

La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici



**XII Jornades
sobre Recerca
al Parc Nacional
d'Aigüestortes
i Estany de
Sant Maurici**

**Espot (Pallars Sobirà)
13, 14 i 15 d'octubre de 2021**



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



Parc Nacional
d'Aigüestortes
i Estany de Sant Maurici



Foto: Lluís Camarero

Generalitat de Catalunya. Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fotos portada: (dalt) Lluís Camarero (baix) Marc Ventura

Foto contraportada: Lluís Camarero

Tiratge: 500 exemplars

DL: L 782-2022

ISBN 978-84-19326-56-0



Foto: Lluís Camarero

La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

XII Jornades sobre Recerca al Parc Nacional
d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

Esport (Pallars Sobirà), 13, 14 i 15 d'octubre de 2021



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



Parc Nacional
d'Aigüestortes
i Estany de Sant Maurici

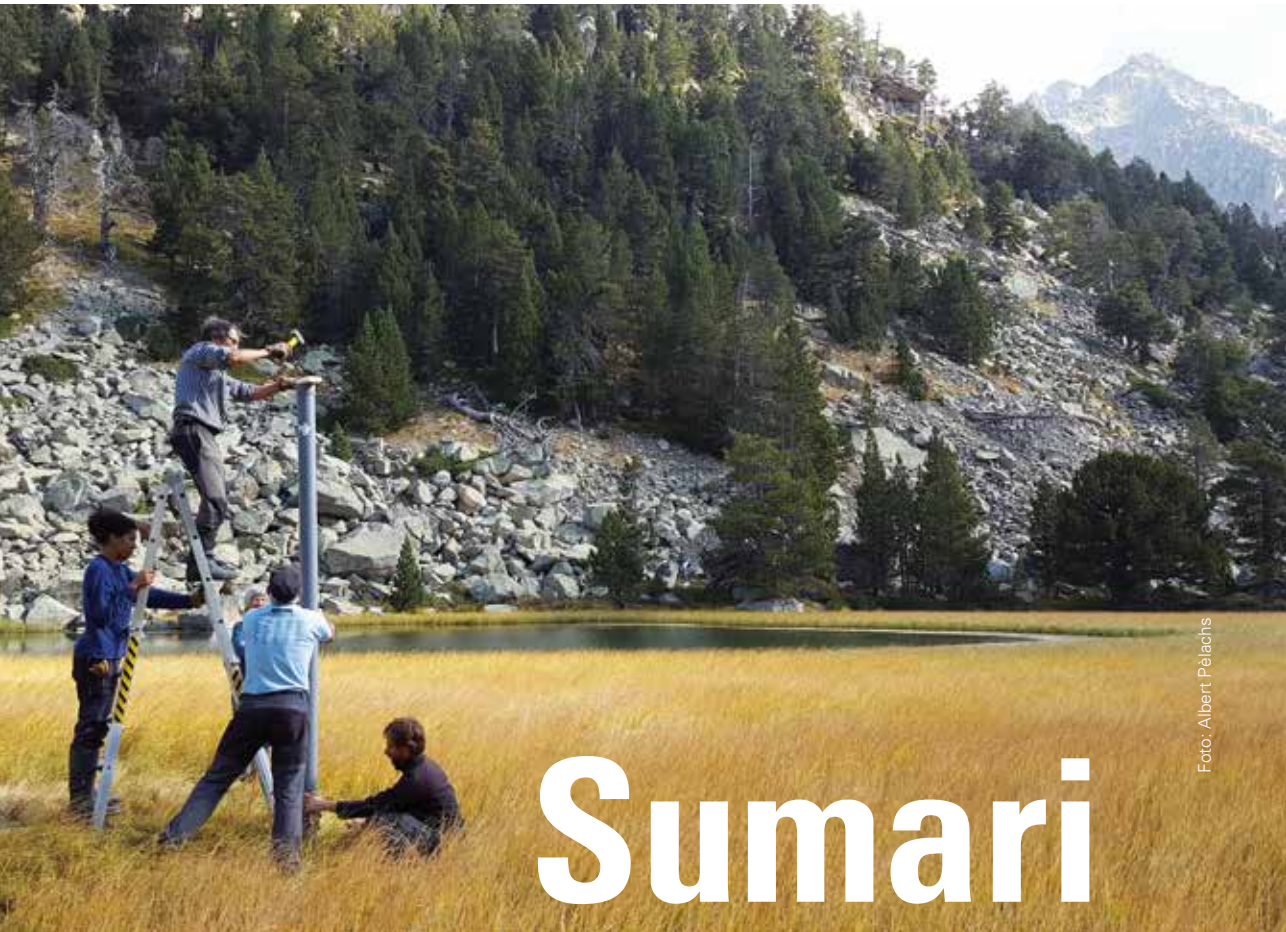


Foto: Albert Pelachs

Sumari

	Presentació	5
	Ecología del microbioma atmosférico global. Una década de estudios en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici	7
	Emilio O. Casamayor, Joan Cáliz, Xavier Triadó-Margarit	
	Influència de les aigües subterrànies en els ecosistemes aquàtics del Parc Nacional. El cas de la ribereta de Contraix: estudis i pla de seguiment	17
	Lluís Camarero Galindo, Daniel Montagud Tarrasó	
	Factors que afecten els canvis de la temperatura de l'aigua dels estanys del Parc Nacional	25
	Ibor Sabás, Alexandre Miró, Jaume Piera, Jordi Catalan, Lluís Camarero, Teresa Buchaca, Marc Ventura	
	La utilització de tècniques de seqüenciació massiva per descriure la biodiversitat dels ambients aquàtics del Parc Nacional	37
	Víctor Osorio, Maria Àngels Puig, Ibor Sabás, Teresa Buchaca, Jennifer Caner, Hyunbin Jo, Federica Lucati, Quim Pou-Rovira, Marc Ventura	

Sumari

- 47 LACEN: Ilacs sentinella de canvi global en els Parcs Nacionals: anàlisi multidisciplinari dels últims 6.000 anys**
 Arnau Blasco Ruiz, Valentí Rull, Miguel Ángel Calero, Núria Cañellas-Boltà, Sandra Garcés Pastor, Teresa Vegas-Vilarrúbia
- 53 Profunditat de l'Estany de Sant Maurici abans de l'any 1953**
 Miguel Angel Calero, Lothar Schulte, Valentí Rull, Teresa Vegas-Vilarrúbia
- 57 Presència i distribució de contaminants organofosforats emergents en aire i aigües dels estanys d'alta muntanya del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici**
 Raimon M. Prats, Barend L. Van Drooge, Pilar Fernández, Joan O. Grimalt
- 65 Respostes fisiològiques i estructurals d'*Isoetes creussensis* Lazare & S.Riba associades a variacions en la radiació incident i pèrdua de la transparència de l'aigua per eutrofització**
 Esperança Gacia, Cristina Pulido, Maria Espinosa del Alba, Eglantine Chappuis, Marisol Felip, Joan Lluís Riera, Enric Ballesteros
- 75 Hibridación potencial de las especies vegetales del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici**
 Modesto Berbel Cascales, Alba María Cortés Molina, Juan Lorite Moreno, Luís Matías Resina, Antonio Jesús Muñoz Pajares, Mohamed Abdelaziz Mohamed
- 85 Estudio de la dinámica del ecotono forestal-subalpino (*Abies alba* - *Pinus uncinata*) en el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici: ¿coexistencia o reemplazo?**
 Isabel Aulló-Maestro, Cristina Gómez, Laura Hernández, J. Julio Camarero, Mariola Sánchez-González, Isabel Cañellas, Antonio Vázquez de la Cueva, Fernando Montes
- 95 El paper de les distàncies ambientals i geogràfiques en la beta diversitat taxonòmica, filogenètica i funcional de les plantes vasculares a les molles dels Pirineus**
 Eulàlia Pladevall-Izard, Aaron Pérez-Haase, Josep M. Ninot
- 105 Sistema de parcel·les de seguiment de la biodiversitat terrestre (SISEBIO) al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici**
 Lluís Comas, Xavier Domene, Javier Retana
- 117 El barb roig com a desencadenant de cascades tròfiques en estanys d'alta muntanya**
 Teresa Buchaca, Ibor Sabás, Víctor Osorio, Alexandre Miró, Quim Pou-Rovira, Federica Lucati, Jongmo Suh, Enric Ballesteros, Maria Àngels Puig, Marc Ventura
- 129 Variabilitat genètica i dispersió del tritó pirinenc (*Calotriton asper*) al Parc Nacional**
 Federica Lucati, Alba Castrillón, Alexandre Miró, Jenny Caner, Ibor Sabás, Jan Tomàs, Blanca Font, Quim Pou-Rovira, David O'Brien, Teresa Buchaca, Daniel Oro, Marc Ventura
- 141 Restauració d'esfagnes a la Font Grossa (Vall de Peguera, Espot)**
 Empar Carrillo, Eulàlia Pladevall-Izard, Gabriel Alonso, Aaron Pérez-Haase, Josep M. Ninot
- 153 Recerca paleoambiental a l'estany de la Bassa**
 Josep-Manel Rodríguez, Ramón Pérez-Obiol, Aaron Pérez-Haase, Jordi Nadal-Tersa, Marc Sánchez-Morales, Raquel Cunill-Artigas, Albert Pèlach Mañosa

Sumari

- Estudis de base per a la gestió de la flora amenaçada de les molles al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM)** 163
Nil Escolà Lamora, Gemma Domènech Carbó, Aaron Pérez-Haase
- Espècies de veró i variabilitat genètica al Parc Nacional i en altres àrees d'alta muntanya** 173
Jongmo Suh, Andreu Albo Timor, Enric Aparicio, Teresa Buchaca, Jenny Caner, Eloi Cruset, Víctor Osorio, Quim Pou-Rovira, Mariàngels Puig, Rafel Rocaspana, Ibor Sabás), Rocco Tiberti, Marc Ventura
- Seguiment de la població d'os bru a Catalunya (2020-2021): aplicació d'una nova metodologia** 187
Santiago Palazon Miñano, Ivan Afonso, Nicolàs Espinós, Joan Rodríguez, Àgata Colomer Gavarroca, Gabriel Lampreave, Jordi Guillén, Laura Puig, Xavier Garreta, Borja Bernadets, Isaac Castet
- Seguiment de les poblacions de muixirecs al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici** 199
Marc López-Roig, Jordi Serra-Cobo
- Un segle de canvis en la gestió dels recursos naturals al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici** 207
Judit Gil-Farrero
- “Diuen que quan trona els sants juguen a bitlles”: Meteorologia popular en l'àmbit del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici** 217
Jordi Abella, Miquel Bailac, Júlia Carreras
- Projecte Joc de Dames, un projecte molt normal (o no...). La història del comtat de Pallars amb visió de gènere** 223
Cristina Simó Espinosa
- Marxen els gels, arriben els humans. Les primeres ocupacions humanes al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici durant el Mesolític i Neolític** 235
Ermengol Gassiot Ballbè, Niccolò Mazzucco, Ignacio Clemente-Conte, Sara Díaz Bonilla, Laura Obea Gómez, David Garcia Casas, David Rodríguez-Antón, Guillem Salvador Baiges, Marcos Barba Pérez
- L'impacte humà a l'alta muntanya durant l'Holocè mitjà. L'anàlisi de fitòlits aplicat a l'estudi arqueoambiental d'Aigüestortes** 245
David Rodríguez Antón, Ermengol Gassiot Ballbè
- La recol·lecció i l'ús del combustible llenyós al PNAESM durant la prehistòria** 253
Laura Obea Gómez, Mireia Celma Martínez, María Martín Seijo, Ermengol Gassiot Ballbè

Factors que afecten els canvis de la temperatura de l'aigua dels estanys del Parc Nacional

Ibor Sabás¹, Alexandre Miró¹, Jaume Piera², Jordi Catalan³, Lluís Camarero¹, Teresa Buchaca¹, Marc Ventura¹

1. Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC). Accés a la Cala Sant Francesc, 14, 17300, Blanes, Espanya.

2. CSIC, Institut de Ciències del Mar (ICM), Departament d'Oceanografia Física i Tecnològica, Barcelona, Espanya.

3. CREAM CSIC, Campus UAB, Edifici C, Cerdanyola del Vallès, 08193, Espanya.

Abstract

Thermal variables and ice phenology are crucial drivers of biological processes in lakes and ponds. In the current context of climate change, determining which factors better constrain their variation within lake districts become of paramount importance for understanding species distribution and their conservation. In this study, we describe the regional and short-term interannual variability in surface water temperature and the ice phenology of high mountain lakes and ponds of the Pyrenees. Therefore, we use mixed regression models to identify key environmental factors and to infer mean and maximum summer temperature, accumulated degree-days, diel temperature ranges and three-days' oscillation, ice-on and ice-off date and ice cover duration. This study is based on 85 lake-temperature series measured from 2000 to 2019. We found that altitude was the primary explicative factor for accumulated degree-days, mean and maximum temperature and ice phenology. In contrast, lake area showed the most relevant effect on the diel temperature range and temperature oscillations, although diel temperature range was also found to decline with altitude. Furthermore, the morphology of the catchment significantly affected accumulated degree-days and maximum and mean water temperatures. Ice-on date is related to water inflow in autumn. The statistical models developed here were applied to upscale spatially the current thermic conditions across the whole set of lakes and ponds of the Pyrenees, and particularly in the National Park.

Keywords: climate change, degree-days, diel, ice phenology, ice-cover, ice-off, ice-on, lakes, mixed models, ponds, Pyrenees, water temperature

Resum

Les variables tèrmiques i la fenologia de la coberta de gel són variables fonamentals per als processos biològics i ecològics que tenen lloc en estanys i basses. En el context actual de canvi climàtic, determinar quins factors expliquen millor la seva variació en zones lacustres esdevé d'una importància cabdal per entendre la distribució de les espècies i la seva conservació. En aquest estudi, descrivim la variabilitat regional i interanual a curt termini de la temperatura superficial de l'aigua i de la fenologia del gel dels estanys i les basses d'alta muntanya del Pirineu. Per això, usem models de regressió mixtos per identificar els factors ambientals clau i inferir la temperatura màxima i mitjana, els graus-dia acumulats, el rang diari de temperatura, les oscil·lacions de temperatura en tres dies, les dates de formació i de desgel de la coberta de gel i la seva durada. Aquest estudi està basat en 85 sèries de temperatura de l'aigua dels estanys des de l'any 2000 fins a l'any 2019. Vam trobar que l'altitud era el factor més important per explicar els graus-dia acumulats, la temperatura màxima i mitjana i la fenologia del gel. En canvi, l'àrea de l'estany va ser la variable més relacionada amb el rang de temperatura diari i les oscil·lacions tèrmiques, tot i que l'altitud també va tenir una relació negativa amb el rang diari de temperatura. A més, la morfologia de la conca tenia una relació significativa amb els graus-dia acumulats, la temperatura màxima i la mitjana. El cabal d'entrada als estanys en la tardor estava relacionat amb una formació de la coberta de gel més tardana. Els models estadístics desenvolupats aquí es van emprar per projectar en l'espai les condicions tèrmiques actuals arreu del Pirineu, i en particular les del Parc Nacional.

Paraules clau: canvi climàtic, graus-dia, rang diari, fenologia del gel, coberta de gel, estanys, models mixtos, basses, Pirineu, temperatura de l'aigua

Introducció

La temperatura dels estanys i les basses és una variable fonamental, ja que afecta processos biològics tan importants com la fotosíntesi i la respiració (Allen *et al.*, 2005), el creixement dels organismes i la producció de biomassa o la mineralització (Balcells, 1956; Gudasz *et al.*, 2010). A més, afecta els processos ecològics en definir nínxols tèrmics, cosa que afecta, per tant, la distribució de les espècies (Magnuson *et al.*, 1979), i també pot afectar les cascades tròfiques (Symons & Shurin, 2016).

Per conèixer les condicions tèrmiques dels estanys, es poden emprar un seguit de variables tèrmiques com els graus-dia acumulats (ADD), que és la temperatura integrada en el temps sobre un llinar determinat, i interessa per l'efecte que pot tenir en el creixement dels organismes (Honsey *et al.*, 2018). Les temperatures màximes poden causar estrès tèrmic i fins i tot mortalitat, segons la tolerància tèrmica de les espècies (Duarte *et al.*, 2012). Variables com el rang diari de temperatura i les oscil·lacions tèrmiques són importants perquè afecten espècies de nínxols tèrmics estrets i el creixement dels organismes (Richter-Boix *et al.*, 2015).

Una característica dels estanys pirinencs és que a l'hivern formen una capa de gel que afecta la química dels estanys (Catalan, 1989), la transferència de calor i de llum, forma un hàbitat propici per a l'activitat microbiana (Felip *et al.*, 1999) i afecta la fenologia del plàncton segons la data de fusió del gel (Adrian *et al.*, 1999).

La temperatura de l'aire ha augmentat globalment des dels inicis de la Revolució Industrial al voltant d'1,1 °C. Encara pot augmentar entre 0,3 i 4,8 °C cap a finals de segle (IPCC *et al.*, 2013), malgrat que el Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC) adverteix que cal limitar les emissions per aturar l'increment de la temperatura a 1,5 °C, i així evitar l'efecte nociu de l'escalfament global (IPCC *et al.*, 2018). Aquest escalfament ha comportat un augment de les temperatures dels estanys globalment, i una reducció de les seves cobertes de gel.

El coneixement sobre les característiques tèrmiques dels estanys del Pirineu ha estat limitat al coneixement de les reconstruccions de les temperatures del

passat (Pla & Catalan, 2005; Tarrats *et al.*, 2018) Central Pyrenees i a comparacions de temperatures amb altres àrees muntanyoses d'Europa (Thompson *et al.*, 2009). No ha estat fins més recentment que hem pogut descriure de manera més detallada les característiques tèrmiques dels estanys pirinencs, la fenologia de la seva coberta de gel i els factors que les expliquen a través de models estadístics (Sabás, 2020; Sabás *et al.*, 2021). En aquest treball, pretenem donar una visió de conjunt de les característiques tèrmiques i de la durada de la coberta dels estanys i basses pirinenques, fent una pinzellada dels factors que els afecten. Acabarem centrant-nos en les característiques tèrmiques dels estanys del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici amb vistes a tenir informació d'utilitat per a la conservació de les espècies dels estanys.

Material i mètodes

Per dur a terme aquest estudi, es van col·locar termistors a un total de 85 estanys i basses pirinencs a una fondària d'1,5 metres que prenen dades de temperatura cada hora i mitja. Han proporcionat una sèrie de dades de 2000, 2001, 2002 i 2004 a l'Estanh Redon, i de 2009 a 2019 per al conjunt dels estanys. A partir de les sèries de temperatura, vam calcular un conjunt de variables tèrmiques en els períodes lliures de gel: la temperatura mitjana, la temperatura màxima, la mitjana del rang diari de temperatura, la mitjana en la diferència de les màximes en un període de tres dies i els graus-dia acumulats durant el període lliure de gel per sobre de dos llinars diferents, 4 °C i 7,64 °C, el primer representatiu de la màxima densitat de l'aigua i el segon del mínim per al desenvolupament d'organismes ectotèrmics (Balcells, 1956). A més, les sèries de temperatura ens permetien conèixer la data en què es gelava i desglaçava la coberta de gel d'estanys i basses i definir la durada de la coberta de gel.

Per conèixer els factors que afecten les variables tèrmiques i la durada de la coberta de gel, vam elaborar models mixtos. Per fer-los, vam emprar el llenguatge R (Team, 2019) i el paquet "nlme" (Pinheiro *et al.*, 2013). Entre les variables a considerar en els models, vam incloure la temperatura de l'aire estacional de cada any usant la sèrie de temperatures de l'estació meteorològica de l'Estanh Redon, característiques dels estanys com l'altitud, l'àrea de l'estany,

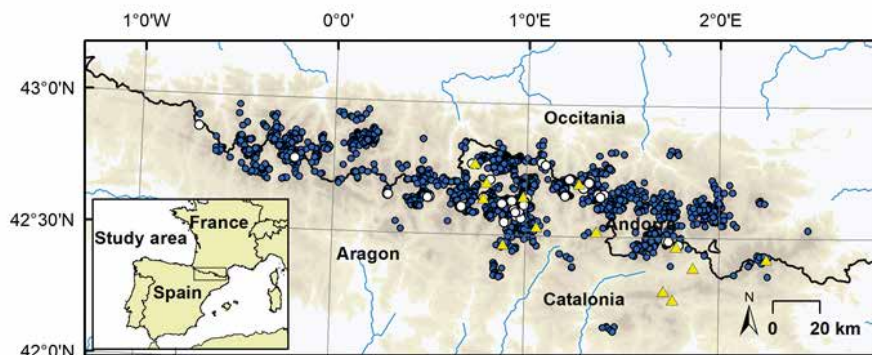


Figura 1. Mapa dels estanys del Pirineu estudiats. En blanc, estan dibuixats els estanys i les basses dels quals tenim sèries de temperatura i dades de la fenologia del gel ($n=85$). En blau, hi ha els estanys i les basses que tenim cartografiats ($n=2267$), i en groc les estacions meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya.

les coordenades geogràfiques, variables de la morfologia de la conca i la relació entre la conca directa i la total, és a dir, la que aboca directament en els estanys i la que inclou la dels estanys superiors, respectivament. També la relació entre conca total i àrea de l'estany, que ens dona una idea del temps de renovació de l'aigua. A més, també vam incloure la radiació incident en la conca, calculada com a hores de sol directe. En el cas dels models de la coberta de gel, vam afegir variables meteorològiques com la velocitat del vent i la precipitació caiguda a les conques dels estanys, que podem considerar una aproximació al cabal d'entrada. Les variables meteorològiques, aquí les vam obtenir de models de re-anàlisi, que ajusten models físics de l'atmosfera amb observacions meteorològiques, en aquest cas, de l'ERA-5 (Muñoz Sabater, 2019), que tenen una resolució de $0,1^\circ$. Aquestes variables es van estandaritzar prèviament restant la mitjana i dividint per la desviació estàndard. Posteriorment, es van seleccionar les variables significatives pas a pas (*stepwise selection*). Es van comparar els models resultants amb models amb una part aleatòria que incloïa l'any, o bé el tipus de massa d'aigua (estany o bassa), o les dues variables, i es va escollir el que tenia un AIC més baix. Per calcular l'ajust dels models, vam calcular R^2 condicional i R^2 marginal, que donen la variabilitat de la part fixa i de tot el model respectivament, amb el Package "MuMIn" (Nakagawa & Schielzeth, 2013). A partir dels coeficients dels models mixtos, vam poder projectar les variables tèrmiques i la fenologia de la coberta de gel al llarg del Pirineu i el Parc Nacional per al període en què tenim mesuraments de temperatura, entre 2006 i 2015 en el cas de la temperatura i entre 2000 i 2020 per a la coberta de gel.

A més, vam plantejar uns models d'equacions estructurals per relacionar la fenologia del gel amb la temperatura de l'estiu i com els afecten la temperatura de l'aire, l'altitud i l'àrea de l'estany, en els quals vam retirar les relacions no significatives ($p>0,05$).

Resultats

Característiques tèrmiques dels estanys del Pirineu

Les sèries de temperatura dels estanys entre 2000 i 2014 ens mostren un rang ampli de temperatures en els períodes lliures de gel als estanys pirinencs (figura 2). Les temperatures ronden els $5,9^\circ\text{C}$ i els $15,3^\circ\text{C}$, amb una mitjana d' 11°C . Pel que fa a les temperatures màximes, la màxima registrada va ser de $27,3^\circ\text{C}$ i la màxima més baixa de $8,4^\circ\text{C}$. La mitjana de variació diària de la temperatura va ser d' $1,5^\circ\text{C}$ i va variar entre $0,6^\circ\text{C}$ i $4,6^\circ\text{C}$ segons els estanys, les basses i els anys. L'oscil·lació en les temperatures màximes és, de mitjana, similar al rang diari de temperatura d' $1,1^\circ\text{C}$. Quant als graus-dia acumulats, hi havia estanys amb valors molt baixos, de $18,1^\circ\text{C}$ dia i 41°C dia per sobre del llindar de $7,6^\circ\text{C}$ i 4°C , respectivament. Les màximes podien arribar a ser elevades, de 2.127°C dia per sobre de 4°C i 2.932°C per sobre de $7,6^\circ\text{C}$. Els valors mitjans van ser de 697°C dia i 1.162°C dia, respectivament. L'estany amb temperatures més fredes a l'estiu de què tenim dades és l'Estanyet de Sotllo, i, dins del Parc, el del Tuc de Colomers l'any 2013. L'estany que va tenir unes temperatures més càlides a l'estiu va ser l'Inferior de Gargolhes, també al Circ de Colomers, l'any 2019.

Totes les 85 basses i estanys mostrejats es van gelar superficialment durant el període d'estudi.

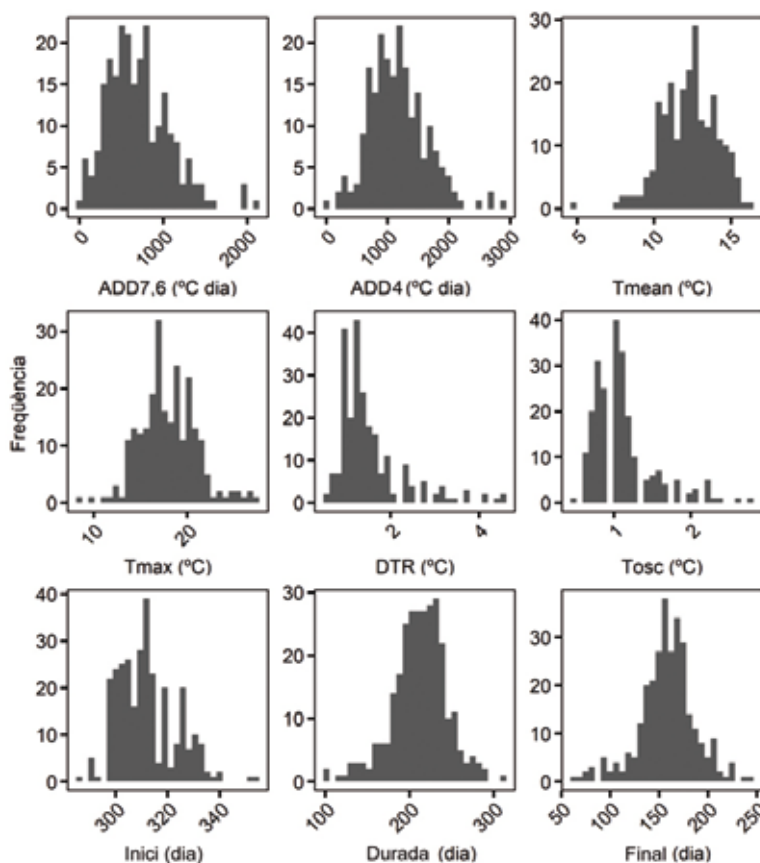


Figura 2. Freqüències de les variables tèrmiques i de la fenologia del gel dels 85 estanys mostrejats en el període de 2000 a 2019: ADD7,6 i ADD4 són els graus-dies acumulats (°C dia) per sobre de 7,6 i 4 °C, Tmean és la temperatura mitjana (°C), Tmax és la temperatura màxima, DTR és el rang diari de temperatura (°C) i Tosc (°C) és l'oscil·lació de temperatura en tres dies, Inici és la data de formació de la coberta de gel, Durada és la durada de la coberta i Final és la data de fusió de la coberta de gel.

La formació de la coberta es va situar entre el 12 d'octubre i el 19 de desembre, i de mitjana es van glaçar el 6 de novembre. La fusió de la coberta de gel es va produir entre l'1 de març i el 29 d'agost. De mitjana, la coberta de gel es va fondre el 6 de juny. Per tant, la durada de la coberta de gel va variar entre 4 i 11 mesos, i de mitjana va durar 8 mesos (figura 2). L'any en què es van formar abans les cobertes de gel va ser 2011, en primer lloc, a l'Estanyet de la Pica, i, dins del Parc Nacional, a l'Estany del Tuc de Colomers. L'any en què es van formar més tard les cobertes de gel va ser 2012, i l'estany més tardà va ser el del Port d'Aulà. Quant al desgel, els anys en què es va produir més tard van ser 2013 i 2014 a l'Estany del Tuc de Colomers. La fusió més primerenca va produir-se a la Bassa d'Arres l'any 2009 i, dins del Parc Nacional, a l'Estany Llebre, l'any 2010.

Els models de la temperatura i la fenologia del gel dels estanys

Els models mixtos de les variables tèrmiques i de la durada de la coberta de gel van mostrar bons ajustaments (figura 3b, figura 4b; 0,52-0,84). Els models amb un ajustament més baix van ser els de la formació de la coberta de gel (Ice-on), el del rang diari de temperatura (DTR) i l'oscil·lació tèrmica en tres dies (Tosc). Vam trobar variabilitat aleatòria associada a l'any en els graus-dia acumulats, temperatura màxima, oscil·lació tèrmica i fenologia del gel. Quant al tipus de massa d'aigua, hi va haver un efecte en els graus-dia acumulats i la temperatura mitjana.

La variable que va explicar una major variabilitat, tant en les variables tèrmiques com en la fenologia del gel, va ser l'altitud (figura 3a; figura 4a), que estava relacionada negativament amb les

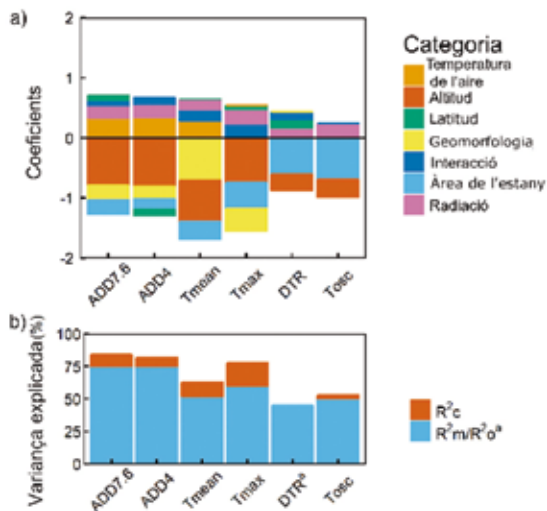


Figura 3. Models mixtos de les variables tèrmiques (vegeu la figura 2 per a la descripció de les variables). a) Coeficients de les variables fixes dels models. b) Ajustament dels models R^2m : R^2 marginal, representa la variabilitat de la part fixa. R^2c : R^2 condicional, inclou la variabilitat de la part fixa i l'aleatòria.

variables tèrmiques i la data de fusió dels estanys, mentre que, a major altitud, més llarga era la durada de la coberta de gel. En el cas del rang diari de temperatura i de l'oscil·lació de temperatura en tres dies, la variable amb major efecte va ser l'àrea de l'estany.

L'àrea de l'estany estava relacionada amb una menor temperatura dels estanys i major estabilitat tèrmica, amb menor rang diari de temperatura i una menor oscil·lació, i a una formació de la coberta de gel més tardana (figura 3a; figura 4a).

La temperatura de l'aire va tenir una relació positiva amb les variables tèrmiques i amb la fusió de la coberta de gel i la seva durada, però no vam trobar una relació amb la data de formació de la coberta de gel, que tenia una predictibilitat més baixa.

La geomorfologia de la conca i la radiació també van tenir un paper important per explicar les variables tèrmiques. Els estanys amb conques grans, en comparació amb la seva mida, eren més freds. A més, els estanys sense d'altres més amunt eren més freds que els que tenien conques amb estanys superiors, on l'aigua es pot escalfar. La radiació, a més de tenir una relació positiva amb la temperatura, també està relacionada amb una fusió més primerenca i una menor durada de les cobertes de gel.

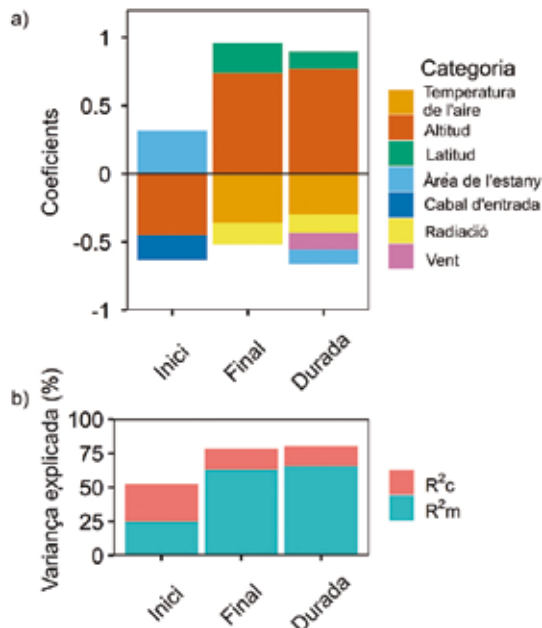


Figura 4. Models mixtos de la fenologia del gel on Inici és la data de formació de la coberta de gel, Final és la data de desgel i Durada és la durada de la coberta de gel. a) Coeficients de les variables fixes dels models. b) Ajustament dels models R^2m : R^2 marginal, representa la variabilitat de la part fixa. R^2c : R^2 condicional, inclou la variabilitat de la part fixa i l'aleatòria.

En el cas dels models de la coberta de gel, en què també hem testat altres variables meteorològiques, va resultar que la precipitació caiguda a les conques dels estanys estava relacionada amb un desglaç més primerenc de la coberta de gel dels estanys. D'altra banda, l'entrada d'aigua de les conques produïa una formació més tardana de les cobertes de gel. També vam trobar una relació entre la velocitat del vent de primavera amb una menor durada de la coberta de gel.

El model d'equacions estructurals va mostrar que els estanys que es fonien més tard acumulen més graus-dia en el període lliure de gel (-0,34) i formaven la coberta de gel més tard (0,31). No vam trobar relació entre la formació de la coberta i la seva fosa. L'altitud estava relacionada positivament amb la fosa de la coberta de gel (0,67) i negativament amb la seva formació (-0,39) i -0,30). Les temperatures de l'aire van estar positivament relacionades entre hivern i primavera (0,31), i primavera i estiu (0,39). Les temperatures de tardor estaven relacionades amb una formació de la coberta de gel més tardana (0,26), mentre que la temperatura de l'aire a la primavera estava

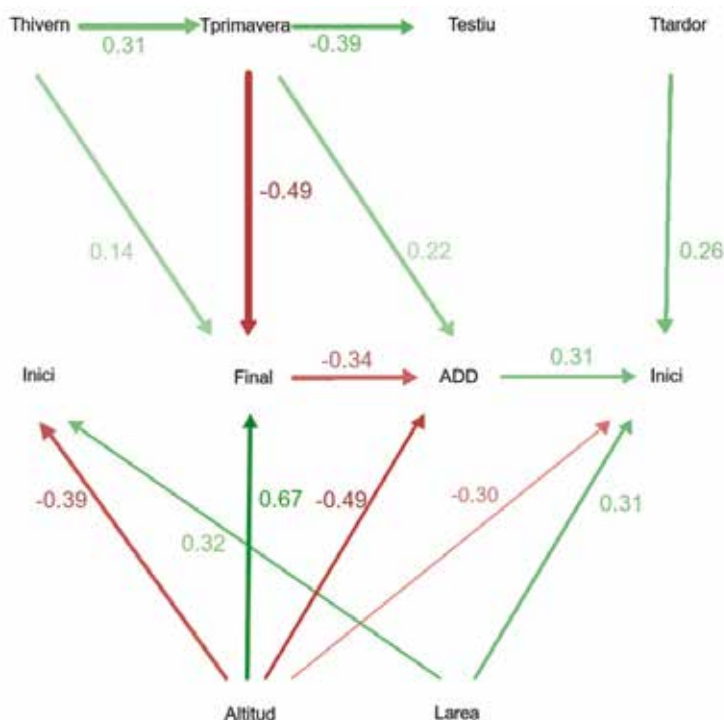


Figura 5. Model d'equacions estructural, en què s'estableixen les relacions entre la variabilitat interanual en la temperatura estacional de l'aire; hivern, primavera, estiu i tardor representats com a Thivern, Tprimavera, Testiu i Ttardor, respectivament, l'altitud i l'àrea de l'estany (Larea), amb les variables de fenologia de la coberta de gel, en què Inici és la data de formació de la coberta, Final és la fosa de la coberta i Durada n'és la durada. ADD són els graus-dia acumulats en el període lliure de gel.

relacionada amb una fosa de la coberta de gel més primerenca (-0,49) i amb més graus-dia acumulats.

Projeccions de la temperatura i la fenologia del gel dels estanys

A partir dels models mixtos, podem fer projeccions actuals en el conjunt dels estanys pirinencs ($n=2267$) entre els anys 2006 i 2015. En aquest període, les temperatures mitjanes de l'aigua van ser d'11,4 °C, i la mitjana de les màximes va ser de 19,2 °C. Els graus-dia acumulats van ser 820 °C dia i 1.315 °C dia, per sobre dels llindars de 7,6 °C i 4 °C. El rang diari de temperatura i l'oscil·lació en la temperatura de tres dies va ser 2,1 °C i 1,5 °C, respectivament.

Quant a la fenologia de la durada de la coberta de gel, els estanys de mitjana van formar la coberta de gel el 6 de novembre i es van desglaiçar el 6 de juliol. La coberta de gel va durar 212 dies de mitjana.

Al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, podem projectar les dades de temperatura i coberta de gel dels estanys. La

temperatura mitjana més baixa, la vam inferir l'any 2009 a una basseta al nord de Sarradé i va ser de 6,63 °C. Pel que fa a la temperatura mitjana màxima, la vam inferir a una de les estanyoles de Gerber l'any 2006 i va ser de 16,7 °C. Quant a la formació de la coberta de gel, la més tardana la vam inferir a la presa de Cavallers l'any 2013, l'1 de desembre. Les dates de formació de la coberta de gel més primerenques les vam trobar en basses de 0,02 ha o menors i per sobre de 2.250 m d'altitud. L'any en què es van formar abans va ser 2004. La data de fusió de la coberta més tardana va inferir-se per l'Estany Gelat de Comalofoorno el 16 d'agost de 2009. La data de fusió més primerenca la vam inferir pel Llebrete el 21 de març de 2018. Cal remarcar que les projeccions de temperatura i de la fenologia del gel, tot i tenir bons ajustaments, tenen un error associat, que en el cas de la formació de la coberta de gel és de ± 8 dies, en el cas del desgel de la coberta és de ± 14 dies, i per a la durada de la coberta és de ± 19 . Per tant, les dades que es projecten són aproximacions per donar-nos una idea de com funcionen aquests sistemes.

Discussió

L'altitud dels estanys és la variable més relacionada amb les variables tèrmiques i la fenologia dels estanys, de tal manera que la temperatura dels estanys decreix en altitud, d'igual manera que decau la temperatura de l'aire a causa del descens de la pressió atmosfèrica, en el que s'anomena "gradient adiabàtic". Es tracta d'un fet que s'ha descrit en altres regions d'alta muntanya com en el cas de la temperatura als Alps (Livingstone *et al.*, 1999), el cas de la temperatura màxima al Canadà (Sharma *et al.*, 2008) good predictive models of annual maximum near-surface lake water temperature across large spatial scales are needed, particularly given concerns regarding climate change. Comparisons of suitable modelling approaches are required to determine their relative merit and suitability for providing good predictions of current conditions. We developed models predicting annual maximum near-surface lake water temperatures for lakes across Canada using four statistical approaches: multiple regression, regression tree, artificial neural networks and Bayesian multiple regression. 2. Annual maximum near-surface (from 0 to 2 m i recentment al Pirineu (Sabás *et al.*, 2021), on s'inclouen també els graus-dia acumulats. Pel que fa a la fenologia del gel, vam trobar un efecte menor de l'altitud en la formació de la coberta de gel que en el desgel i en la durada de la coberta de gel.

En el cas del rang diari de temperatura mitjana i de l'oscil·lació de temperatura en tres dies, la variable de més rellevància va ser l'àrea de l'estany, com es va mostrar en altres estudis (Woolway *et al.*, 2016). L'àrea de l'estany està relacionada amb una major fondària de mescla, cosa que fa que els estanys més grans tinguin més inèrcia tèrmica i, per tant, menors oscil·lacions de temperatura. En el cas d'estanys d'alta muntanya, també veiem com l'altitud té una relació negativa amb el rang diari de temperatura. L'àrea de l'estany, a més, té un efecte molt important sobre la formació de la coberta de gel.

Hem trobat que hi ha una relació entre la grandària de la conca i les variables tèrmiques dels estanys, i que els cabals d'entrada als estanys tenen relació amb la formació de la coberta de gel. Mentre que aquestes variables són tingudes en compte en

alguns models matemàtics (Winslow *et al.*, 2017), en models estadístics es troben més rarament. Aquí mostrem com poden ser introduïdes en aquest tipus de models.

En aquest treball, hem tingut en compte com afecta la topografia a la radiació incident a les conques, que en àrees de muntanya com el Pirineu hem vist que és rellevant. En altres estudis, més aviat s'ha tingut en compte la variabilitat temporal en la radiació incident (Kettle *et al.*, 2004). Integrar, doncs, tant la variació de la radiació en el temps com en l'espai seria d'interès.

La variabilitat temporal en la temperatura de l'aire va estar relacionada amb els graus-dia acumulats i la temperatura mitjana i màxima, mentre que no vam trobar una relació amb el rang diari de temperatura i l'oscil·lació tèrmica. També vam trobar que la temperatura de l'aire estava relacionada amb una fusió més primerenca de la coberta de gel i en una durada més curta d'aquesta coberta, mentre que no vam trobar una relació amb la formació de la coberta de gel. En el cas de la fenologia del gel, també vam trobar que els cabals d'entrada als estanys durant la tardor retarden la formació de la coberta de gel. Si bé l'efecte de la precipitació i la neu en la fusió de la coberta de gel és ben conegut (Kirillin & Shatwell, 2016) l'efecte de l'entrada dels cabals en la formació del gel no havia estat explorat.

Vam trobar una interacció negativa entre l'altitud i la temperatura de l'aire que afecta els graus-dia acumulats, de tal manera que els estanys i les basses més baixes s'escalfarien més en les primaveres càlides, possiblement a causa d'una fusió més primerenca de la coberta de gel, mentre que els estanys superiors estarien aïllats per la coberta de gel (Sporka *et al.*, 2006). Contràriament, la interacció entre altitud i temperatura màxima va ser positiva, cosa que fa que les temperatures màximes augmentin més en les primaveres càlides en altitud. Això podria estar relacionat amb el fet que les àrees d'alta muntanya són de les que s'estan escalfant més ràpidament (Pepin *et al.*, 2015). També vam trobar una interacció negativa entre altitud i àrea de l'estany o bassa, fet que afecta els graus-dia acumulats. En aquest sentit, les basses baixes es poden escalfar

ràpidament un cop s'han desglaçat, mentre que les superiors es refredarien ràpidament a la tardor. Altres estudis han trobat diferents tendències en l'escalfament de basses i estanys (Winslow *et al.*, 2015), ja que els estanys més petits estan més arrecerats i menys afectats pel vent, i, per tant, la capa de mescla és menys fonda i més càlida. Les diferències en la transparència d'aquests hàbitats també afecten la intensitat de l'estratificació i la temperatura superficial d'estanys i basses. Conèixer aquestes diferències és rellevant, ja que es troben diferències en les comunitats entre basses i estanys, per exemple, en el zooplàncton (Buñay, 2017).

Els models estadístics mostrats aquí ens permeten projectar les variables tèrmiques modelades, i la fenologia de la coberta de gel dels estanys pirinencs per a l'actualitat, particularment. En el cas dels estanys del Parc Natural d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, aquestes projeccions poden ser interessants per tenir informació de cara a la seva conservació, atès que la fenologia de la coberta de gel influeix en la fenologia dels estanys i els afecta quan es produeix l'estratificació dels estanys i els pics de productors primaris, de zooplàncton (Adrian *et al.*, 1999; Caceres & Schwalbach, 2001). La temperatura dels estanys pot fer que el zooplàncton dels estanys sigui de menor mida, i encara més si hi ha peixos zooplanctívors (Redmond *et al.*, 2018). Això pot influir, de retruc, en l'abundància dels productors primaris (Brooks & Dodson, 1965). Els graus-dia acumulats poden servir per conèixer el creixement dels organismes, com ara peixos o amfibis (Hansen *et al.*, 2017), mentre que les temperatures màximes poden causar estrès a algunes espècies (Duarte *et al.*, 2012). En definitiva, la temperatura defineix el nínxol tèrmic de les espècies segons les seves toleràncies, i influeix en la composició de les

comunitats (Jacobsen *et al.*, 1997). En el context actual de canvi climàtic, és fonamental conèixer la variabilitat tèrmica dels estanys i posar-la en relació amb els organismes que hi habiten per poder conèixer com canvien les temperatures en els anys que vindran i com poden influir en les comunitats dels estanys del Pirineu i del Parc Nacional d'Aigüestortes; en definitiva, per tenir informació útil per a la seva gestió.

Agraïments

Volem donar les gràcies a tota la gent que ha participat en els mostrejos del Life+ LimnoPirineus durant aquests anys, tant en la preparació prèvia com en el treball de camp. A Montserrat Soler, Jenny Caner, Enric Ballesteros, Danilo Buñay, Esperança Gacia, Mariàngels Puig, Núria Cruset, Berta Grau, Berta Pérez, Sílvia Pérez, Sara Sopena, Laia Busquets, Eloi Cruset, Andreu Porcar, Nacho Godino, Jaume Piera, Carlos Rodero, Rüdiger Ortiz, Aitziber Zufiaurre, Matteo Rolla, Federica Luccatti i Jongmo Suh, a més de la resta del personal de Sorelló, Forestal Catalana, PNAESM i PNAP. A Guillermo Carrasco i Joan Garriga per l'ajuda en la programació. Al Servei Meteorològic de Catalunya per proveir dades de temperatura de l'aire, i a l'Institut Cartogràfic Geològic de Catalunya, a l'*Instituto Geográfico Nacional* i a l'*Institut Géographique National* per les dades geogràfiques. Aquest estudi ha estat finançat pels projectes LIFE+ LIMNOPIRINEUS (LIFE13 NAT/ES/001210), el projecte LIFE RESQUE ALPYR (LIFE20 NAT/ES/00347) i els projectes Biodiversa FISHME (BiodivRestor-280) i FUNBIO (RTI2018-096217-B-I00), finançats per MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 i BIOOCULT (2413/2017), finançat per MTERD/OAPN i, segons el cas, per "ERDF A way of making Europe" o per la Unió Europea, i gràcies a la beca FI del Fons Social Europeu i l'Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR).

Bibliografia

- ADRIAN, R., WALZ, N., HINTZE, T., HOEG, S., & RUSCHE, R. (1999). Effects of ice duration on plankton succession during spring in a shallow polymictic lake. *Freshwater Biology*, 41(3), 621–632. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00411.x>
- ALLEN, A. P., GILLOOLY, J. F., & BROWN, J. H. (2005). Linking the global carbon cycle to individual metabolism. *Functional Ecology*, 19(2), 202–213. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2005.00952.x>
- BALCELLS, E. (1956). Estudio morfológico, biológico y ecológico de *Rana temporaria*, L. *Boletín Del Instituto de Biología Aplicada*, 24, 81–103.
- BROOKS, J. L., & DODSON, S. I. (1965). Predation body size and composition of plankton. *Science*, 150(3692), 28–35. <https://doi.org/10.1126/science.150.3692.28>
- BUÑAY, D. (2017). *Interacciones tróficas y distribuciones de los crustáceos planctónicos de los Pirineos: Vol. PhD*. Universitat de Barcelona.
- Cáceres, C. E., & Schwalbach, M. S. (2001). How well do laboratory experiments explain field patterns of zooplankton emergence? *Freshwater Biology*, 46(9), 1179–1189. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00737.x>
- CATALAN, J. (1989). The winter cover of a high-mountain mediterranean lake (Estany-Redó, Pyrenees). *Water Resources Research*, 25(3), 519–527. <https://doi.org/10.1029/WR025i003p00519>
- DUARTE, H., TEJEDO, M., KATZENBERGER, M., MARANGONI, F., BALDO, D., BELTRAN, J. F., MARTI, D. A., RICHTER-BOIX, A., & GONZALEZ-VOYER, A. (2012). Can amphibians take the heat? Vulnerability to climate warming in subtropical and temperate larval amphibian communities. *Global Change Biology*, 18(2), 412–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02518.x>
- FELIP, M., CAMARERO, L., & CATALAN, J. (1999). Temporal changes of microbial assemblages in the ice and snow cover of a high mountain lake. *Limnology and Oceanography*, 44(4), 973–987. <https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.4.0973>
- GUDASZ, C., BASTVIKEN, D., STEGER, K., PREMKE, K., SOBEK, S., & TRANVIK, L. J. (2010). Temperature-controlled organic carbon mineralization in lake sediments. *Nature*, 466(7305), 478–481. <https://doi.org/10.1038/nature09186>
- HANSEN, G. J. A., READ, J. S., HANSEN, J. F., & WINSLOW, L. A. (2017). Projected shifts in fish species dominance in Wisconsin lakes under climate change. *Global Change Biology*, 23(4), 1463–1476. <https://doi.org/10.1111/gcb.13462>
- HONSEY, A. E., VENTURELLI, P. A., & LESTER, N. P. (2018). Bioenergetic and limnological foundations for using degree-days derived from air temperatures to describe fish growth. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 76(4), 657–669. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2018-0051>
- IPCC, MASSON-DELMOTTE, V., ZHAI, P., PÖRTNER, H. O., ROBERTS, D., SKEA, J., SHUKLA, P. R., PIRANI, A., MOUFOUMA-OKIA, PÉAN, C., PIDCOCK, R., CONNORS, S., MATTHEWS, J. B. R., CHEN, Y., ZHOU, X., GOMIS, M. I., LONNOY, E., MAYCOCK, TIGNOR, M., & WATERFIEL, T. (2018). *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.* World Meteorological Organization.
- IPCC, STOCKER, T. F., QIN, D., PLATTNER, G. K., TIGNOR, M., ALLEN, S. K., BOSCHUNG, J., NAUELS, A., XIA, Y., BEX, V., & MIDGLEY, P. M. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- JACOBSEN, D., SCHULTZ, R., & ENCALADA, A. (1997). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and

- latitude. *Freshwater Biology*, 38(2), 247–261. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00210.x>
- KETTLE, H., THOMPSON, R., ANDERSON, N. J., & LIVINGSTONE, D. M. (2004). Empirical modeling of summer lake surface temperatures in southwest Greenland. *Limnology and Oceanography*, 49(1), 271–282. <https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.1.0271>
- KIRILLIN, G., & SHATWELL, T. (2016). Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 161, pp. 179–190). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.008>
- LIVINGSTONE, D. M., LOTTER, A. F., & WALKER, I. R. (1999). The decrease in summer surface water temperature with altitude in Swiss Alpine lakes: a comparison with air temperature lapse rates. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 31, 341–352. <https://doi.org/10.2307/1552583>
- MAGNUSON, J. J., CROWDER, L. B., & MEDVICK, P. A. (1979). Temperature as an ecological resource. *American Zoologist*, 19(1), 331–343.
- MUÑOZ SABATER, J. (2019). *ERA5-Land hourly data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*. (Accessed on 25-02-2021. <https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac>
- NAKAGAWA, S., & SCHIELZETH, H. (2013). A general and simple method for obtaining R² from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(2), 133–142. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x>
- PEPIN, N., BRADLEY, R. S., DIAZ, H. F., BARAER, M., CACERES, E. B., FORSYTHE, N., FOWLER, H., GREENWOOD, G., HASHMI, M. Z., LIU, X. D., MILLER, J. R., NING, L., OHMURA, A., PALAZZI, E., RANGWALA, I., SCHOENER, W., SEVERSKIY, I., SHAHGEDANOVA, M., WANG, M. B., ... MT RES INITIATIVE, E. D. W. W. G. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change*, 5(5), 424–430. <https://doi.org/10.1038/nclimate2563>
- PINHEIRO, J., DEBROY, S., SARKAR, D., & TEAM, R. C. (2013). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. *R Package Version 3.1-108*.
- PLA, S., & CATALAN, J. (2005). Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene. *Climate Dynamics*, 24(2–3), 263–278. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0482-1>
- REDMOND, L. E., LOEWEN, C. J. G., & VINEBROOKE, R. D. (2018). A functional approach to zooplankton communities in mountain lakes stocked with non-native sportfish under a changing climate. *Water Resources Research*, 54(3), 2362–2375. <https://doi.org/10.1002/2017wr021956>
- RICHTER-BOIX, A., KATZENBERGER, M., DUARTE, H., QUINTELA, M., TEJEDO, M., & LAURILA, A. (2015). Local divergence of thermal reaction norms among amphibian populations is affected by pond temperature variation. *Evolution*, 69(8), 2210–2226. <https://doi.org/10.1111/evo.12711>
- SABÁS, I. (2020). *Temperature variability, predation pressure and zooplankton composition in Pyrenean high mountain lake*. University of Barcelona.
- SABÁS, I., MIRÓ, A., PIERA, J., CATALAN, J., CAMARERO, L., BUCHACA, T., & VENTURA, M. (2021). Factors of surface thermal variation in high-mountain lakes of the Pyrenees. *PLOS ONE*, 16(8), e0254702. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0254702>
- SHARMA, S., WALKER, S. C., & JACKSON, D. A. (2008). Empirical modelling of lake water-temperature relationships: a comparison of approaches. *Freshwater Biology*, 53(5), 897–911. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.01943.x>

- SPORKA, F., LIVINGSTONE, D. M., STUHLIK, E., TUREK, J., & GALAS, J. (2006). Water temperatures and ice cover in lakes of the Tatra Mountains. *Biologia*, 61, 77–90. <https://doi.org/10.2478/s11756-006-0121-x>
- SYMONS, C. C., & SHURIN, J. B. (2016). Climate constrains lake community and ecosystem responses to introduced predators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1832), 20160825. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0825>
- TARRATS, P., HEIRI, O., VALERO-GARCÉS, B., CAÑEDO-ARGÜELLES, M., PRAT, N., RIERADEVALL, M., & GONZALEZ-SAMPERIZ, P. (2018). Chironomid-inferred Holocene temperature reconstruction in Basa de la Mora Lake (Central Pyrenees). *Holocene*, 28(11), 1685–1696. <https://doi.org/10.1177/0959683618788662>
- TEAM, R. C. (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- THOMPSON, R., VENTURA, M., & CAMARERO, L. (2009). On the climate and weather of mountain and sub-arctic lakes in Europe and their susceptibility to future climate change. *Freshwater Biology*, 54(12), 2433–2451. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02236.x>
- WINSLOW, L. A., HANSEN, G. J. A., READ, J. S., & NOTARO, M. (2017). Large-scale modeled contemporary and future water temperature estimates for 10774 Midwestern US Lakes. *Scientific Data*, 4. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.53>
- WINSLOW, L. A., READ, J. S., HANSEN, G. J. A., & HANSON, P. C. (2015). Small lakes show muted climate change signal in deepwater temperatures. *Geophysical Research Letters*, 42(2), 355–361. <https://doi.org/10.1002/2014gl062325>
- WOOLWAY, R. I., JONES, I. D., MABERLY, S. C., FRENCH, J. R., LIVINGSTONE, D. M., MONTEITH, D. T., SIMPSON, G. L., THACKERAY, S. J., ANDERSEN, M. R., BATTARBEE, R. W., DEGASPERI, C. L., EVANS, C. D., DE EYTO, E., FEUCHTMAYR, H., HAMILTON, D. P., KERNAN, M., KROKOWSKI, J., RIMMER, A., ROSE, K. C., ... WEYHENMEYER, G. A. (2016). Diel Surface Temperature Range Scales with Lake Size. *Plos One*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152466>

Investigac
Parc Nacio
igüestorte
stany de
nt Maurici



La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

**XII Jornades sobre Recerca
al Parc Nacional d'Aigüestortes
i Estany de Sant Maurici**

Espot (Pallars Sobirà), 13, 14 i 15 d'octubre de 2021

