plantas, un proceso irreversible que empieza con la activación del metabolismo, gracias a la absorción de agua, y termina con la protrusión de la radícula. La germinación está fuertemente regulada por factores internos y externos (Bewley, 2013). La regulación interna se debe a un equilibrio hormonal que puede mantener la semilla, o, mejor dicho, el metabolismo de la semilla, en reposo durante cierto período mediante procesos de dormición. La regulación externa se determina principalmente por la disponibilidad de agua y la temperatura. Ambos factores de regulación, internos y externos, permiten sincronizar la germinación con el periodo de las condiciones ambientales más favorables.

En zonas alpinas, debido a las condiciones ambientales extremas, rápidamente cambiantes, y la gran variabilidad microclimática (Körner 2021), los factores de regulación de la germinación son extremadamente importantes. En un reciente metaanálisis (Fernández-Pascual et al., 2021) concluyó que una mayoría de plantas alpinas de zonas templadas requieren de un periodo de estratificación fría, que simula las condiciones ambientales del invierno y modifica el balance hormonal en la semilla para activar el metabolismo, seguido de temperaturas relativamente elevadas que aceleran la tasa metabólica y completan el proceso de germinación. Debido a estos requerimientos generales, el pico de germinación en zonas alpinas suele ocurrir a finales de primavera o principios de verano. Sin embargo, en este estudio también se destaca la gran variabilidad de la germinación entre especies y hábitats, por lo que se necesitan más estudios que exploren posibles causas de dicha variabilidad, como, por ejemplo, los gradientes microclimáticos.

Objetivos

El objetivo principal de este estudio es analizar la germinación de la flora alpina de los Picos de Europa (comunidad “temperate”), y sus diferencias con una flora alpina de mayor influencia mediterránea del occidente de la Cordillera Cantábrica (comunidad “Mediterranean”). Nos centraremos en analizar la germinación desde dos puntos de vista complementarios: la fenología y la respuesta a factores ambientales específicos (determinantes de la germinación), como el régimen de temperatura (alterna vs constante), la luz vs la oscuridad y el estrés hídrico.

Materiales y métodos

Área de estudio

Nos centramos en las comunidades de pastos alpinos por encima de 1900 metros de elevación en la Cordillera Cantábrica (González le Barbier et al. 2025),

un sistema montañoso que se extiende 480 km de este a oeste paralelo al mar Cantábrico. La Cordillera Cantábrica es considerada una zona de transición entre las regiones biogeográficas eurosiberiana y mediterránea, lo que facilita la coexistencia de especies de diferentes orígenes evolutivos. La zona exhibe un marcado gradiente norte-sur de precipitación y temperatura, con condiciones templado-oceánicas en la vertiente norte en comparación con condiciones continentales y mediterráneas de la vertiente sur. Seleccionamos dos comunidades de estudio, (1) en el macizo central del Parque Nacional de los Picos de Europa (referida aquí como "Temperate") y (2) en la Sierra de Villabandín dentro de las reservas de la Biosfera de Los Valles de Omaña y Luna (referida como "Mediterranean"). Ambas comunidades presentan fuertes gradientes microclimáticos con zonas expuestas y venteadas, sin nieve en invierno y temperaturas elevadas en verano (nos referiremos a ellos como "fellfield") y otras zonas más protegidas con largos periodos de nieve y temperaturas frescas en veranos (nos referiremos a ellos como "snowbed"). En cada una de las zonas de estudio (temperate vs Mediterranean) y en cada extremo microclimático (fellfield vs snowbed), enterramos sensores de temperatura y humedad (MicroLog SP3, EMS Brno, República Checa: precisión en registro de temperaturas: +/- 0.3 °C from -40 °C to 60 °C; water potential measurements with Delmhorst gypsum sensors measuring range from -0.1 to -15 bars) para registrar las diferencias climáticas entre zonas (ver Figura 1) y extremos microclimáticos. Posteriormente, los datos climáticos se utilizarán como base para nuestros experimentos.

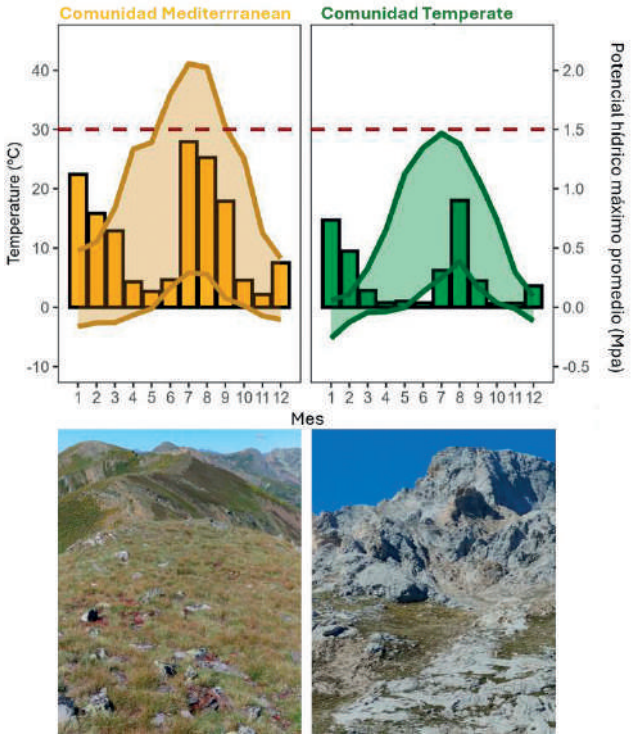


Figura 1. Imagen y descripción climática de las dos comunidades de estudio, basado en datos climáticos del 2021-2025 registrados en los sensores Microlog SP3 (adaptado de Espinosa del Alba et al. 2026, en revisión).

Recolección de semillas

En cada comunidad de estudio, seleccionamos 4 sitios de muestreo representativos, donde muestreamos la presencia de todas las plantas vasculares en una parcela circular central (radio de 4 m) y consideramos esas plantas como especies diana. En total registramos 49 especies diana en la comunidad temperate y 22 en la comunidad Mediterranean. A lo largo de los veranos de 2021 y 2022, recolectamos más de 400 semillas de todas las especies posibles, manteniendo los protocolos de ENSCONET (2009). Para el experimento de fenología de la germinación, recolectamos suficientes semillas de 38 especies de la comunidad temperate y de 21 de la Mediterranean. Para el segundo experimento de determinantes de la germinación, pudimos incluir 27 especies de la comunidad temperate y 24 de la comunidad Mediterranean.

Experimentos de germinación

Para el experimento de fenología de la germinación, usamos los datos climáticos registrados en Picos de Europa como referencia para calcular los promedios semanales de temperatura mínima y máxima en cada uno de los extremos microclimáticos. Con estos datos de temperatura, programamos dos cámaras de germinación y ajustamos también las horas de luz a lo largo de todo el experimento. El experimento de fenología de germinación duró un año completo de septiembre del 2021 a septiembre de 2022.

Para el experimento de condicionantes ecológicos de la germinación, todas las accesiones de semillas se sometieron a un periodo de estratificación fría (cold stratification) durante 5 meses, con el objetivo de imitar las condiciones invernales y romper la dormición de las semillas. Tras dicho periodo, medimos la germinación durante estas condiciones invernales y repartimos las semillas no germinadas entre cuatro tratamientos de germinación. (1) Tratamiento "Control" con temperaturas alternas, 12 horas de luz y agua disponible, (2) tratamiento "Temperatura constante" con temperaturas constantes, 12 horas de luz y agua disponible, (3) tratamiento "Oscuridad" con temperaturas alternas, 0 horas de luz y agua disponible y (4) tratamiento "Estrés hídrico" con temperaturas alternas, 12 horas de luz y agua parcialmente disponible. El experimento sobre determinantes de la germinación duró 6 semanas tras los 5 meses de estratificación fría.

En ambos experimentos se realizaron controles semanales de germinación (salvo durante la época invernal en el experimento de fenología). Tras finalizar el experimento, las semillas no germinadas fueron analizadas bajo el microscopio, para comprobar si las semillas restantes se mantenían viables o bien estaban vacías.

Resultados

Fenología de la germinación

Las curvas acumuladas de germinación (Figura 2, panel superior) muestran patrones divergentes entre ambas comunidades. Las especies de la comunidad Mediterranean presentan una germinación más rápida, acumulada sobre todo en otoño; mientras que las especies de la comunidad temperate exhiben, en su mayoría, una germinación retrasada, tras la época invernal, desde principios de la primavera hasta el verano. Sin embargo, en la comunidad temperate se observa una considerable variación en la fenología según las condiciones microclimáticas. En condiciones "fellfield", las especies de la comunidad temperate germinaron

mayoritariamente en otoño (31.6%) y primavera (44.7%). En comparación, en condiciones "snowbed", la mayoría de las especies germinó en verano (36.8%). En la comunidad Mediterranean, en ambas condiciones microclimáticas la mayoría de las especies germinaron durante otoño, 71% y 57.1 % en "fellfield" y "snowbed" respectivamente. También queremos destacar la gran variabilidad en la respuesta germinativa entre las especies estudiadas (para más detalles, ver Espinosa del Alba et al., 2024).

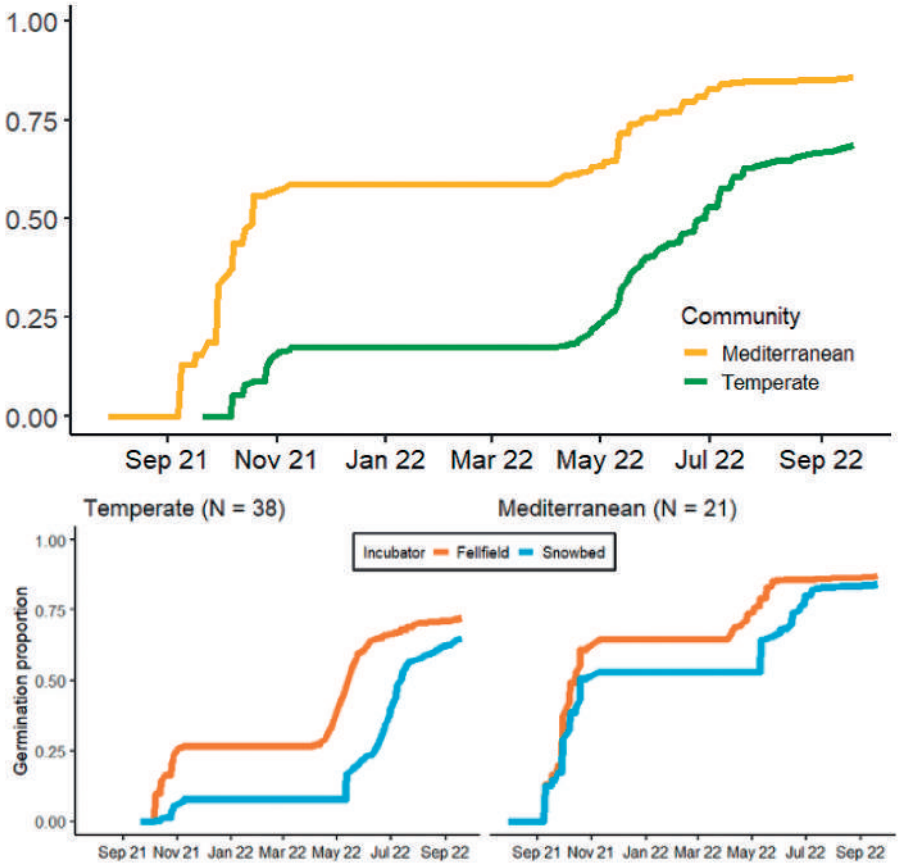


Figura 2. Curvas de germinación acumulada en las dos comunidades de estudio ("Mediterranean" y "Temperate") durante del experimento de germinación. Los paneles inferiores muestran las curvas de germinación separadas paracada condición microclimática ("fellfield" y "snowbed"). Extraído de Espinosa del Alba et al., 2024.

Determinantes de la germinación

Durante el período de estratificación fría ("Cold stratification"), observamos diferencias significativas en la germinación entre ambas comunidades. Aunque la germinación de las especies en este periodo, independientemente de la comunidad de origen, varió entre 0% y 100%, las especies de la comunidad Mediterranean registraron una germinación promedio de 24%, mientras que las de la comunidad temperate solo registraron un 8% (Figura 3). Hubo 10 especies que registraron más del 50% de germinación en estratificación, y de esas 7 especies pertenecen

a la comunidad Mediterranean. Para los análisis posteriores, se excluyeron esas 10 especies con más del 50% de germinación y aquellas que germinaron menos de un 10% en condiciones de control (10 especies).
En cuanto a los otros determinantes de la germinación, el estrés hídrico ("Water stress") y la oscuridad ("Darkness") influyeron negativamente en la germinación de las especies en ambas comunidades ($p<0.001$ en ambos casos, Figura 3). No hubo diferencias significativas entre el tratamiento de control y de temperaturas constantes. Tampoco encontramos diferencias significativas entre comunidades, aunque sí parece que hay una tendencia a que las especies de la comunidad temeprate germinen menos en condiciones de estrés hídrico. Es importante volver a destacar la gran variabilidad en las respuestas germinativas entre especies alpinas.

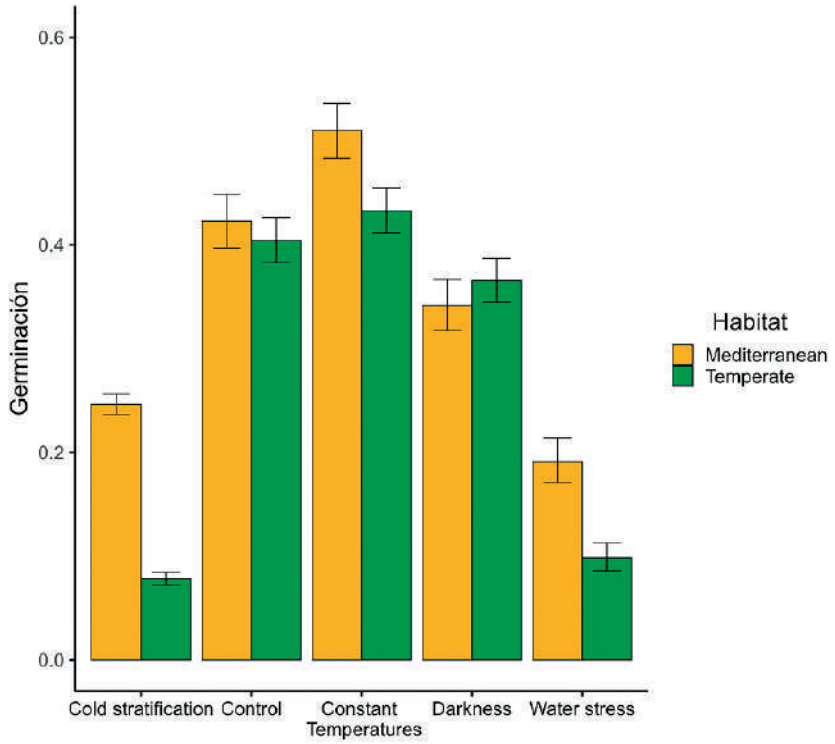


Figura 3. Germinación registrada en los distintos tratamientos. Las barras representan la proporción de semillas germinadas, y las barras de error, los intervalos de confianza binomiales. En el tratamiento "cold stratification", resultados basados en 50 especies; en el resto de tratamientos, resultados basados en 30 especies. A partir de Espinosa del Alba et al. 2026 (en revisión).

Discusión y Conclusiones

Los resultados de nuestros experimentos muestran, en una primera instancia, que la germinación de nuestras dos comunidades de estudio difiere, sobre todo, en la capacidad de germinación durante el otoño y en la respuesta a la estratificación fría, lo que indica diferencias en el grado y tipo de dormición de las semillas. En segunda instancia, las condiciones microclimáticas influyen de manera muy significativa en la germinación de las especies estudiadas, especialmente las de la

comunidad temperate. Aquellas semillas que experimentaron condiciones de "fellfield", es decir, lugares expuestos, germinaron de media hasta con 50 días de antelación. La modificación fenológica observada reivindica la gran plasticidad de la germinación. Esta plasticidad puede, por un lado, servir de amortiguación frente a cambios climáticos futuros, pero, por otro lado, también puede facilitar un desfase temporal que disminuya la capacidad de supervivencia de las plántulas si estas germinan antes del invierno.

Por lo tanto, cabe destacar la importante regulación que ejercen las condiciones invernales en la regeneración de zonas alpinas, ya sea aliviando la dormición de aquellas especies que la requieran o bien limitando la supervivencia de aquellas especies con menor dormición que germinen en otoño. Sin embargo, la gran variabilidad entre especies observada en ambos experimentos sugiere que, ante escenarios climáticos futuros, las especies de la flora alpina regional responderán de manera diferente, tal y como se ha sugerido en estudios microclimáticos recientes (Jiménez-Alfaro et al. 2024). Aquellas especies con un menor grado de dormición, más plasticidad de germinación y mayor capacidad de germinar ante estrés hídrico podrán mantener una germinación exitosa; mientras que las especies con unos requerimientos estrictos de estratificación fría y mayor requerimiento hídrico disminuirán su eficacia reproductiva. Esta afectación diferencial sugiere cambios futuros en la composición y abundancia relativa de la flora que compone las comunidades alpinas de la Cordillera Cantábrica. En el caso de Picos de Europa, actual refugio de numerosas especies alpinas de la Europa templada y mediterránea, se espera un proceso de "mediterranización" que reducirá la cobertura de las especies con mayor necesidad de microhábitats fríos y húmedos, generalmente protegidos por la nieve invernal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS,
(máximo 5 referencias): formato normativa APA

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W., & Nonogaki, H. 2013. "Germination". In Seeds: physiology of development, germination and dormancy (pp. 133–179).

González Le Barbier, J. V. Roces-Díaz, & Jiménez-Alfaro, B. (2024). Timberline Patterns and Dynamics Depend on Forest Type, Regional Climate, and Topography in the Cantabrian Mountains (Spain). Journal of Vegetation Science, 36(1), e70018. https://doi.org/10.1111/jvs.70018

Jiménez-Alfaro, B., E. Fernández-Pascual, C. Espinosa del Alba, & Marcenò, C. (2024). Spatiotemporal patterns of microclimatic buffering in relict alpine communities. Journal of Vegetation Science, 35(2), e13242. https://doi.org/10.1111/jvs.13242

Körner, C. 2021. "Alpine Plant Life". 3rd edn. Edited by Springer Nature Switzerland AG 2021. Springer Cham. doi: 10.1007/978-3-030-59538-8.

Fernández-Pascual, E., A. Carta, A. Mondoni, L. A. Cavieres, S. Rosbakh, S. Venn, A. Satyanti, et al. 2021. "The Seed Germination Spectrum of Alpine Plants: A Global Meta-Analysis." New Phytologist, 229 (6): 3573–86. https://doi.org/10.1111/nph.17086.

Espinosa del Alba, C., E. Fernández-Pascual, & B. Jiménez-Alfaro. 2024. "Microclimatic Variation Regulates Seed Germination Phenology in Alpine Plant Communities." Journal of Ecology, 113(1): 249–262. https://doi.org/10.1111/1365-2745.14461.

Espinosa del Alba, C., E. Fernández-Pascual, L. Götzenberger, & B. Jiménez-Alfaro. 2026 (en revisión). "The Alpine Germination Syndrome differs between temperate and Mediterranean habitats". Journal of Vegetation Science.

PORTAL DE LA FLORA Y LOS HÁBITATS DE LA REGIÓN IBERO-ATLÁNTICA

Borja Jiménez Alfaro

Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (IMIB), CSIC – Universidad de Oviedo – Principado de Asturias, 33600 Mieres, Asturias
Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo, 33071 Oviedo, Asturias

RESUMEN:
La región Ibero-Atlántica incluye los territorios no mediterráneos del noroeste peninsular, desde el norte de Portugal hasta el País Vasco francés, junto con la Cordillera Cantábrica y los montes de León. Esta región se caracteriza por una gran diversidad de ecosistemas, como resultado de su historia biogeográfica y una situación transicional entre las regiones mediterránea y eurosiberiana. Sin embargo, más allá de las facilidades que nos proporcionan las plataformas de ciencia ciudadana, existen pocas obras de referencia que permitan contrastar la presencia de flora autóctona, plantas invasoras, o la diversidad de hábitats. En esta comunicación se presenta la web https://iberoatlantica.eu/, una iniciativa del Jardín Botánico Atlántico de Gijón para dar a conocer la flora y los hábitats de la región Ibero-Atlántica con rigor científico y botánico. La plataforma toma como fuente principal el Sistema de Información de la Vegetación Ibero-Macaronésica (SIVIM), así como otras bases de datos y publicaciones científicas relacionadas con el área de estudio. Por un lado, se ofrece un acceso sencillo a 3000 especies de flora vascular, con información sobre su situación corológica (autóctona, naturalizada o invasora), fotografías revisadas por personal experto, y su presencia en diferentes hábitats. Por otro lado, se ofrece el listado de los 98 hábitats EUNIS identificados en la región a partir del análisis estadístico de 25.000 inventarios, con información sobre su ecología, distribución geográfica, especies indicadoras, y protección bajo la directiva de hábitats. La web también ofrece a potenciales usuarios la posibilidad de identificar un hábitat a partir de especies observadas en el campo, con el objeto de facilitar el trabajo de personal de campo, estudiantes, o investigadores no familiarizados con los hábitats europeos. En la presentación se mostrarán las principales utilidades de la web y sus aplicaciones posibles para la mejora del conocimiento y conservación de la diversidad vegetal en Picos de Europa.

ABSTRACT:
A website for the flora and habitats of the Ibero-Atlantic region
The Ibero-Atlantic region includes the non-Mediterranean territories of the northwestern Iberian Peninsula, from northern Portugal to the French Basque Country, along with the Cantabrian Mountains and Montes de León. This region is characterized by a high ecosystem diversity resulting from its biogeographic history and a transitional position between the Mediterranean and Eurosiberian regions. However, beyond the facilities of citizen science platforms, few reference works allow validating the presence of native flora, invasive plants, or habitat diversity. This communication presents the website https://iberoatlantica.eu/, an initiative of the Atlantic Botanical Garden of Gijón for accessing the flora and habitats of the Ibero-

Atlantic region with botanical scientific rigor. The platform is largely based on the Ibero-Macaronesian Vegetation Information System (SIVIM), along with other databases and scientific publications related to the study area. On one hand, the website provides easy access to 3,000 vascular plant species, with information on their chorological status (native, naturalized, or invasive), photographs reviewed by experts, and their presence in regional habitats. On the other hand, the web offers the list of the 98 EUNIS habitats described in the region from statistical analysis of 25,000 vegetation plots, with information on their ecology, geographic distribution, indicator species, and protection under the Habitats Directive. The website also allows potential users to identify habitat types based on species observed in the field, thus supporting field work of technical staff, students, or researchers unfamiliar with European habitats. The presentation will show the main features of the website and its potential applications for the characterization and conservation of plant diversity in the Picos de Europa National Park.

MONITOREO DE LA VEGETACIÓN MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE OBSERVACIONES SATELITALES Y MUESTREOS DE VEGETACIÓN

María Alicia Valdés Rapado

Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (IMIB), CSIC – Universidad de Oviedo – Principado de Asturias, 33600 Mieres, Asturias
Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo, 33071 Oviedo, Asturias

RESUMEN:
La teledetección y el análisis espacial son herramientas esenciales en la investigación ecológica, ofreciendo nuevas posibilidades para el seguimiento de ecosistemas y biodiversidad desde el espacio. Aunque los datos satelitales están ampliamente disponibles y los avances metodológicos son cada vez más potentes, su potencial depende de la disponibilidad de datos in situ fiables, un obstáculo clave para la monitorización operativa de la biodiversidad. El proyecto MOTIVATE (Biodiversa+) busca mejorar la caracterización y el reporte del estado y las tendencias de los hábitats europeos integrando datos de series temporales de parcelas de vegetación con observaciones de teledetección, usando indicadores alineados con la Directiva Hábitats, incluidas Variables Esenciales de Biodiversidad, para seguir cambios en los ecosistemas a lo largo del tiempo. Presentamos ejemplos de caracterización de diferentes tipos de hábitats en el PN Picos de Europa mediante métricas relacionadas con productividad primaria y fenología de los ecosistemas, y mostramos cómo podemos usar la teledetección para evaluar las tendencias temporales en la extensión, estructura y funcionalidad de los hábitats. Esta combinación de observaciones de campo y remotas facilita el seguimiento de los hábitats en áreas protegidas, mejorando significativamente la planificación de la conservación, apoyando la gestión adaptativa y optimizando el reporte del estado de conservación de los hábitats de la red Natura 2000.

ABSTRACT:
Monitoring vegetation by integrating satellite observations and vegetation surveys
Remote sensing and spatial analysis are now essential tools in ecological research, offering new possibilities for monitoring ecosystems and biodiversity from space. While satellite data is now widely available, and methodological developments are increasingly powerful, their full potential depends on the availability of reliable in-situ data, which is a key bottleneck in operational biodiversity monitoring. In this sense, the MOTIVATE (Biodiversa+) project aims to improve the characterization and reporting of the status and trends of European habitats by integrating field data from vegetation-plot time series with remote sensing observations. By using indicators aligned with the EU Habitats Directive, including Essential Biodiversity Variables, we aim to be able to follow ecosystem changes over time. We present here examples of how different habitat types in the Picos de Europa National Park can be characterized using remote sensing metrics related to ecosystem primary

productivity and phenology. We also show how we can use remote sensing to track changes over time and to assess the temporal trends of these habitats, being able to detect changes in their extent, structure and functionality. This combination of field and remote sensing observations can be extremely useful for habitat monitoring in protected areas, and can significantly enhance conservation planning, support adaptative management, and improve the reporting of the conservation status of Natura 2000 habitats.

EL ABANDONO RURAL Y SU IMPACTO EN LA BIODIVERSIDAD: ECOLOGÍA Y DINÁMICA DE LAS POBLACIONES DE MARIPOSAS EN EL PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA

Amparo Mora Cabello de Alba

Parque Nacional Picos de Europa. Área de Conservación

RESUMEN:

Las montañas ocupan alrededor del 25% de la superficie de la Tierra pero albergan una gran parte de su biodiversidad. Las cadenas montañosas del sur de Europa albergan una de las mayores diversidades de mariposas del continente, pero no han sido monitoreadas a largo plazo debido a la dificultad del terreno y de las condiciones meteorológicas. Hoy en día, el abandono de las prácticas agrarias tradicionales está dando lugar al avance de los bosques en estas montañas sobre los espacios abiertos. Junto con estos cambios en el uso del suelo, se predice que el calentamiento climático afectará severamente a estos ecosistemas de montaña.

Se presentan los resultados de una tesis doctoral, cuyo objetivo general ha sido investigar el estatus de conservación de las mariposas del Parque Nacional de los Picos de Europa (NW España), que es un área prioritaria para las mariposas en Europa. En general, se encontró un rápido declive tanto en el número total de mariposas como en las poblaciones de especies individuales: el 45% de la abundancia de mariposas se ha perdido en los últimos 14 años, a la vez que disminuían la riqueza y la diversidad Shannon de especies. De las especies para las que se pudo calcular una tendencia, el 26% mostraron una tendencia negativa. Utilizando indicadores de abundancia multiespecie, se identificaron las causas de esos declives: el avance de los bosques sobre las praderas debido al abandono rural y el calentamiento climático, como responsables del declive y la reorganización de las comunidades de mariposas.

El abandono de la tierra y los efectos amplificados del cambio climático están actuando sobre las cadenas montañosas de Europa (Pirineos, Cárpatos, Balcanes y Alpes, entre muchas otras). Es urgente prestar más atención a los ecosistemas de montaña, que son puntos calientes culturales y de biodiversidad y que están sufriendo intensos cambios aceleradamente.

ABSTRACT:

Mountains occupy around 25% of Earth's land but they hold disproportionate amounts of biodiversity. Southwestern European mountain ranges harbour one of the highest butterfly biodiversity of the continent, but they have not been extensively long-term monitored due to the difficult terrain declining in the last 14 years. 26% of species for which population trends could be produced, showed a significant negative population trend. Using multispecies abundance indicators allowed us to identify the drivers of those declines, with the advance of forests over grasslands due to rural abandonment and warming most likely to be responsible for the decline and re-organisation of butterfly communities.

Land abandonment and amplified effects of climate change are acting upon other mountain ranges in Europe (Pyrenees, Carpathian mountains, Balkan mountains and the Alps, among many others). More focus is needed on mountain ecosystems, biodiversity and cultural hotspots, that are undergoing accelerated major changes.

And weather conditions. Nowadays, the abandonment of traditional land uses is giving rise to a succession towards forest habitats in these mountains. Coupled to these land use changes, climate change is predicted to severely affect mountain ecosystems.

The general aim of this thesis was to investigate the conservation status of butterflies at Picos de Europa National Park (NW Spain), which is a priority area for butterflies in Europe. Overall, we found a rapid decline both on total butterfly numbers and for individual species populations: 45% of butterfly abundance lost and species richness and Shannon diversity.

ESTUDIO DE GARRAPATAS EN EL PARQUE NACIONAL DE LOS PICOS DE EUROPA (2019-2025)

González Álvarez-Cienfuegos, G.

Veterinaria de TRAGSATEC, A.T. PNPE

RESUMEN

Dada la importancia que tienen las garrapatas como vectores de diversos agentes patógenos con relevancia tanto en salud pública (enfermedad de Lyme) como en sanidad animal (piroplasmosis), desde hace años el Parque Nacional de los Picos de Europa, desarrolla una línea de trabajo dirigida a identificar las distintas especies de garrapatas presentes en el mismo, así como su papel en la transmisión de enfermedades.

Para los muestreos se eligió una zona en cada una de las 3 provincias que conforman el Parque Nacional (Asturias, Cantabria y León); los primeros años, se cambiaba de paraje anualmente buscando diferentes altitudes que oscilaron entre los 600 y los 1000 msnm, aunque respetando siempre la cobertura vegetal formada por matorral, abundante helecho y bosque cercano, pero los resultados obtenidos, relacionados con la presencia de las fases de desarrollo de las garrapatas, así como la identificación de nuevas especies no identificadas previamente, nos llevó a centrar el estudio en una única zona por provincia con el fin de observar el efecto que el cambio climático está ejerciendo sobre estos ácaros.

ABSTRACT

Given the importance of ticks as vectors of various pathogens with relevance to both public health (Lyme disease) and animal health (piroplasmosis), for years, the Picos de Europa National Park has been developing a line of work aimed at identifying the different species of ticks present in it, as well as their role in the transmission of diseases.

For the sampling, an area was chosen in each of the 3 provinces that make up the National Park (Asturias, Cantabria and León); in the first years, the site was changed annually looking for different altitudes that ranged between 600 and 1000 meters above sea level, although always respecting the vegetation cover formed by scrub, abundant fern and nearby forest. But the results obtained, related to the presence of the development phases of ticks, as well as the identification of new species not previously identified, led us to focus the study on a single area per province in order to observe the effect that climate change is having on these mites.

PALABRAS CLAVE

PNPE; garrapata; agente patógeno; vector; Enfermedad de Lyme
(PNPE; tick; pathogen; vector; Lyme disease).

INTRODUCCIÓN

Las garrapatas son ácaros, artrópodos y ectoparásitos hematófagos que se alimentan exclusivamente de la sangre del hospedador – hombre, animales domés-

ticos, silvestres, reptiles, aves-, al que parasitan en cualquiera de sus estadíos; para la muda, caen al suelo y una vez tuvo lugar ésta (larva - ninfa – adulto) buscan un lugar alto en la vegetación y esperan hasta que pase un posible hospedador al que acceden por contacto directo.
En el momento de la alimentación pueden actuar como vectores de diferentes agentes patógenos, causando enfermedades infecciosas en el hospedador; también pueden provocar reacciones alérgicas, teniendo además gran importancia desde el punto de vista veterinario, dadas las graves pérdidas económicas que pueden ocasionar en el ganado.

OBJETIVO

Conocer las especies de garrapatas presentes en el Parque Nacional, su distribución en distintas zonas y su papel como transmisoras de agentes patógenos.

MATERIAL Y METODOS

Cuando se planteó el trabajo se eligió una zona de muestreo en cada una de las provincias de las que forma parte el Parque Nacional (Asturias, Cantabria y León), las condiciones que debía de cumplir es que se tratara de lugares cuya cobertura vegetal estuviera formada por matorral, abundante helecho y bosque con presencia, aunque no necesariamente continua de animales domésticos y fauna silvestre y que fuera frecuentada por visitantes/turistas.
La metodología aplicada se basa en la técnica de manteo, con ello lo que se busca es recoger las garrapatas que se encuentran en la vegetación, no alimentadas sobre hospedador con la ayuda de una manta, consistente en arrastrar una toalla de 1 m2 a lo largo de 100 metros, haciendo en total cinco tramos por zona y mes equivalentes a 500 m^2; se examina la toalla y se retiran las garrapatas que son introducidas y conservadas en tubos eppendorf que contienen etanol de 70º.



Zona de recogida de garrapatas.



Técnica de manteo.



Resultado del manteo.

Tras recoger las garrapatas se realiza una primera identificación a nivel de género y fase de desarrollo (larva, ninfa y adulto – macho o hembra-); epidiológicamente hablando, la fase más interesante es la de ninfa ya que previamente, se ha alimentado de otro hospedador y la tasa de infección es alta (a diferencia de las larvas), además tiene baja detectabilidad consecuencia de su pequeño tamaño.
Posteriormente, las ninfas y adultos se envían al IREC (Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos) donde realizan la identificación morfológica a nivel de especie y el análisis de molecular para la detección de infección de las garrapatas, concretamente: Anaplasma spp., agente causal de anaplasmosis; Rickettsia spp. causante de la fiebre botonosa mediterránea y/o linfoadenopatias (TIBOLA); Coxiella burnetii, agente causal de la fiebre Q en humanos y coxielosis en animales;

Borrelia burgdorferi sensu lato, agente etiológico de la enfermedad de Lyme y, Virus de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo, agente causal de esta fiebre hemorrágica.

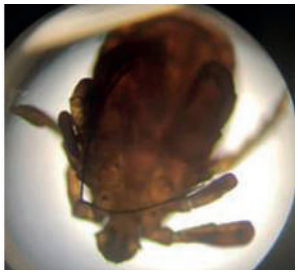
RESULTADOS.

En este documento se muestra un resumen del trabajo realizado entre los años 2019 y 2024 en el que la recogida de garrapatas o muestreos se desarrollaron en zonas comprendidas entre los 600 y los 1100 metros de altitud, entre los meses de abril a septiembre y siempre supeditados a las condiciones climatológicas (lluvia, viento, niebla, sol…) que condicionaron en muchas ocasiones el buen desarrollo de los mismos.

Una vez capturadas las garrapatas, se identifican de forma individual en la medida de lo posible por especie y por fase de desarrollo – larva, ninfa y adulto (macho y hembra), se cuentan y se calcula la densidad poblacional máxima (DPM) y mínima (DPm), es decir, el valor medio del número de garrapatas recogidas en cada lugar y mes.



H. lusitanicum (Fuente: IREC)



Haemaphysalis spp.

En lo referente al número de garrapatas recogidas, los resultados obtenidos revelan que en Asturias la DPM fue de 54,8 y se produjo en el mes de mayo de 2022 a una altitud de 950 msnm, siendo la DPM de 8 en el mes de septiembre; en Cantabria la DPM fue de 72,6 en el mes de junio de 2024, siendo la DPm de 20,2 en el mes de julio; en la zona leonesa del parque nacional, la DPM fue de 150,33 en el mes de agosto de 2019, siendo la DPm de 2 en el mes de septiembre de ese mismo año. De forma general se pudo comprobar que, a mayor altitud, menor densidad media de garrapatas recogidas. En contra de lo que se pensaba inicialmente, el mayor numero de garrapatas no se recogió sobre zonas de helecho verde sino sobre helechos secos y en lugares con hierbas altas.

En cuanto a la fase de desarrollo también se observó que, con el transcurso de los años, el número de larvas recogidas fue disminuyendo a favor de ninfas y adultos, es decir, los primeros años en que se realizó el trabajo se recogía un elevado número de larvas en las 3 provincias (Asturias, Cantabria y León), en la actualidad ocurre todo lo contrario, se recoge un alto número principalmente de ninfas y menos de adultos, siendo mucho más bajo el de larvas. Este hecho se asocia a los cambios que se están produciendo en la dinámica poblacional de estos parásitos, relacionado principalmente con el cambio climático, en especial con las variaciones en la humedad y temperatura.

Debido al elevado número de garrapatas enviadas al IREC, el trabajo de laboratorio se fundamenta en el análisis de pooles compuesto cada uno entre 1 y 12 individuos, cuyo diseño se realiza de forma que todas las especies de garrapatas, todas las fases de desarrollo (exceptuando las larvas), todos los meses de muestreo y todas las zonas de estudio estén lo mejor representadas y diferenciadas.
El número de pooles analizados aumentó al mismo tiempo que el número de ninfas y adultos recogidos; desde los 14 pooles analizados en 2019, 21 en 2022 y 35 en 2024. Así mismo, el número de garrapatas analizadas también aumentó con los años; así, en el año 2019 se analizaron menos de 200 garrapatas, de las cuales un 2% fueron larvas, 82% ninfas, 9% adultos hembra y 7% adultos macho; en el año 2020 las larvas analizadas fueron el 8%, siendo las ninfas el 91% y el 1 % correspondió a machos adultos; en el año 2024 se analizaron más de 800 garrapatas correspondiendo el 95% a ninfas, 3% a larvas, 1% a adultos hembras y 1% a adultos macho. Como se mencionó anteriormente, la intención es no enviar las fases larvarias al laboratorio, ya que, en principio, se puede considerar que no tienen importancia epidemiológicamente hablando al no haberse alimentado previamente de ningún animal.
Las especies de garrapatas identificadas entre 2019 y 2024 son: Ixodes ricinus, las más abundantes y presente en las 3 provincias y en todas las zonas objeto de estudio, también está presente el género Haemaphysalis sp. (H. Concinna y H. punctata en Asturias, Cantabria y León y, H. inermis en León; por último, se identificaron garrapatas de la especie Rhipicephalus bursa en la provincia de Cantabria. Continuando con los datos obtenidos en algunos de los muestreos indicar que, en el año 2019 el 96,45% de las garrapatas analizadas fueron de la especie I. ricinus y el 3,54% restante del género Haemaphysalis sp. (H. concinna y H. punctata -Asturias, Cantabria y León- y, H. inermis (León); en el año 2022 el 64% de las garrapatas analizadas fueron de la especie I. ricinus y el 36% restante Haemaphysalis concinna; en 2024 son 3 los géneros de garrapatas identificados: 94,5% I.ricinus, 3,76% Haemaphysalis sp. y 1,66 % Rhipicephalus bursa.
La comparación de los resultados entre las distintas zonas de muestreo se ha realizado mediante el cálculo de la Tasa de infección mínima = Número de pooles positivos /número total de garrapatas analizadas, así entre los años 2019 y 2024 se analizaron 108 pooles, de los cuales el 37,97% estaban infectados por uno o varios agentes patógenos, concretamente presentaban infección por 1 solo agente patógeno: por B. burgdorferi el 48,78% de los pooles analizados; por Rickettsia spp. el 4,87 % y por Anaplasma spp. El 12,41%. Los pooles que presentaban coinfección por 2 o más agentes patógenos fueron: B. burgdorferi + Anaplasma spp. el 26,82%; B. burgdorferi+ Rickettsia spp. el 4,87% y B. burgdorferi + Rickettsia spp + Anaplasma spp. el 2,43%.
Las enfermedades transmitidas por las garrapatas identificadas son:
Enfermedad de Lyme en el hombre y borreliosis en los animales, causada por B. burgdorferi. El principal vector de la enfermedad para el hombre son las ninfas de I. ricinus, existiendo un mayor riesgo de adquirir la enfermedad cuando las ninfas presentan mayor actividad, dependiendo de la humedad de la zona, generalmente en primavera-verano.
La fiebre botonosa mediterránea está causada por Ricketssia spp. En el trabajo realizado en el Parque Nacional se ha comprobado que actúan como vectores las garrapatas H. concinna, I. ricinus y H. inermis.

La anaplasmosis granulocítica es una zoonosis, cuyo agente etiológico es Anaplasma phagocytophilum, transmitido por garrapatas principalmente de la especie I. ricinus.

La Fiebre hemorrágica de Crimea Congo está producida por un virus del mismo nombre, transmitido por la picadura de garrapatas, siendo los principales vectores y reservorios del virus las de la especie del género Hyalomma spp, aunque en la actualidad no se descarta la implicación de otros géneros de garrapatas en la epidemiología de este virus.

Fiebre Q. Zoonosis cuya principal vía de transmisión es aérea a través de aerosoles contaminados de animales infectados; sin embargo, hay varios estudios que sugieren que hay garrapatas que actúan como reservorios e intervienen en la transmisión del agente etiológico Coxiella burnetii.

REFERENCIAS

Muñoz, C., Sánchez, M., Moraga A., Ruiz Fons, F., Fernández de Mera, I. (2022-2024). Diagnóstico y caracterización molecular por PCR de patógenos aislados de garrapatas recogidas de vegetación en el Parque Nacional Picos de Europa.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA DINÁMICA DE LA INFECCIÓN POR HONGOS QUITRIDIOS Y RANAVIRUS EN LOS ANFIBIOS DE PICOS DE EUROPA

Jaime Bosch Pérez, Barbora Thumsová

RESUMEN:
La dinámica de la infección de los dos patógenos de anfibios causantes de mortalidades masivas y declives poblacionales, los hongos quitridios del género Batrachochytrium, y los virus del género Ranavirus, están muy influenciados por las condiciones ambientales. Así, y según establece la recién propuesta la hipótesis del desajuste térmico-hídrico (THMH), el riesgo de infección está determinado por los desajustes resultantes de los efectos combinados de la temperatura y la precipitación a las que están adaptadas las poblaciones locales. Sin embargo, dado que los requerimientos fisiológicos de ambos patógenos son muy distintos, las anomalías climáticas producen consecuencias diferentes en los anfibios infectados. Como resultado, la proliferación de ambos patógenos en los anfibios raramente coincide en el tiempo, mientras que su distribución espacial solapa frecuentemente. Por otro lado, aunque la temperatura y la humedad de los anfibios depende fuertemente de la del ambiente, estos seleccionan activamente microhábitats concretos con temperaturas y humedades determinadas y, por tanto, su temperatura y humedad corporal no pueden determinarse fácilmente a partir de datos ambientales globales. Los anfibios marcados con radiotransmisores de frecuencia son relativamente fáciles de capturar repetidamente en campo para analizar los cambios en sus cargas de infección. Además, la temperatura corporal de los ejemplares marcados puede extrapolarse de la frecuencia de emisión de los pulsos de radiofrecuencia si estos son recogidos por un dispositivo de almacenamiento situado en la zona. Esta metodología podrá emplearse en los lagos de Covadonga para modelizar la incidencia de los dos patógenos en sus poblaciones d anfibios que han sufrido importantes declives poblacionales en el pasado reciente.

CONSTRUCCIÓN DE RELACIONES ÁREA-PESO PARA LA ESTIMA DE BIOMASA DE MACROINVERTEBRADOS FLUVIALES EN RÍOS DE LA CORDILLERA CANTÁBRICA

Iria Río Lado[1], Mario Álvarez-Cabria[1] & José Barquín Ortiz[1]

[1] *IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.*

Conocer la biomasa de las distintas comunidades biológicas que se desarrollan en los ecosistemas fluviales es esencial para modelizar flujos de materia y energía. Sin embargo, las técnicas clásicas (secado, quemado, pesado) son laboriosas y destructivas, impidiendo el almacenaje posterior, por lo que se usan estimaciones alométricas descritas en la literatura que relacionan mediciones biométricas con el peso seco de los individuos. Aun así, este método suele mostrarse poco eficiente al necesitar mucho tiempo para tomar las mediciones de cada individuo.
El presente estudio evalúa la relación entre la longitud corporal y la biomasa de distintos taxones de invertebrados mediante el uso de Fiji, un software gratuito y de código abierto que permite el análisis de imágenes digitales y la extracción de medidas de longitud y área proyectada de los individuos. De esta forma, aplicando las ecuaciones alométricas longitud-peso seco se obtiene una nueva relación entre la biomasa, medida como peso seco, y el área que ocupa el cuerpo de los organismos analizados. Los resultados obtenidos en este estudio mostraron ajustes muy elevados en las relaciones desarrolladas ($R^2 > 0.85$), por lo que la incorporación del área corporal proyectada como variable predictora de la biomasa de invertebrados (i.e. peso seco) ofrece una alternativa que puede replicarse de manera sencilla y sin necesidad de medir manualmente la longitud de los organismos analizados.

Palabras clave:
invertebrados fluviales, superficie corporal, relaciones área-peso seco, biomasa, Fiji.

Developing area-weight relationships to estimate biomass of stream macroinvertebrates in rivers of the Cordillera Cantábrica

Understanding the biomass of different biological communities in riverine ecosystems is essential for modeling matter and energy flows. Traditional methods (drying, ashing, weighing) are labor-intensive and destructive, preventing the preservation of specimens. As a result, allometric estimates relating biometric measurements to individuals dry weight are often used, though they can be inefficient due to the time required to measure each organism manually.
The present study examines the relationship between body length and biomass in various invertebrate taxa using Fiji, a free and open-source software for digital image analysis that allows the extraction of individual length and projected body area. By applying length-dry weight allometric equations, we established a new relationship between biomass, measured as dry weight, and the projected body area of the organisms. The results showed very high fits for the developed models

($R^2 > 0.85$), suggesting that projected body area can be a reliable predictor of invertebrate biomass. This approach offers a simple, reproducible alternative that eliminates the need for manual length measurements.

Key words: freshwater invertebrates, body surface area, area-dry mass relationships, biomass, Fiji.

2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las comunidades fluviales están compuestas por diversos componentes biológicos, entre los que se incluyen hongos y bacterias, productores primarios (principalmente macrófitos y algas), macroinvertebrados y peces. La cuantificación de la biomasa de estos compartimentos constituye un aspecto clave para comprender el funcionamiento de los ecosistemas fluviales y los flujos de materia y energía que se producen. Sin embargo, el conocimiento disponible sobre la distribución de la biomasa de estos ecosistemas sigue siendo limitado.

Recientes estudios que estiman la distribución de la biomasa global señalan que, la biomasa ha sido analizada de forma desigual, existiendo una importante escasez de datos para artrópodos y peces, grupos clave en los ecosistemas fluviales, ya que en muchos casos se registran abundancias en lugar de biomasa (Bar-On et al., 2018). Por tanto, obtener datos sobre la biomasa de invertebrados se plantea una necesidad en la investigación del funcionamiento y estructura trófica de estos ecosistemas.

Hasta el momento, la obtención de datos de biomasa de macroinvertebrados se ha realizado mediante técnicas clásicas de secado, quemado y pesado, sin embargo, esta metodología requiere un gran esfuerzo de tiempo, imposibilitando, además, el almacenaje posterior de los organismos para futuros análisis. Como alternativa, en el caso de las comunidades de invertebrados se han desarrollado estimaciones alométricas basadas en la relación establecida entre mediciones biométricas de los individuos, con su peso seco. Sin embargo, este método resulta poco eficiente, ya que requiere mucho tiempo para registrar las mediciones biométricas de cada individuo de la muestra.

Ante esta situación, se plantea necesario desarrollar métodos alternativos que permitan estimar la biomasa de forma eficiente y extrapolable a estudios de gran escala, manteniendo una elevada fiabilidad y especificidad taxonómica en los resultados. Por tanto, en este estudio se aborda la estimación de la biomasa de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos a partir de imágenes digitales, mediante una aproximación aun escasamente explorada que, a priori, permite optimizar los métodos clásicos de estimación. Para ello, se han desarrollado ecuaciones que relacionan la superficie corporal (área proyectada obtenida automáticamente con Fiji) con la biomasa para las familias más representativas de las comunidades de invertebrados fluviales de la Cordillera Cantábrica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los macroinvertebrados utilizados proceden de muestras recogidas en 13 puntos localizados en ríos y arroyos de montaña de las cuencas del Sella y Deva-Cares, en el Parque Nacional de los Picos de Europa (PNPE) y sus inmediaciones, en el periodo 2012-2024 (169 muestras).

Los individuos empleados para generar las relaciones entre la superficie corporal y la biomasa pertenecen a las 35 familias que representan >90% de la abundancia total de las comunidades de macroinvertebrados de estos ríos, empleándose solo individuos de más de 1 mm de longitud. Los taxones incluidos abarcan los principales grupos funcionales de alimentación descritos por Cummins (2022): recolectores (materia orgánica particulada fina depositada; ej. Oligochaeta), raspadores (algas; ej. Ancylidae), trituradores (hojarasca; ej. Leuctridae), depredadores (presas vivas; ej. Rhyacophilidae) y filtradores (materia orgánica particulada fina de la columna de agua; ej. Simuliidae).

3.1 Toma de imágenes digitales de los invertebrados fluviales

La obtención de imágenes digitales estandarizadas de los invertebrados se realizó mediante un montaje fijo compuesto por una cámara digital, una caja de luz, una escala de referencia y un trípode. Las imágenes se tomaron en condiciones de luz similares, estableciéndose un conjunto de ajustes de la cámara (Modo Manual, 1/160 s, F00, ISO 400) para obtener con el mayor detalle y calidad posible la superficie corporal de los individuos. Los invertebrados se agruparon por familia, y se distribuyeron en las placas evitando la superposición o el contacto entre sí.
Para seleccionar los individuos con los que se desarrollaron las regresiones se consideró: incluir representantes de distintos taxones dentro de la misma familia, en caso de que los hubiese (género/especie), seleccionar individuos en buen estado de conservación, incluir individuos de distintos tamaños representativos de cada familia, así como procedentes de muestras de diferentes sitios.

3.2 Procesamiento de las imágenes digitales con Fiji: herramienta Labkit

Las mediciones biométricas se obtuvieron utilizando el programa informático FIJI. El procesamiento de cada imagen siguió el siguiente flujo de trabajo estandarizado: 1) Con la imagen abierta se establece la relación pixel-mm con la escala de referencia y se recorta la región de interés; (2) la imagen recortada se carga en el software Labkit y se etiquetan interactivamente las áreas del cuerpo y el fondo para segmentar la imagen en tiempo real hasta optimizar el clasificador; (3) la imagen segmentada se exporta a Fiji y se ajusta el umbral de la imagen binaria; (4) se realiza la extracción automática del área proyectada de los macroinvertebrados.
Para cada familia se creó un clasificador específico lo que permite segmentar de manera automática las imágenes de cada familia. No obstante, al aplicarlo a otras imágenes se revisó su funcionamiento, ya que puede verse afectado por variaciones en la intensidad o el ángulo de la luz, el tamaño de los organismos o el fondo. Todos los clasificadores óptimos empleados específicos de cada familia se guardaron para maximizar la estandarización del proceso en estudios futuros.

3.3 Mediciones manuales de longitud desde las imágenes y construcción de las relaciones área-peso

El peso seco (PS) se estimó mediante la ecuación alométrica ampliamente utilizada para macroinvertebrados fluviales:
$DM = a \times L \hat{} b$
donde a es el factor de escala, b el exponente alométrico que describe la tasa de crecimiento y L la longitud corporal en mm. Para cada familia se emplearon ecua-

ciones previamente desarrolladas por diferentes autores (Benke et al., 1999; Miyasaka et al., 2008; Cummins et al., 2022; Van Leeuwen, 2025). Cuando no se dispuso de ecuaciones a nivel de familia, se utilizaron valores a nivel de orden, clase o, en algunos casos, de otras familias morfológicamente similares (p.ej., para Dixidae se usó la ecuación descrita para la familia taxonómica Chironomidae). Así mismo, se priorizaron ecuaciones de la misma región geográfica cuando fue posible.

Las mediciones corporales se obtuvieron manualmente a partir de las imágenes binarias generadas en FIJI. Siempre que se pudo, se utilizó la longitud corporal como medición estándar ya que explica mejor la variabilidad en la masa corporal respecto la longitud y está disponible para un mayor rango de taxones (Van Leeuwen, 2025). La longitud corporal se entiende como la distancia entre la parte anterior de la cápsula cefálica y la parte posterior del último segmento abdominal, sin contar antenas, cercos u otros apéndices. Sin embargo, en algunos casos concretos, se emplearon otras medidas biométricas por aportar una información más adecuada para determinadas familias:

- Anchura cefálica: medida en la parte más ancha de la cápsula cefálica para determinados tricópteros con estuche, como son las familias Brachycentridae, Limnephilidae, Odontoceridae y Sericostomatidae.
- Ancho de la abertura de la concha: distancia máxima de la abertura medida a lo largo de su eje mayor, como Ancylidae.
- Altura de la concha: distancia desde el vértice hasta el labio exterior de la abertura, como Hydrobiidae y Lymnaeidae.

4. RESULTADOS

Las regresiones área-peso mostraron una relación positiva y significativa ($p<0.05$) entre el área corporal proyectada y el peso seco, con ajustes elevados para la mayoría de las familias. Se realizaron 3.208 mediciones de invertebrados fluviales de 35 familias, ajustando una regresión específica por familia con 30-178 individuos por taxón.

El 80% de las regresiones (28 familias de las 35 analizadas) mostraron relaciones área-peso seco con un ajuste elevado ($R^2 > 0,85$, mediana R2=0,93; Figura 1). Entre estos taxones, algunos son especialmente relevantes, ya que representan más del 80 % de la abundancia de los invertebrados identificados en la zona de estudio; asimismo, estas familias pertenecen a distintos niveles taxonómicos, como Chironomidae y Simuliidae (Diptera), Leuctridae (Plecoptera), Baetidae, Heptageniidae (Ephemeroptera), Hydropsychidae (Trichoptera) y Gammaridae (Arthropoda, subfilo Crustacea).

El resto de las regresiones desarrolladas presentó un ajuste que oscila entre $R^2 =$ 0,54 y 0,81. Entre estas familias, el menor ajuste área-peso se observó en Hydraenidae ($R^2 = 0,54$). En cuanto a los parámetros obtenidos, la mayoría de los exponentes alométricos b se sitúan entre 1.1 y 1.6, lo que refleja una pendiente positiva en la regresión de cada familia (Figura 1 y 2). En el caso de Oligochaeta y Erpobdellidae, estos taxones presentan los valores más bajos para b, 0.51 y 0.66 respectivamente.

En cuanto a la relación universal de área-peso seco utilizando todas las familias de invertebrados fluviales en la misma regresión ($n > 3.000$ individuos), se observa un elevado grado de ajuste ($R^2 = 0.83$; Figura 2).

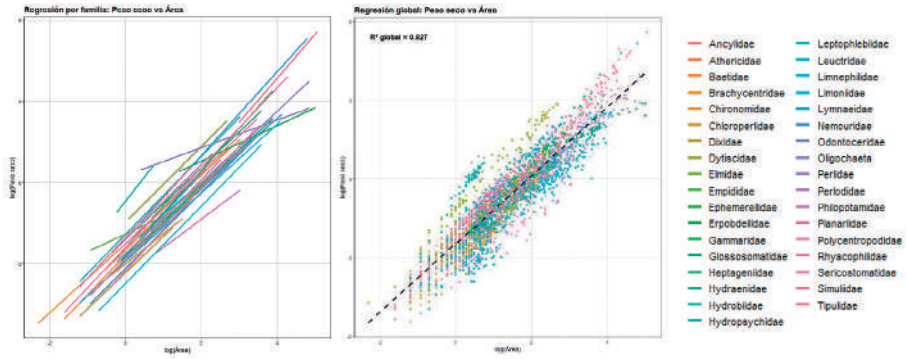


Figura 1. Líneas de regresión por familia. Cada línea representa una familia. **Figura 2.** Nube de puntos área-peso seco obtenidas para todos los individuos. Cada punto representa un individuo, el color la familia taxonómica y la línea discontinua negra la recta global para el conjunto de familias.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados confirman que el área corporal proyectada puede considerarse una variable predictora de la biomasa de los invertebrados fluviales, con regresiones a nivel taxonómico de familia que alcanzaron $R^2 > 0.85$ en la mayoría de casos, incluyendo taxones dominantes en los 13 tramos del PN Picos de Europa.

Hydraenidae mostró el menor ajuste, es posible que se deba a que los individuos presentan áreas corporales muy similares pero variaciones en la longitud. Este desacoplamiento provoca agrupamientos de valores en el eje del área y una elevada dispersión del peso seco, reduciendo el ajuste de la regresión obtenida.

En cuanto a los exponentes alométricos b obtenidos, entre 1.1 y 1.6, estos indican que la biomasa aumenta proporcionalmente con el área corporal. Para Oligochaeta y Erpobdellidae los valores de b fueron los más bajos; para estos taxones se utilizó la relación longitud-peso seco descrita por Cummins (2022), DM = aL, esta menor pendiente probablemente se deba a su morfología vermiforme y alargada.

El buen ajuste de las regresiones a nivel de familia se mantiene a gran escala, como se observa en la regresión global (Figura 2) que incluye todas las familias ($R^2 = 0.83$, n > 3.000 individuos). El elevado ajuste de la recta general indica que el área proyectada es un buen predictor de la biomasa para la comunidad de invertebrados estudiada, incluso cuando se trata de un conjunto de invertebrados muy diverso, tanto taxonómica como morfológicamente.

La validación de la superficie corporal como predictor de la biomasa permite, por tanto, plantear el uso de las ecuaciones específicas desarrolladas para cada familia como una alternativa a las técnicas clásicas de estimación y a la medición manual de los organismos. Esta aproximación facilita la obtención de datos de biomasa en comunidades biológicas y resulta clave para el análisis de los flujos de energía desde los niveles basales de las redes tróficas. Considerando que cada taxón desempeña funciones ecológicas específicas en el procesamiento de la materia orgánica (Cummins, 2022), este enfoque contribuye a una caracterización más precisa de la dinámica trófica y de la transferencia de energía hacia niveles tróficos superiores.

Asimismo, el presente estudio ha permitido comprobar que el área corporal obtenida mediante el procesamiento de imágenes digitales constituye una herramienta eficiente y no destructiva para automatizar y agilizar la medición y obtención de datos morfométricos de los invertebrados fluviales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. (2018). “The biomass distribution on Earth”. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 115(25), 6506–6511. https://doi.org/10.1073/PNAS.1711842115

Benke, A. C., A. D. Huryn, L. A. Smock, and J. B. Wallace. (1999). “Length-Mass Relationships for Freshwater Macroinvertebrates in North America With Particular Reference to the Southeastern United States.” Journal of the North American Benthological Society 18: 308–343.

Cummins, K.W.; Wilzbach, M.; Kolouch, B.; Merritt, R. (2022) Estimating Macroinvertebrate Biomass for Stream Ecosystem Assessments. Int. J. Environ. Res. Public Health, 19, 3240.

Miyasaka, H., M. Genkai-Kato, Y. Miyake, et al. (2008). “Relationships Between Length and Weight of Freshwater Macroinvertebrates in Japan.” Limnology 9: 75–80.

van Leeuwen, C. H. A., Csabai, Z., Szloboda, A., Móra, A., & Declerck, S. A. J. (2025). Length–Dry mass relationships of aquatic insects: geographic and taxonomic variation in a digital database. Freshwater Biology, 70, Article e70056.

USO DE METABARCODING VS CEBADORES ESPECÍFICOS PARA ESTIMAR LA BIOMASA Y DENSIDAD DE SALMO TRUTTA EN ARROYOS DE MONTAÑA

Alba M. Losa[1], Alejandra Goldenberg-Vilar[1], María Morán-Luis[1], David R. Vieites[2], José Barquín[1], Agustín Monteoliva[3].

[1] *IHCantabria - Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, Spain*
[2] *Integrative Marine Ecology Group, Instituto de Investigacións Mariñas (IIM- CSIC), Vigo, Spain*
[3] *ECOHYDROS, S.L., Maliaño, Spain.*

RESUMEN

El ADN ambiental (eDNA) es un método rentable y no invasivo para monitorear poblaciones de peces, pero su uso cuantitativo (estimación de biomasa o densidad) sigue poco explorado. En este trabajo analizamos la relación entre concentración de eDNA (copias/L) y biomasa y densidad de trucha, estimadas mediante pesca eléctrica en arroyos de montaña del Parque Nacional de Picos de Europa. Comparamos los resultados de realizar metabarcoding de 18S rRNA (18S) y citocromo c oxidasa I (COI), además de PCR cuantitativa con un cebador específico para Salmo trutta, aplicados a los mismos puntos de muestreo. La concentración de eDNA de Salmonidae se correlacionó positivamente con biomasa y densidad de trucha. Los marcadores 18S y COI específico mostraron incrementos significativos en concentración de ADN conforme aumentaba biomasa y densidad, mientras que el COI general no reveló asociaciones, pese a su mayor resolución taxonómica. El análisis por clases de tamaño indicó que los juveniles aportaron más a la relación entre concentración de eDNA y biomasa/densidad. Los resultados sugieren que, con un cebador adecuado, el metabarcoding puede reflejar de forma fiable biomasa y densidad de trucha. El estudio destaca la necesidad de un marco cuantitativo en el metabarcoding y muestra que factores como longitud del amplicón, región genética, especificidad del marcador o tamaño de los peces influyen en la relación entre lecturas y pesca eléctrica.

ABSTRACT

Environmental DNA (eDNA) is a cost-efficient, noninvasive method to monitor fish populations, but its quantitative use (e.g., estimating biomass or density) remains underexplored. We investigated the relationship between eDNA concentration (copies/L) and trout biomass and density estimated by electrofishing in mountain streams of Picos de Europa National Park (Spain). Effectiveness was tested using 18S rRNA (18S) and cytochrome c oxidase I (COI) metabarcoding, plus quantitative PCR with a COI-specific Salmo trutta primer, applied to datasets from the same sampling sites. Salmonidae eDNA concentration correlated positively with trout biomass and density. Both 18S and COI-specific markers showed significant increases in DNA concentration with rising biomass and density, while general

COI showed no significant relationships despite its higher species-level resolution. Analysis by trout size classes (fry, juvenile, adult) indicated juvenile biomass contributed most to the observed eDNA–biomass/density relationship. Results suggest that metabarcoding with an appropriately selected primer can reliably reflect trout biomass and density in streams dominated by this species, though qPCR showed lower explanatory power. This study underlines the need to integrate a quantitative framework in metabarcoding for ecological monitoring and biodiversity assessments. Factors like amplicon length, genetic region, marker specificity, or fish size class may affect correlations between sequencing reads and electrofishing data. This approach could support conservation and fish population management, though further research is needed to confirm reliability.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las poblaciones piscícolas de agua dulce han sufrido descensos significativos y reducciones en su área de distribución debido a múltiples factores, como la pérdida y degradación del hábitat, las especies invasoras, la presión pesquera, la contaminación, la expansión de la energía hidroeléctrica y el cambio climático (Reid et al. 2019). El aumento de los esfuerzos para monitorizar la biodiversidad con fines de conservación y gestión requiere evaluar la composición y estructura de las comunidades de peces a lo largo del tiempo y en amplias escalas espaciales (Jackson et al. 2016). Aunque los métodos tradicionales, como la pesca eléctrica o el uso de redes, son fiables y ampliamente utilizados, su elevado coste en recursos y mano de obra limita su aplicación para el seguimiento a largo plazo (Radinger et al. 2019).

Las técnicas de ADN ambiental (eDNA) han surgido recientemente como una herramienta potente y no invasiva para la caracterización y monitorización de ecosistemas acuáticos (Takahashi et al. 2023). Estas metodologías ofrecen claras ventajas frente a los métodos tradicionales, como la ausencia de perturbación de las especies (no-invasivo) y la reducción de costes (Penaluna et al. 2021). El uso de eDNA en la monitorización de comunidades de peces se ha aplicado a diversos objetivos, incluyendo la detección de especies, la estimación de su distribución espacial, así como para la cuantificación o la estimación de la abundancia de las especies (Rourke et al. 2022). Estas relaciones se han demostrado tanto en condiciones controladas como en ambientes naturales, aunque el potencial cuantitativo del metabarcoding sigue siendo objeto de debate. El metabarcoding se basa en el número de lecturas obtenidas por taxón, asumiendo que estas reflejan la abundancia relativa de las especies cuando la eficiencia de amplificación es comparable. En el seguimiento de peces mediante eDNA se han desarrollado dos enfoques principales: uno dirigido, basado en técnicas cuantitativas como qPCR o ddPCR, que emplean cebadores específicos para estimar de forma absoluta el número de copias de ADN de una especie concreta; y otro no dirigido, basado en metabarcoding, que permite detectar múltiples especies mediante regiones genómicas conservadas.

Cabe destacar que el eDNA puede encontrarse en distintos estados y estructuras celulares, y su cantidad en el medio depende del ADN liberado por los organismos a través de heces, mucosidad o renovación de tejidos. Dado que las tasas metabólicas varían a lo largo del ciclo vital, la liberación de eDNA está relacionada con la etapa de desarrollo y el tamaño de los peces. Estudios previos han demos-

trado que la alometría influye en la producción de ADN, aunque la información sobre la variación intraespecífica en la liberación de eDNA según clases de tamaño sigue siendo limitada.

En este estudio, se pretende establecer la relación entre la concentración de eDNA de la trucha común (Salmo trutta) y su biomasa o densidad en arroyos de montaña del Parque Nacional de Picos de Europa, en el norte de España. El objetivo es evaluar el rendimiento de dos enfoques de análisis de eDNA —metabarcoding mediante los genes 18S y COI, y un enfoque dirigido mediante un marcador específico de COI— y analizar su relación con la biomasa y densidad de la especie.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en las cuencas de los ríos Sella y Deva-Cares, dentro de la plataforma LTSER Picos de Europa, situada en el norte de España (Figura 1). Estas cuencas están habitadas por un número reducido de especies de peces, siendo la trucha común (Salmo trutta) la especie dominante.

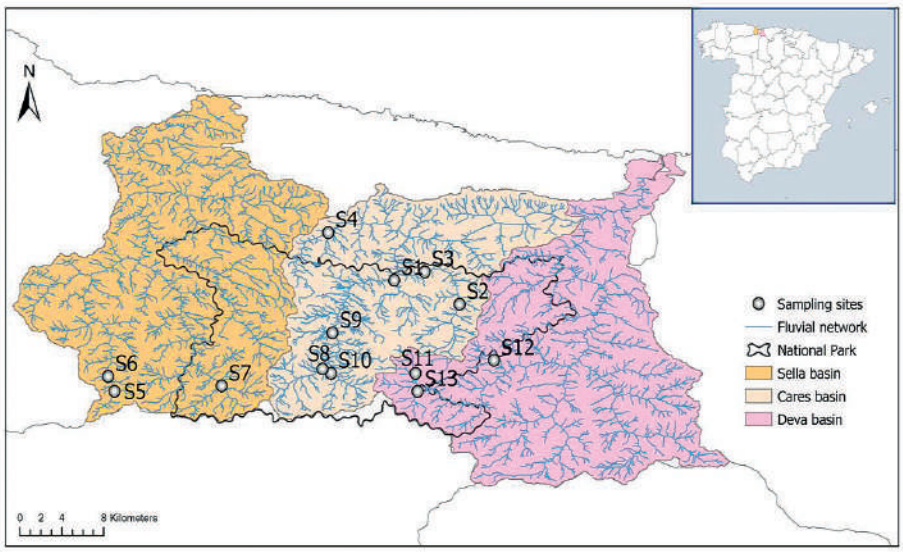


Figura 1. Puntos de muestreo situados en las cuencas del Deva, Cares y Sella. Figura extraída del artículo original: Losa, A. M., Goldenberg-Vilar, A., Morán-Luis, M., Vieites, D. R., Barquín, J., & Monteoliva, A. P. (2025). Metabarcoding Versus Species-Specific Primers to Estimate Salmo trutta Biomass and Density in Mountain Streams. Environmental DNA, 7(2), e70090.

Los muestreos tradicionales de pesca eléctrica se realizaron durante los veranos de 2018, 2019 y 2020 en 13 estaciones distribuidas a lo largo de las cuencas del Sella y Deva-Cares (S1–S13; Figura 1). En cada estación se muestreó un tramo representativo del río que incluía una secuencia de mesohábitats, utilizando un equipo portátil de pesca eléctrica de corriente continua. La captura se realizó en una única pasada por un operador asistido por dos personas. Los peces capturados se identificaron a nivel de especie y se midieron longitud y peso antes de ser sedados y liberados en el punto de captura tras su recuperación. A partir de estos datos se estimaron la biomasa y la densidad de peces,

centrándose exclusivamente en Salmo trutta, ya que fue la única especie de salmónido detectada durante los muestreos.
La biomasa y densidad total se clasificaron en clases de tamaño (alevines, juveniles y adultos). Las muestras de agua para el análisis de eDNA se recogieron el mismo día y en el mismo lugar que los muestreos de pesca eléctrica, siempre con anterioridad a estos. El agua se tomó directamente de la columna de agua y se filtró in situ mediante membranas de 0,45 µm para metabarcoding. Los filtros se conservaron en etanol y se almacenaron a −20 °C.
El ADN se extrajo utilizando kits comerciales estándar siguiendo las instrucciones del fabricante. En 2018 se amplificó un fragmento del gen 18S rRNA, mientras que en 2019 se utilizó un fragmento del gen mitocondrial COI. Las amplificaciones se realizaron mediante dos PCR secuenciales, incorporando índices y adaptadores de Illumina.
Para el enfoque dirigido, se emplearon cebadores específicos de Salmo trutta dirigidos a un fragmento corto del gen COI. Las reacciones de qPCR se realizaron con réplicas técnicas y biológicas, y la cuantificación se llevó a cabo mediante una curva estándar generada a partir de diluciones seriadas de ADN de tejido certificado de S. trutta.
La calidad de las secuencias se evaluó inicialmente mediante herramientas estándar, y el procesamiento bioinformático se realizó en QIIME2. Las secuencias se recortaron, filtraron y depuraron de quimeras mediante DADA2, generándose variantes de secuencia de amplicón (ASVs). La asignación taxonómica se realizó con VSEARCH y se validó mediante BLAST. Las secuencias 18S se clasificaron usando la base de datos SILVA, mientras que las secuencias COI se asignaron mediante una base de datos de referencia específica para peces, construida a partir de GenBank, BOLD y EMBL. Se aplicaron umbrales de similitud del 95% para 18S y del 98% para COI.
Para evaluar posibles diferencias interanuales, se midieron variables ambientales en cada tramo de muestreo, incluyendo temperatura, pH, conductividad y caudal. La temperatura se registró mediante dataloggers, mientras que el pH y la conductividad se midieron in situ. El caudal se estimó a partir de medidas de profundidad, velocidad y anchura del cauce.
El análisis se centró exclusivamente en secuencias clasificadas dentro de la familia Salmonidae, asumiendo que todas correspondían a Salmo trutta. Las relaciones entre la concentración de ADN y la biomasa o densidad de trucha se evaluaron mediante modelos de regresión lineal. Para analizar el efecto de las clases de tamaño, se compararon distintos modelos utilizando el criterio de información de Akaike (AIC) y valores de R^2 ajustados. Se excluyeron dos valores atípicos detectados en años concretos.
Finalmente, se evaluaron posibles diferencias ambientales entre años mediante PERMANOVA y análisis de componentes principales (PCA), y se aplicó un ANOVA de medidas repetidas para comprobar la ausencia de diferencias significativas interanuales en biomasa y densidad. Todos los análisis estadísticos se realizaron en R v4.3.0.

3. RESULTADOS

Los resultados del test PERMANOVA mostraron que las condiciones ambientales no variaron de forma significativa entre los años de estudio ($F = 1.05$, $df = 2$, $R^2 = 0.055$ y $p = 0.34$), lo que indica una estabilidad de los parámetros ambientales a lo largo del periodo analizado. Los muestreos mediante pesca eléctrica

capturaron 981, 880 y 951 individuos de Salmo trutta en 2018, 2019 y 2020, respectivamente. La biomasa y densidad medias por tramo muestreado fueron de 4.22 g m^{-2} y 0.21 individuos m^{-2} en 2018, de 3.90 g m^{-2} y 0.19. No se detectaron diferencias significativas en la biomasa ni en la densidad de peces entre años lo que indica que el esfuerzo de muestreo mediante pesca eléctrica se mantuvo constante a lo largo del periodo de estudio. La distribución de las clases de tamaño mostró que el grupo de juveniles presentó la mayor biomasa y densidad, seguido del grupo de alevines, mientras que los adultos presentaron la menor biomasa. Este patrón se mantuvo consistente entre años y estaciones.

El número de lecturas de peces detectadas mediante 18S fue 3.97 veces superior al número de ASVs detectadas con COI. Todas las secuencias asignadas mediante 18S fueron clasificadas dentro de la clase Actinopterygii, alcanzando como nivel taxonómico más bajo la familia Salmonidae. Esta familia se detectó en todas las estaciones muestreadas excepto en S11. El marcador COI presentó una menor cobertura de amplificación, pero una mayor resolución taxonómica, permitiendo la clasificación a nivel de especie.

El marcador específico detectó la mayor concentración de ADN en S8 (2.59 × 10^{-12} µg L^{-1} de ADN) y fue capaz de detectar ADN de S. trutta en 12 de las 13 estaciones muestreadas.

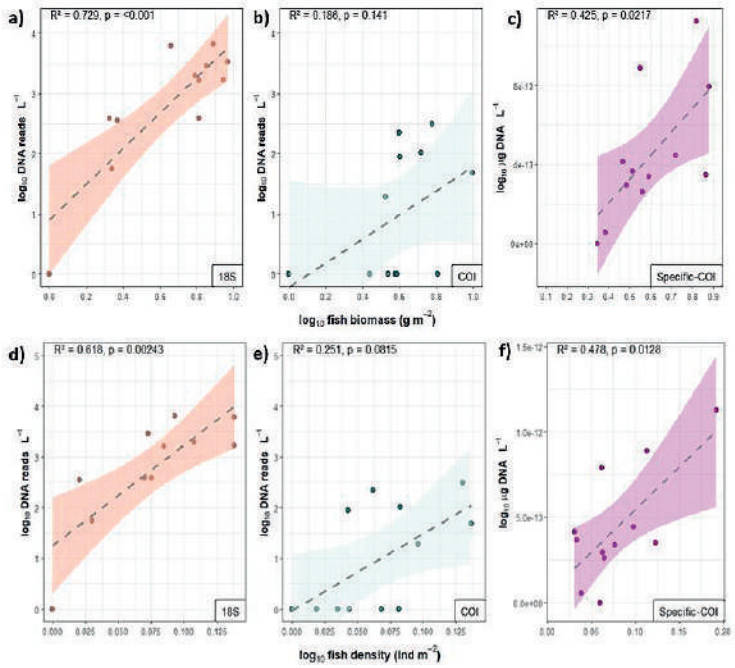


Figura 2. Relación entre la biomasa de peces (a, b, c) y la densidad de peces (d, e, f) y la concentración de eDNA basada en los cebadores universales 18S y COI, así como en el cebador específico de S. trutta (COI específico) dentro del locus COI. Se generaron modelos de regresión lineal para cada conjunto de datos, indicando los valores de R^2 y los valores de p en los gráficos correspondientes. Las líneas discontinuas representan el modelo de regresion de tipo I, mientras que las áreas sombreadas indican los intervalos de confianza del 95 %. . Figura extraída del artículo original: Losa, A. M., Goldenberg-Vilar, A., Morán-Luis, M., Vieites, D. R., Barquín, J., & Monteoliva, A. P. (2025). Metabarcoding Versus Species-Specific Primers to Estimate Salmo trutta Biomass and Density in Mountain Streams. Environmental DNA, 7(2), e70090.

Además, el marcador COI no logró detectar ADN de peces en otras cinco estaciones (S2, S5, S7, S9 y S10), además de S11.

Relación entre la concentración de ADN y la biomasa y densidad de peces

Se detectó una relación significativa entre la concentración de ADN y la biomasa de trucha utilizando los marcadores 18S y el marcador específico de COI (Figura 2). El coeficiente del modelo de regresión lineal fue de 0.729 ($n = 12$, $p < 0.005$) para 18S y de 0.425 ($n = 12$, $p < 0.05$) para el marcador específico de COI. Asimismo, se identificó una relación significativa entre la concentración de ADN y la densidad de peces con ambos marcadores ($R^2 = 0.618$ y $R^2 = 0.478$, respectivamente; $n = 12$, $p < 0.05$; Figura 2).

La comparación de los R^2 ajustados indicó que la biomasa explicó mejor la variabilidad de la concentración de ADN que la densidad. No se detectó ninguna relación significativa para el marcador COI universal en ninguno de los análisis. La relación entre la concentración de ADN y la biomasa de trucha fue significativa para juveniles, alevines y todas las combinaciones que incluían juveniles cuando se utilizó el marcador 18S (Tabla 1). El modelo más óptimo incluyó a alevines y juveniles, presentando el mayor poder explicativo según el criterio AIC.

La relación entre la concentración de ADN y la densidad de trucha también fue estadísticamente significativa, aunque en el conjunto de datos 18S los valores de R^2 fueron superiores a 0.5, lo que indica una mayor capacidad explicativa. En el caso del marcador específico de COI, también se encontraron relaciones significativas para juveniles y combinaciones que incluían juveniles, aunque con valores de R^2 inferiores a los obtenidos con 18S, lo que sugiere una relación más débil y una menor proporción de variabilidad explicada (Tabla 1).

		Fish Biomass				Fish Density			
	Fish group	Adjusted R^2	P-value	RMSE	AIC	Adjusted R^2	P-value	RMSE	AIC
18S	Fry	0.321	*0.031	0.806	0.384	0.190	0.087	0.881	0.263
	Juvenile	**0.690**	**0.000	**0.545**	**0.718**	**0.510**	*0.005	**0.685**	**0.555**
	Adult	0.188	0.088	0.882	0.262	0.135	0.129	0.910	0.214
	Fry+Juvenile	**0.735**	**0.000	**0.503**	**0.759**	**0.548**	*0.003	**0.658**	**0.589**
	Fry+Adult	0.342	*0.026	0.794	0.692	**0.552**	*0.003	**0.850**	**0.592**
	Juvenile+Adult	**0.661**	**0.0007	**0.570**	**0.402**	0.245	0.058	0.655	0.313
COI	Fry	0.175	0.086	0.854	0.243	0.190	0.076	0.846	0.257
	Juvenile	0.074	0.188	0.904	0.151	0.033	0.258	0.924	0.114
	Adult	-0.028	0.430	0.953	0.057	-0.024	0.418	0.952	0.060
	Fry+Juvenile	0.136	0.116	0.873	0.208	0.188	0.077	0.847	0.255
	Fry+Adult	0.074	0.188	0.917	0.151	0.035	0.256	0.851	0.115
	Juvenile +Adult	0.047	0.232	0.904	0.127	0.180	0.082	0.923	0.248
Specific	Fry	0.253	0.054	2.62e-13	0.321	0.233	0.064	2.65e-13	0.302
	Juvenile	**0.285**	*0.043	**2.56e-13**	**0.348**	**0.354**	*0.024	**2.43e-13**	**0.413**
	Adult	-0.088	0.751	3.16e-13	0.010	-0.050	0.506	3.10e-13	0.045
	Fry+Juvenile	**0.326**	*0.030	**2.48e-13**	**0.388**	**0.382**	*0.019	**2.38e-13**	**0.438**
	Fry+Adult	**0.354**	*0.041	**2.92e-13**	**0.354**	**0.410**	*0.014	**2.56e-13**	**0.463**
	Juvenile + Adult	0.289	*0.041	2.55e-13	0.153	0.284	*0.042	2.32e-13	0.349

Tabla 1. Comparación de la biomasa o densidad de peces entre diferentes clases de tamaño (alevines, juveniles y adultos) y todas las combinaciones entre ellas, utilizando modelos de regresión lineal simple de forma separada. Los modelos incluyen biomasa de peces (g/m^2), densidad (ind/m^2), lecturas de eDNA/L para los conjuntos de datos 18S y COI, y □g de ADN/L para el cebador específico de Salmo trutta (COI específico). Tabla extraída del artículo original: Losa, A. M., Goldenberg-Vilar, A., Morán-Luis, M., Vieites, D. R., Barquín, J., & Monteoliva, A. P. (2025). Metabarcoding Versus Species-Specific Primers to Estimate Salmo trutta Biomass and Density in Mountain Streams. Environmental DNA, 7(2), e70090.

4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

El estudio encontró una relación positiva y significativa entre la concentración de ADN ambiental (eDNA) y la biomasa y densidad de Salmo trutta estimadas mediante pesca eléctrica en 13 arroyos de los Picos de Europa, confirmando la primera hipótesis. En general, la concentración de eDNA se relacionó más estrechamente con la biomasa que con la densidad, y la fuerza de esta relación dependió del marcador de ADN utilizado. En contra de la segunda hipótesis, el enfoque de metabarcoding con 18S mostró relaciones más sólidas con biomasa y densidad que el uso de marcadores específicos. Además, los juveniles fueron el grupo de tamaño que más contribuyó a explicar la relación entre eDNA, biomasa y densidad, apoyando la tercera hipótesis.

La comparación entre eDNA y datos obtenidos mediante métodos tradicionales demostró que el metabarcoding puede tener un comportamiento cuantitativo, especialmente cuando se utiliza la biomasa como métrica, ya que esta integra tanto el número como el tamaño de los individuos. Aunque la cuantificación mediante metabarcoding está sujeta a sesgos relacionados con la eficiencia de los cebadores, la amplificación y la composición taxonómica, los resultados concuerdan con estudios previos que indican que el eDNA refleja mejor la biomasa que la densidad en sistemas fluviales (Pont et al., 2023). No obstante, la fiabilidad cuantitativa del eDNA puede variar según las condiciones hidrológicas y ambientales, especialmente en ríos más grandes o con mayor diversidad de peces.

Se observaron diferencias claras entre los marcadores de ADN empleados. El marcador 18S mostró una mayor capacidad de detección de peces y una relación más fuerte con biomasa y densidad que el COI universal y el marcador COI específico. Estas diferencias se atribuyen a la menor variabilidad del locus 18S, a la región amplificada y al menor tamaño del amplicón, factores que favorecen la detección de fragmentos de ADN degradados. Aunque el COI ofrece una mayor resolución taxonómica, su menor eficiencia en este estudio sugiere que, en ríos de montaña dominados por una única especie, marcadores cortos y no dirigidos pueden ser suficientes para estimar la concentración de ADN de peces.

Finalmente, los resultados mostraron que los estadios ontogénicos influyen en la relación entre eDNA y biomasa o densidad. Los juveniles presentaron la mayor contribución, probablemente debido a tasas metabólicas más altas, mayores tasas de liberación de ADN y una mayor capturabilidad mediante pesca eléctrica en comparación con los adultos. Estos factores explican por qué los modelos más precisos se basaron en la biomasa de los grupos de menor tamaño, mientras que los adultos aportaron menos poder explicativo.

REFERENCIAS

Reid, A. J., A. K. Carlson, I. F. Creed, et al. 2019. “Emerging Threats and Persistent Conservation Challenges for Freshwater Biodiversity.” Biological Reviews 94, no. 3: 849–873.

Takahashi, M., M. Saccò, J. H. Kestel, et al. 2023. “Aquatic Environmental DNA: A Review of the Macro-Organismal Biomonitoring Revolution.” Science of the Total Environment 873: 162322.

Penaluna, B. E., J. M. Allen, I. Arismendi, T. Levi, T. S. Garcia, and J. K. Walter. 2021. “Better Boundaries: Identifying the Upper Extent of Fish Distributions in Forested Streams Using eDNA and Electrofishing.” Ecosphere 12, no. 1: e03332.

Rourke, M. L., A. M. Fowler, J. M. Hughes, et al. 2022. “Environmental DNA (eDNA) as a Tool for Assessing Fish Biomass: A Review of Approaches and Future Considerations for Resource Surveys.” Environmental DNA 4, no. 1: 9–33.

Pont, D., P. Meulenbroek, V. Bammer, et al. 2023. “Quantitative Monitoring of Diverse Fish Communities on a Large Scale Combining eDNA Metabarcoding and qPCR.” Molecular Ecology Resources 23, no. 2: 396–409.

SEGUIMIENTO DE POBLACIONES Y COMUNIDADES DE ABEJORROS EN EL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA Y CORDILLERA CANTÁBRICA

Paola Laiolo & José Ramón Obeso

IMIB, Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (CSIC, Universidad de Oviedo, Principado de Asturias)

RESUMEN

El seguimiento a lo largo de tres décadas de poblaciones y comunidades de abejorros (Bombus spp) en Picos de Europa y la Cordillera Cantábrica muestra que, en general, estos han respondido de forma acorde a los cambios ambientales, ajustándose progresivamente a nuevas condiciones y persistiendo en un contexto de cambio climático mediante distintos mecanismos. Las especies termófilas han ampliado su distribución y colonizado zonas de mayor altitud, donde la reducción de temperatura ha generado condiciones más favorables. En cambio, las especies asociadas a climas fríos, que ya ocupaban las áreas más elevadas, no han mostrado desplazamientos altitudinales, sino una elevada plasticidad fenotípica in situ, adelantando su fenología y ajustando sus ciclos de vida sin modificar su rango de distribución.

Estos desplazamientos han incrementado la riqueza de especies en zonas de alta montaña. Sin embargo, las respuestas observadas no dependen únicamente del nicho térmico, ya que factores como la capacidad de dispersión influyen en la magnitud de los cambios altitudinales. En este contexto, las montañas actúan como refugios climáticos clave, al ofrecer gradientes ambientales que facilitan la persistencia de estas especies, particularmente amenazadas en zonas de menos altitud.

We performed a 30-years monitoring of bumblebee (Bombus spp.) populations and communities in the Cantabrian range (Picos de Europa national park and Cantabrian Mountains). Results shows that bumblebees have responded in line with environmental (temperature) changes, progressively adjusting to new conditions and persisting in a context of climate change through different mechanisms. Thermophilus species have expanded their distributions since warming has created more favourable conditions at high elevation. In contrast, species associated with cold climates, which already occupied the highest elevations, exhibited high phenotypic plasticity in situ, advancing their phenology and adjusting their life cycles without modifying their distributional range. These shifts have increased species richness in high-mountain areas. However, the observed responses did not depend solely on thermal niche, but also factors such as dispersal capacity that influence the magnitude of altitudinal changes. In this context, mountains act as key climatic refugia by offering environmental gradients that facilitate bumblebee persistence.

Palabras claves: cambio climático, polinizadores, ecosistemas de montaña, tendencias temporales.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los polinizadores son elementos esenciales para el mantenimiento de la funcionalidad de los ecosistemas, así como para garantizar la provisión de alimentos lo que los convierte en proveedores de bienestar humano (servicio ecosistémico). Sin embargo, están presentando un declive a escala global comprometiendo el bienestar humano. Los agentes causantes del declive son diversos y además interaccionan entre ellos: entre otros la reducción del hábitat (por cambios de usos del territorio y fragmentación del hábitat), expansión de patógenos y parásitos, uso de productos fitosanitarios (en especial los nicotinoides) y el calentamiento global.

En concreto, los abejorros (genero Bombus) son los polinizadores naturales más característicos de las zonas frías y por tanto de los ecosistemas de montaña.

En consecuencia, constituyen un grupo de organismos modelo para examinar los efectos del cambio global en ecosistemas de montaña. En concreto, en la cordillera Cantábrica (Norte de España) en un periodo de dos décadas (1988-2010) se han producido desplazamientos altitudinales de los agregados de especies (Ploquin et al. 2013; Herrera et al. 2014) que son compatibles el incremento de temperatura documentado (0,04 ºC año -1 que corresponde a un desplazamiento a mayor altitud de la isoterma de + 7,69 m año-1). Otros motores de cambio global probablemente no han sido tan importantes como la variación de temperatura. Los cambios de usos del hábitat, estimados en una tasa de 0,35 % año-1, han consistido en una expansión de la vegetación leñosa y arbolada. Los productos fitosanitarios no suelen utilizarse en estas zonas de montaña con producción de ganadería en extensivo y la expansión de patógenos y parásitos probablemente está asociada al aumento de temperatura.

El objetivo de este trabajo no persigue incidir en los motores de cambio global, sino en determinar, para las diferentes especies, cual ha sido la dirección de los cambios de área de distribución y otras tendencias biológicas. Para comprender los mecanismos de cambio, se determinó la influencia de posibles factores moduladores como el nicho térmico y la capacidad de dispersión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló en los Picos de Europa y la cordillera Cantábrica, durante un periodo de más de 30 años, desarrollando campañas en 15 años: 1988, 1989, 1992, 1996, 2004, 2007- 2010, 2017- 2022.

Se muestrearon 254 parcelas circulares de 100 m de radio (en adelante, localidades), desde el nivel del mar hasta 2700 m de altitud en las Comunidades Autónomas de Asturias, Castilla y León y Cantabria. La mayoría de las localidades fueron muestreadas en dos o más ocasiones, y 38 de ellas se localizaron en el Parque Nacional de los Picos de Europa. Al presentar el Parque Nacional tendencias similares al resto del área de estudio, se presentan aquí los resultados de la totalidad del muestreo. En total se capturaron 11.054 ejemplares, pertenecientes a 24 especies del subgénero Bombus y 7 especies del subgénero parásito de crianza Psithyrus.

Cómo variables respuestas, analizamos la variación en (i) la fenología de la colonia, (ii) la altitud media del rango de distribución, (iii) la tasa de colonización de las especies, (iv) la riqueza de especies en las localidades de muestreo. La primera variable se estimó, por cada especie, en términos de cambio de la fecha de emergencias de los zánganos (machos), que determinan el inicio del nuevo ciclo

reproductor. Se estimó la variación anual de la fecha de la primera captura de los zánganos de cada especie como la pendiente de la regresión de la fecha versus el año. En estas regresiones se controló además por la fecha de inicio del trabajo de campo, variable que puede sesgar las estimas. La segunda variable expresa el cambio en altitud de las poblaciones de cada especie, que se estimó como la pendiente de regresión de la altitud de las zonas de ocurrencias respecto al año de muestreo, considerando exclusivamente las localidades muestreadas al menos tres veces. La tasa de colonización se estimó comparando la tasa de ocupación/abandono en las parcelas muestreadas en ocasiones repetidas, mediante el paquete unmarked de R (Kellner et al. 2023). Finalmente, en este mismo conjunto de localidades se estimó la variación en la riqueza de especies de cada parcela muestreada. Por ello, estimamos la pendiente de la regresión entre riqueza de especies respecto al año, controlando por las coordenadas geográficas y la altitud en los análisis.

Como potenciales determinantes de esta variación a nivel de poblaciones y comunidades, consideramos el nicho térmico de las especies, que se estimó a partir de temperatura media anual del rango de distribución, promediando los valores de temperatura obtenidos en WorldClim para las cuadrículas UTM de 50 x 50 Km ocupadas por cada especie (Rasmont el al. 2015). Como aproximación a la capacidad de dispersión de las especies consideramos la longitud relativa del ala (longitud del ala dividida por longitud del tórax, indicador de tamaño corporal, utilizando las reinas para las mediciones; Laiolo et al. 2023). Realizamos análisis de atenuación de la correlación para comparar las tendencias de las especies con su nicho térmico y longitud relativa alar. En estos análisis la correlación observada es igual al coeficiente de correlación calculado sin tener en cuenta el error de la medida, multiplicado por la raíz cuadrada de la fiabilidad de ambas variables (estimadas a partir del error). Este análisis es necesario debido a que todas las variables tienen un error de estima.

RESULTADOS

En el periodo de estudio, hemos observado un adelanto medio de la fenología de la colonia de 0.475 días/año (intervalos de confianza 0.27-0.68, n= 21 especies). Así mismo, la altitud media de la distribución de las especies ha subido de 1.15 m/año (intervalos de confianza 0.49-1.71, n = 22 especies). A nivel de la comunidad, la riqueza de especies en las localidades ha aumentado significativamente, pero muy ligeramente, con la altitud, entre 0.00007 y 0.00001 especies más cada año y metro de altitud.

Las especies con preferencias por las altitudes elevadas y climas fríos, han tenido más propensión a adelantar su fenología ($r20 = 0.62$; $p = 0.002$), mientras que las especies con preferencias por climas cálidos han tenido tasas de colonización más altas ($r20 = 0.43$; $p = 0.05$). Además, las especies con mayor desarrollo alar han tenido mayor desplazamiento en altitud ($t16 = 2.95$, $p = 0.009$).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir del seguimiento a largo plazo de las poblaciones y comunidades de abejorros indican que éstas han mostrado, en general, las respuestas esperadas frente a los cambios ambientales, ajustándose progresivamente a las nuevas condiciones. Las distintas especies parecen haber realizado un rastreo de la variación ambiental mediante diversos mecanismos, lo que ha permitido su persistencia en un contexto de cambio climático.

En particular, las especies termófilas han ampliado su área de distribución y colonizado nuevas zonas a mayor altitud. Para estas especies, las condiciones propias de los ambientes de alta montaña se han vuelto más favorables, principalmente debido a la reducción de las limitaciones impuestas por las bajas temperaturas. En contraste, las especies asociadas a climas fríos, que ya ocupaban previamente las áreas más elevadas, han mostrado una respuesta distinta: en lugar de desplazarse altitudinalmente, lo que no es posible para las especies que ya viven en las zonas más altas, han demostrado una notable plasticidad fenotípica in situ, adelantando su fenología y ajustando sus ciclos de vida dentro de su rango de distribución original.

El desplazamiento altitudinal de numerosas especies ha tenido además consecuencias a nivel comunitario, incrementando la riqueza de estos polinizadores en las zonas de mayor altitud. No obstante, las respuestas observadas no parecen estar reguladas exclusivamente por el nicho térmico. Otros factores ecológicos también desempeñan un papel relevante, como la capacidad de dispersión de las especies, que influye directamente en la magnitud de los desplazamientos altitudinales observados, siendo mayores en aquellas especies con mayor capacidad de dispersión.

En este contexto, las montañas actúan como refugios climáticos clave, ya que ofrecen gradientes ambientales que facilitan el ajuste de las poblaciones y aseguran, al menos a corto y medio plazo, la persistencia de estos importantes polinizadores que están muy amenazados en zonas de baja altitud.

Cabe destacar que los patrones que hemos observado en este estudio solo pueden detectarse gracias a la disponibilidad de datos de seguimiento a largo plazo. Estos estudios resultan fundamentales para distinguir entre fluctuaciones interanuales y tendencias direccionales sostenidas, así como para identificar respuestas retardadas o no lineales de las especies frente al cambio ambiental. Además, el seguimiento continuado permite evaluar cambios simultáneos a distintos niveles de organización biológica, desde respuestas individuales y poblacionales hasta modificaciones en la estructura y composición de las comunidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Herrera, J. M., Ploquin, E. F., Rodríguez-Pérez, J., & Obeso, J. R. (2014). Determining habitat suitability for bumblebees in a mountain system: a baseline approach for testing the impact of climate change on the occurrence and abundance of species. Journal of Biogeography, 41(4), 700-712.

Kellner, K. F., Smith, A. D., Royle, J. A., Kéry, M., Belant, J. L., & Chandler, R. B. (2023). The unmarked R package: Twelve years of advances in occurrence and abundance modelling in ecology. Methods in Ecology and Evolution, 14(6), 1408-1415.

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), 282-290.

Ploquin, E. F., Herrera, J. M., & Obeso, J. R. (2013). Bumblebee community homogenization after uphill shifts in montane areas of northern Spain. Oecologia, 173(4), 1649-1660.

Rasmont, P., Franzen, M., Lecocq, T., Harpke, A., Roberts, S. P., Biesmeijer, J. C., ... & Schweiger, O. (2015). Climatic risk and distribution atlas of European bumblebees (Vol. 10, pp. 1-236). Pensoft Publishers.

MEJORANDO LA DETECCIÓN DEL ENVENENAMIENTO DE FAUNA PARA EVALUAR SU RIESGO Y OPTIMIZAR SU GESTIÓN

María Fernández-García a, Jorge Rodríguez-Pérez a, José Vicente López-Bao a, Patricia Mateo-Tomás[a]

[a] *Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (CSIC – Universidad de Oviedo – Principado de Asturias), 33600 Mieres, España*

RESUMEN

Los crímenes contra la fauna constituyen una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad en todo el mundo, comprometiendo los esfuerzos en su gestión. Junto al uso ilegal de armas y de lazos, el envenenamiento es un método no selectivo utilizado frecuentemente para la captura o la muerte ilegal de animales, poniendo en peligro no solo a las especies objeto de estas prácticas, sino también a los seres humanos y a los animales domésticos. Para hacer frente a esta amenaza de una manera efectiva, se requiere una aproximación interdisciplinaria, que incluye mejorar los casos de detección, conocer las motivaciones que subyacen esta amenaza, la prohibición de tóxicos o la mejora del cumplimento de las normativas y la persecución de los infractores, entre otros. En este sentido, en España, el uso de veneno contra la fauna se lleva persiguiendo legalmente desde los años setenta del siglo pasado, pero aún se trata de una amenaza muy presente en nuestro entorno. Su carácter críptico y de difícil detección hace que los registros oficiales infravaloren el impacto y la y la magnitud de los casos actuales de envenenamiento de fauna silvestre. De hecho, y a pesar de los miles de animales registrados como envenenados en todo el mundo (p.ej., 46.261 en África entre 1960-2024), y en el caso de España, más de 21.000 entre 1992 y 2017, estos datos solo están reflejando una pequeña porción del problema real. Dado que la vigilancia, la prevención y la persecución legal de esta práctica dependen en gran parte de la detección, resulta esencial seguir optimizándola mediante un conocimiento más amplio de esta amenaza global, la mejora de los protocolos de recogida de información y el uso de herramientas que permitan una gestión más eficiente de los recursos disponibles para luchar contra ella. En este contexto, estudios recientes en distintas regiones de la península Ibérica, incluyendo el Parque Nacional de Picos de Europa y áreas circundantes, han contribuido a (i) cuantificar la magnitud del envenenamiento de fauna, identificando, por ejemplo, que especies de mustélidos son más susceptibles de ser envenenadas con cebos de pequeño tamaño y en áreas con vegetación más densa, mientras que los buitres , cuervos, lobos u osos pardos suelen aparecer con más frecuencia en grandes cebos como carroñas de ganado en áreas abiertas. Estos resultados son útiles para dirigir las acciones de búsqueda de fauna y cebos en casos de envenenamiento. Otro resultado de estos trabajos (ii) indica que, si bien las bases de datos oficiales ofrecen un listado más o menos completo de las especies susceptibles de ser envenenadas, éstas fallan a la hora de identificar el número de especies e individuos afectados en cada evento de envenenamiento. También infravaloran la presencia de especies generalistas como mustélidos, zorros o córvi-

dos. Conocer estas fortalezas y debilidades de las fuentes oficiales permite mejorar la precisión y coherencia en la recopilación de datos mediante, por ejemplo, protocolos de búsqueda sistemáticos y homogéneos. No obstante, los datos oficiales pueden ser analizados con métodos que tengan en cuenta su heterogeneidad para (iii) elaborar mapas de riesgo de envenenamiento que ponen de relieve que la información recopilada depende tanto de las motivaciones para envenenar (p.ej. presencia de cabras y ovejas, y de cultivos), como de la capacidad de detectar casos (p.ej. mayor con unidades caninas y en zonas más pobladas). Estos mapas de riesgo, se pueden integrar (iv) con la información que aportan especies susceptibles al envenenamiento como el buitre leonado y el quebrantahuesos equipadas con GPS, y con el trabajo de las unidades caninas especializadas, para identificar puntos críticos de envenenamiento donde reforzar la vigilancia sobre el terreno. Se discutirán los resultados de esta integración en el Parque Nacional de Picos de Europa y sus alrededores. Estos resultados demuestran que la amenaza del veneno es mayor de lo que reflejan los registros oficiales y que su gestión puede optimizarse mediante enfoques integradores que combinan ciencia aplicada y nuevas tecnologías, como el seguimiento GPS de fauna silvestre. Estos avances son importantes para reforzar la gestión de conservación de fauna en el Parque Nacional de Picos de Europa y en otros espacios naturales susceptibles a la persecución ilegal de fauna.

ESTUDIO SOCIOECONÓMICO, DESPOBLACIÓN Y RETO DEMOGRÁFICO EN EL PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA

AUTORES: José Manuel Samperio Calderón[1], E. Ruiz Prieto[2], C. González García[2], A. Martínez Fernández[2], P. Ruiz Vázquez[2], J. Herrero Ruiz[2].

[1] *IES Potes; ACNAMA*
[4] *IES Potes*





Cartel divulgativo PNPE frente a Cordiñanes y Torre del Friero. Septiembre 2025.

El objetivo de esta ponencia es realizar una pequeña exposición de la investigación, sobre todo implicando al alumnado del Instituto, sobre la despoblación a lo largo de más de 100 años en la zona del Parque Nacional de los Picos de Europa que afecta a once municipios de Asturias, Cantabria y León.
De los 35.931 en 1920, se pasa a 15.546 en 2013 y a 14.396 en 2023
Todos los ayuntamientos reducen significativamente su censo. Solo dos con influencia urbana mantienen las cifras en los últimos diez años. Por el contrario hay algunos que dividen por 4, 5 y 8 su población.
Es una consecuencia de la despoblación general de las zonas rurales y la baja natalidad de zonas urbanas próximas.
Los incendios de este verano han ensombrecido aún más el futuro.
Los retos para combatir esta situación son grandes. La juventud de nuestra comunidad educativa seguro que tiene mucho que aportar tras el conocimiento y estudio del entorno que le rodea.