



16. Los lagos de alta montaña como sensores del cambio climático

Marc Ventura

Centro de Estudios Avanzados de Blanes, CSIC

Los lagos de alta montaña como sensores del cambio climático

La situación particular de los lagos de alta montaña hace que los organismos que habitan en ellos estén adaptados a unas condiciones que tradicionalmente se consideran extremas para la vida. La mayoría de estos lagos cuentan con un agua muy poco mineralizada y con escasísimos nutrientes debido a que se encuentran sobre rocas graníticas y en los suelos poco desarrollados de sus cuencas hidrológicas. Como consecuencia, los organismos padecen las dificultades asociadas a vivir en condiciones de dilución extrema. Otro factor con consecuencias múltiples es la altitud. Al hallarse en una atmósfera más transparente, la radiación y, en especial, la fracción ultravioleta (UV-B) aumentan, de tal manera que los organismos quedan sujetos a radiaciones nocivas durante el período sin heladas. Además, la temperatura disminuye progresivamente con la altitud y, por tanto, la formación y la duración de la cubierta de hielo y de nieve varía linealmente con la altitud (figura 1). Por último, la altitud es también sinónimo de localización remota y limita la accesibilidad de los organismos que colonizan estos lagos. A causa de las dimensiones relativamente pequeñas de los lagos de alta montaña, la importancia de la cuenca es fundamental en la entrada de nutrientes y materia orgánica y, en general, en la dinámica de estos ecosistemas. Las cuencas de los lagos de alta montaña son relativamente pequeñas en comparación con los lagos de las zonas bajas y, como resultado, las entradas atmosféricas también tienen una gran influencia en las aguas que se drenan y en las características del agua embalsada. Así pues, si combinamos la sensibilidad de los ecosistemas lacustres de alta montaña a fuerzas externas con su emplazamiento remoto, alejado de las áreas con una fuerte actividad antrópica, descubrimos que los ecosistemas lacustres de alta montaña constituyen unos sensores excelentes y unos buenos registradores de los cambios ambientales pasados y presentes (Catalan *et al.* 2006).

Figura 1. (a) Duración de la cubierta de hielo en función de la altitud en los lagos del Parque Nacional de Aigüestortes y Lago de San Mauricio; y (b) sensibilidad de la duración de la cubierta de hielo en función de la altitud y aumento o disminución de la temperatura (simulación extraída de Thompson *et al.*, 2005).

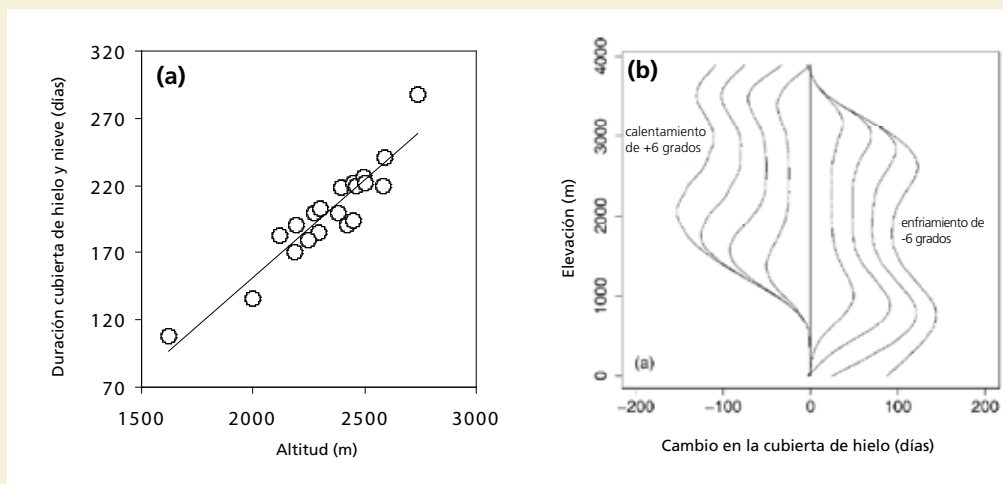
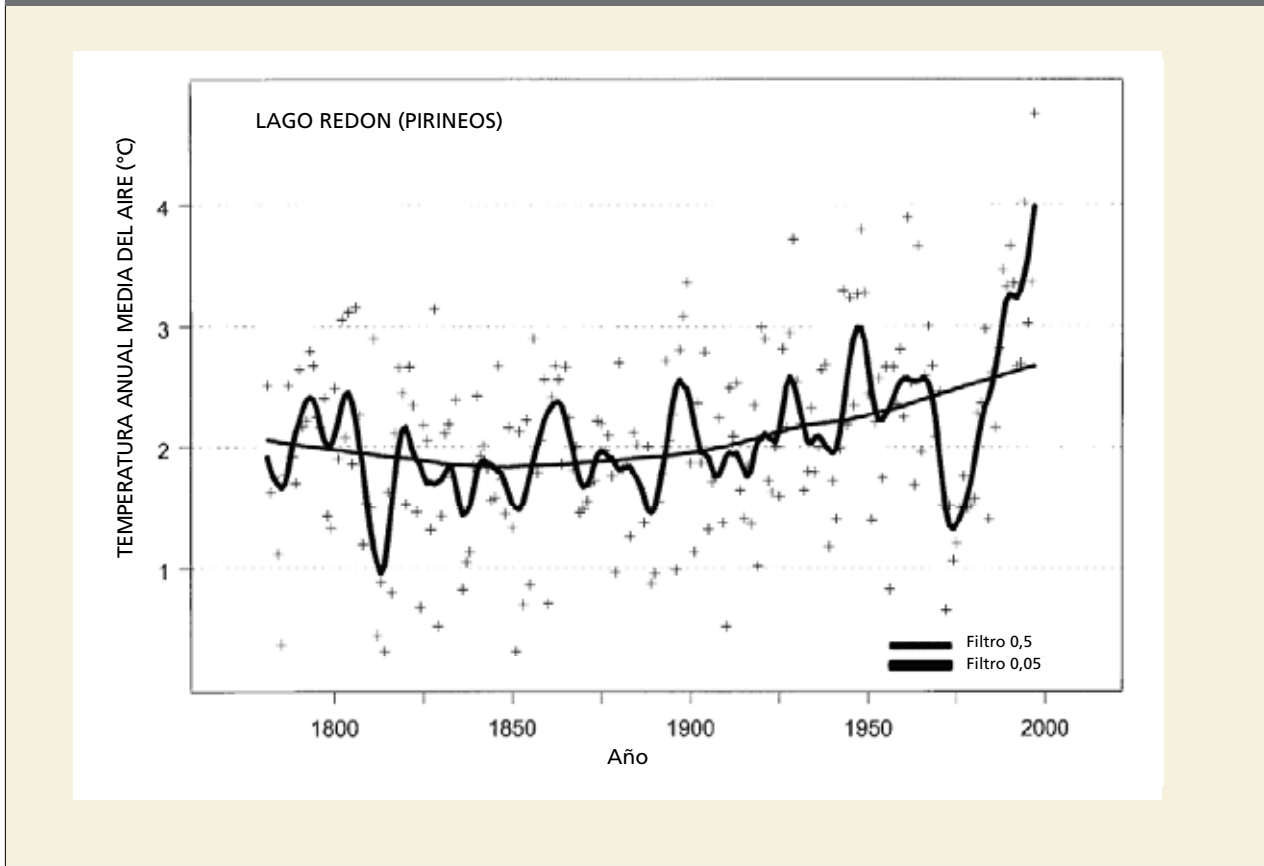


Figura 2. Temperatura media anual en el lago Redon (Val d'Aran) a lo largo de los dos últimos siglos (Catalan *et al.*, 2002).

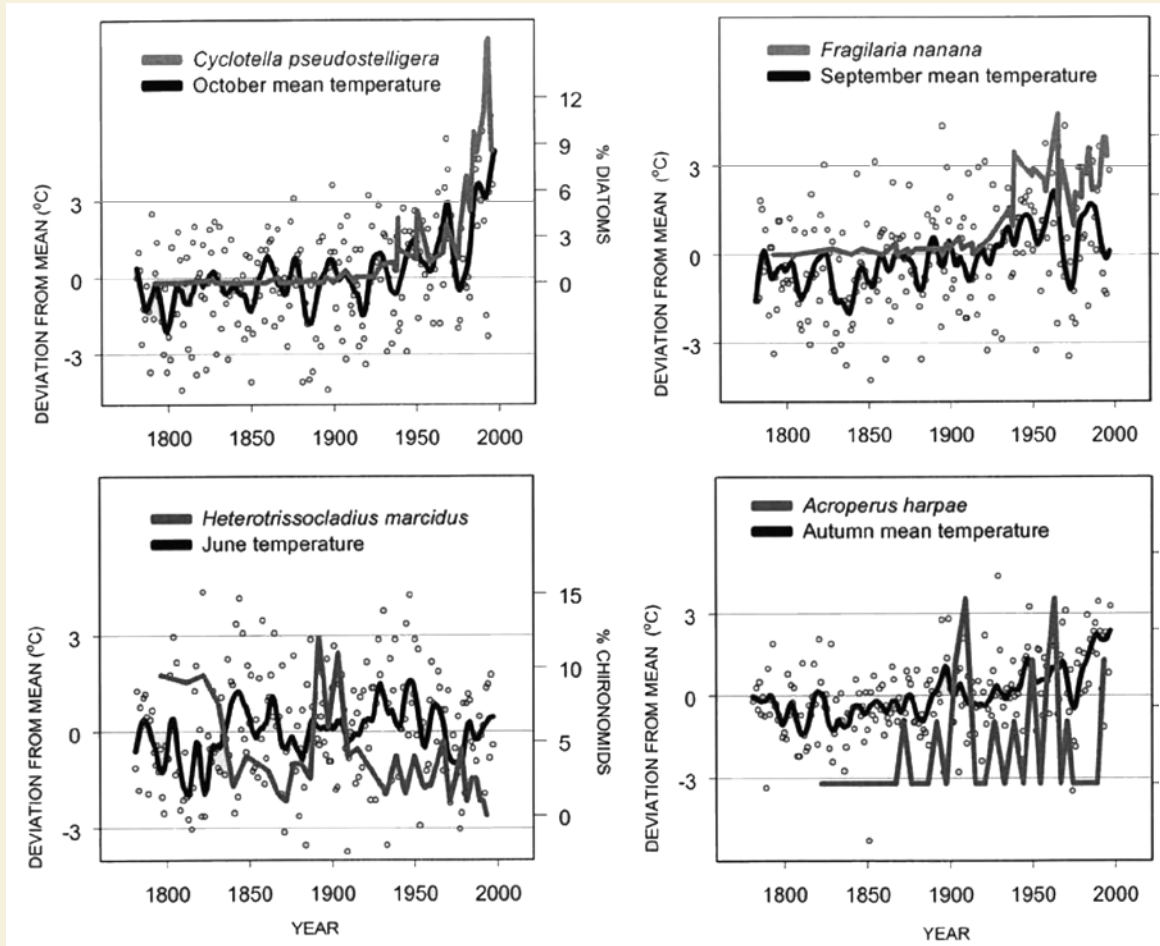


Paleolimnología, una mirada al pasado para entender el futuro

Entender los efectos del cambio climático y, en particular, distinguir la influencia antrópica de las oscilaciones naturales requiere registros a largo plazo de cambios en los ecosistemas. En general, las medidas instrumentales a largo plazo escasean y, como máximo, presentan pocos siglos de antigüedad (figura 2). La necesidad de disponer de series más largas ha propiciado el desarrollo de nuevas técnicas para reconstruir las fluctuaciones climáticas del pasado utilizando diferentes aproximaciones, como testigos de hielo, estalactitas, anillos de los árboles, paleolimnología, polen, etc. Entre estas aproximaciones, la paleolimnología se ha aplicado en las últimas décadas para reconstruir los efectos de la acidificación y la eutrofización de una manera cuantitativa. Los métodos desarrollados con esta aproximación se aplican ahora a reconstruir las condiciones climáticas del pasado, que complementan aproximaciones más tradicionales (Battarbee, 2000). Los conjuntos de especies de algas cambian de una manera relativamente directa con algunas condiciones limnológicas, como el pH o el fósforo. Ello hace que resulte relativamente sencillo reconstruir estos parámetros a partir de cambios en las comunidades de algas que quedan preservadas en el sedimento (por ejemplo, diatomeas, cistos de crisofíceas, etc.). La paleolimnología se basa en aplicar esta aproximación espaciotemporal. En cambio, la reconstrucción directa de componentes climáticos no es tan evidente, por el hecho de que los organismos no responden necesariamente de manera directa a cambios en la temperatura. Entre los diferentes organismos que sí lo hacen figuran los cistos de crisofíceas (Pla y Catalan, 2005), algunas diatomeas planctónicas, los quironómidos y algunos cladóceros (figura 3) (Catalan *et al.*, 2002; Heegaard *et al.*, 2006). Cada uno de estos organismos responde a diferentes parámetros climáticos o a épocas del año, a causa de la interacción con sus ciclos de vida particulares. Por tanto, para poder efectuar reconstrucciones climáticas fiables se utiliza una combinación de parámetros y de grupos de organismos lo más amplia posible.



Figura 3. Comparación entre la desviación de la temperatura del aire en diferentes meses del año y el registro sedimentario para las especies de diatomeas (*Cyclotella pseudostelligera* y *Fragilaria nanana*), el quironómido *Heterotrissocladius marcidus* y el cladóceros *Acroperus harpae* (Catalan *et al.*, 2002).



Efectos en los lagos de alta montaña

Pese a que se requieren más estudios concretos para determinar con mayor precisión cuáles serán las repercusiones en los lagos de alta montaña, el conocimiento actual permite hacer una primera evaluación. La precipitación, la temperatura y la nubosidad pueden tener un efecto en diferentes aspectos de los lagos:

Efectos de los cambios en la precipitación y disponibilidad hídrica. Se prevé una disminución de la precipitación del 12 % de media anual, más acusada en verano (24 %) que en invierno (6 %) (Calbó, 2008a y 2008b). Ese aspecto afectará de manera más importante a los lagos de menores dimensiones y, sobre todo, a las lagunas y los embalses temporales, que pueden secarse antes de que los distintos grupos de organismos completen sus ciclos de vida (Álvarez Cobelas *et al.*, 2008), tal como ya ocurre en diferentes zonas árticas (Smoli Douglas, 2007).

Efectos del calentamiento global. Según el AR4, para la región mediterránea y para finales de siglo cabe esperar un aumento de la temperatura media de 3,5 °C, que será más pronunciado en verano (4,1 °C) que en invierno (2,6 °C) (Calbó, 2008a y 2008b). En los Pirineos, dicho aumento puede ser aún más acusado (Thompson *et al.*,

2009). Se espera que la duración de la capa de nieve y la de la cubierta de hielo se acorte (Thompson [et al.], 2005) y que se avance el período de primavera (Peeters [et al.], 2007). Además, es probable que la duración de la estratificación de los lagos se alargue, y estos cambios pueden influir en el funcionamiento de los lagos de alta montaña durante el período sin hielo (Wilhelm y Adrian, 2008).

Efectos de la reducción de las nubes. Una reducción de la cubierta de nubes durante la época más cálida del verano podría comportar un incremento de la cantidad de radiación ultravioleta (UV) que llegaría a los lagos, con los posibles efectos de fotoinhibición de la fotosíntesis, alteraciones metabólicas en las plantas y en los animales, y con un incremento de la fotooxidación de las sustancias orgánicas disueltas (Williamson y Zagarese, 1994). La paleolimnología ha revelado que se registraban cambios importantes en la materia orgánica disuelta de lagos de zonas templadas a causa de los cambios ligados al clima y que ello tenía repercusiones en la producción primaria de estos sistemas (Leavitt [et al.], 2003). Estos posibles efectos pueden quedar enmascarados por las adaptaciones a altas radiaciones de la mayor parte de la flora y fauna que habita en los lagos de alta montaña (Álvarez Cobelas [et al.], 2008).

Calentamiento global y especies invasoras

Entre los vertebrados que habitan en los lagos de alta montaña, los peces como la trucha común (*Salmo trutta*), la trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*), la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) o el piscardo (*Phoxinus phoxinus*) son especies que podrían extender su distribución a causa de la subida de las temperaturas en las zonas altas (García-Berthou, 2008). Dado que todas estas especies de peces han sido introducidas en los estanques pirenaicos, un aumento en su distribución podría perjudicar a las especies sensibles a la introducción de las truchas, como por ejemplo los anfibios y los invertebrados asociados al plancton y al bentos (Knapp et al., 2001).

La distribución de los anfibios se ha visto afectada por la interacción de especies depredadoras (como los peces) (Knapp y Matthews, 2000) y por la proliferación de hongos patógenos *Chytrids*, que provocan desapariciones catastróficas de poblaciones de anfibios (Màrquez [et al.], 1995). El cambio climático, junto con un aumento de las fuentes de dispersión antrópicas, parece que puede acelerar la dispersión de estos hongos patógenos y, por consiguiente, contribuir a aumentar la desaparición de poblaciones de anfibios (Pounds [et al.], 2006).

El efecto del calentamiento en otros grupos de organismos, como por ejemplo varios grupos de invertebrados, se ha investigado menos, si bien estudios experimentales realizados en zonas alpinas muestran una disminución de la presencia de las especies adaptadas a los sistemas alpinos y un aumento del potencial de invasión de especies propias de ambientes más cálidos, como las que habitan en las zonas subalpinas (Holzapfel y Vinebrooke, 2005).

Referencias bibliográficas

ÁLVAREZ COBELAS, M.; CATALAN, J., GARCÍA DE JALÓN, D. «Impacts on inland aquatic ecosystems». En: J. M. MORENO. *A Preliminary Assessment of the Impacts in Spain due to the Effect of Climate Change*. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla-La Mancha, 2008, págs. 109-142.

BATTARBEE, R. W. Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews*, (19): págs. 107-124, 2000.

CATALAN, J.; PLA, S.; RIERADEVALL, M.; FELIP, M. [et al.]. Lake Redo ecosystem response to an increasing warming in the Pyrenees during the twentieth century. *Journal of Paleolimnology*, (28): págs. 129-145, 2002.

CATALAN, J.; CAMARERO, L.; FELIP, M.; PLA, S. [et al.]. High mountain lakes: extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*, (25): págs. 551-584, 2006.



- CALBÓ, J. «Proyecciones globales; el IV Informe del GIECC ». En: Agencia Catalana del Agua (ACA) - Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA). En: *Agua y cambio climático. Diagnósis de los impactos previstos en Cataluña*. Barcelona: 2008a. (Este volumen.)
- CALBÓ, J. «Proyecciones regionales; de Europa a la península Ibérica». En: Agencia Catalana del Agua (ACA) - Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA). En: *Agua y cambio climático. Diagnósis de los impactos previstos en Cataluña*. Barcelona: 2008a. (Este volumen.)
- GARCÍA-BERTHOU, E. «Impacto sobre los peces continentales». En: Agencia Catalana del Agua (ACA) - Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA). En: *Agua y cambio climático. Diagnósis de los impactos previstos en Cataluña*. Barcelona: 2008a. (Este volumen.)
- HEEGAARD, E.; LOTTER, A. F.; BIRKS, H. J. B. Aquatic biota and the detection of climate change: Are there consistent aquatic ecotones? *Journal of Paleolimnology*, (35): págs. 507-518, 2006.
- HOLZAPFEL, A. M.; VINEBROOKE, R. D. Environmental warming increases invasion potential of alpine lake communities by imported species. *Global Change Biology*, (11): págs. 2009-2015, 2005.
- KNAPP, R. A.; MATTHEWS, K. R. Non-native fish introductions and the decline of the mountain yellow-legged frog from within protected areas. *Conservation Biology*,(14), págs. 428-438, 2000.
- KNAPP, R. A.; MATTHEWS, K. R.; SARNELLE, O. Resistance and resilience of alpine lake fauna to fish introductions». *Ecological Monographs*, (71): págs. 401-421, 2001.
- LEAVITT, P. R.; CUMMING, B. F.; SMOL, J. P.; REASONER, M. [et al.]. Climatic control of ultraviolet radiation effects on lakes. *Limnology and Oceanography*, (48): págs. 2062-2069, 2003.
- MÁRQUEZ, R.; OLMO, J. L.; BOSCH, J. Recurrent mass mortality of larval midwife toads *Alytes obstetricans* in a lake in the Pyrenean mountains. *Herpetology Journal*, (5): págs. 287-289, 1995.
- PEETERS, F.; STRAILE, D.; LORKE, A.; LIVINGSTONE, D. M. Earlier onset of the spring phytoplankton bloom in lakes of the temperate zone in a warmer climate. *Global Change Biology*, (13): págs. 1898-1909, 2007.
- PLA, S.; CATALAN, J. Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene. *Climate Dynamics*, (24): págs. 263-278, 2005.
- POUNDS, J. A.; BUSTAMANTE, M. R.; COLOMA, L. A.; CONSUEGRA, J. A. [et al.]. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*, (439): págs. 161-167, 2006.
- SMOL, J. P.; DOUGLAS, M. S. V. Crossing the final ecological threshold in high Arctic ponds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (104): págs. 12395-12397, 2007.
- THOMPSON, R.; PRICE, D.; CAMERON, N.; JONES, V. [et al.]. Quantitative calibration of remote mountain-lake sediments as climatic recorders of air temperature and ice-cover duration. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, (37): págs. 626-635, 2005.
- THOMPSON, R.; VENTURA, M.; CAMARERO, L. On the climate and weather at the mountain and sub-arctic lakes of Europe. *Submitted*: 2009.
- WILHELM, S.; ADRIAN, R. Impact of summer warming on the thermal characteristics of a polymictic lake and consequences for oxygen, nutrients and phytoplankton. *Freshwater Biology*, (53): págs. 226-237, 2008.
- WILLIAMSON, C.E.; ZAGARESE, H.E. Impact of UV-B radiation on pelagic freshwater ecosystems. *Archiv für Hydrobiologie - Advances in Limnology*. Stuttgart: 1994.