

¿CÓMO CAMBIARÁ LA LAGUNA GRANDE DE PEÑALARA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO?

IGNACIO GRANADOS

Centro de Investigación y Gestión Puente del Perdón.
Parque Natural de Peñalara
Ctra. M-604, Km. 27,6
28740 Rascafría (Madrid)

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático (Moreno Rodríguez, 2005), muy probablemente el clima venidero de España se volverá notablemente más calido. También es esperable una tendencia a la baja en las precipitaciones, aunque con una mayor incertidumbre en cuanto a la intensidad y localización de esta tendencia. Este cambio climático, que ya estamos experimentando, sin duda tendrá importantes repercusiones sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación de determinadas especies.

La laguna Grande de Peñalara viene siendo objeto de estudio desde casi la misma declaración del Parque Natural (Granados y Toro, 2000a; Granados *et al.*, 2002, 2006). Desde julio de 1995 se ha venido realizando un seguimiento limnológico mensual de esta laguna, orientado fundamentalmente a evaluar las medidas de gestión y restauración emprendidas por el Parque Natural. A pesar de no ser su objetivo principal, este estudio ha permitido obtener una valiosa serie temporal de datos limnológicos que puede ser aplicada a la detección y evaluación de los cambios en los ecosistemas acuáticos de alta montaña en respuesta al cambio climático.

PERSPECTIVAS DE CAMBIO CLIMÁTICO E IMPACTOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES ESPAÑOLES

Para obtener una perspectiva de los cambios predecibles sobre la laguna Grande de Peñalara, es interesante sintetizar en primer lugar los cambios esperables tanto

en el clima a nivel de la Península Ibérica como en los ecosistemas acuáticos que en ella se asientan.

Así, de Castro *et al.* (2005) prevén entre otros los siguientes cambios climáticos para la Península Ibérica, ordenados de mayor a menor por su grado de fiabilidad:

- Tendencia progresiva al incremento de las temperaturas medias a lo largo del siglo XXI, que pueden oscilar entre 1,1°C y 2,0°C cada 30 años.
- Los aumentos de temperatura media serán mayores en los meses de verano que en los de invierno. Para el último tercio del siglo XXI, el incremento de la temperatura media podría alcanzar entre 5°C y 7°C en verano y entre 3°C y 4°C en invierno.
- El calentamiento de verano se producirá con mayor intensidad en las zonas del interior peninsular
- Tendencia generalizada a una menor precipitación acumulada anual.
- Mayor amplitud y frecuencia de las anomalías térmicas mensuales
- Mayor frecuencia de días con temperaturas máximas extremas, especialmente en verano
- En el último tercio del siglo XXI, la mayor reducción de precipitaciones se producirá en primavera y algo menos en verano.



En cuanto a los cambios esperables en los ecosistemas acuáticos españoles, cabe decir en primer lugar que dada la variedad y heterogeneidad intrínsecas, los efectos del cambio climático dependerán de las particularidades de cada sistema, por lo que es difícil hacer una evaluación general. No obstante, se han propuesto las siguientes tendencias generales (Álvarez Cobelas *et al.*, 2005):

- Como consecuencia de la previsible reducción en las precipitaciones, parte de los ecosistemas acuáticos continentales españoles pasarán de ser permanentes a estacionales, y algunos desaparecerán. Es previsible igualmente una reducción de tamaño en un buen número de estos humedales.
- Junto con el cambio en los promedios de pluviosidad, el aumento de temperaturas determinará que la biodiversidad de muchos humedales se reduzca y que sus ciclos biogeoquímicos se vean alterados, aunque la magnitud de estos cambios aún no puede precisarse.
- Los ecosistemas más afectados serán: 1) ambientes endorreicos; 2) lagos, lagunas, ríos y arroyos de alta montaña (1600-2500 metros); 3) humedales costeros; y 4) ambientes dependientes de las aguas subterráneas.

Dicho esto para los humedales ibéricos en general, en el caso concreto de los lagos y lagunas de alta montaña se han realizado otras previsiones más ajustadas a sus características ecológicas (Álvarez Cobelas *et al.*, 2005):

- La mayoría de los lagos y lagunas de alta montaña no tendrán un cambio apreciable en su tamaño, aunque algunos ambientes someros pasarán de ser permanentes a temporales.
- En las zonas de montaña, la duración del manto nival y de la cubierta lacustre de hielo se reducirá. Esto tendrá importantes repercusiones en el funcionamiento limnológico, tales como un menor descenso de oxígeno en fondo y una menor liberación de fósforo desde el sedimento durante el invierno. También se anticiparán las fases primaverales y la propagación de las repercusiones de estos cambios al funcionamiento limnológico durante el resto del periodo cálido.
- La estratificación térmica de los lagos de alta montaña se reforzará y se alargará en otoño, por lo que probablemente la producción de primavera se verá reducida en favor de una mayor producción otoñal.

ÁMBITO LOCAL: SERIES METEOROLÓGICAS DEL PUERTO DE NAVACERRADA

Los análisis sobre las tendencias recientes de la temperatura a escala de la Península Ibérica (de Castro *et al.*, 2005), muestran una elevación bastante general de la temperatura media anual desde mediados de los años 70 del siglo XX. El incremento observado es ligeramente superior al observado globalmente, siendo el calentamiento más evidente en invierno. Respecto a la precipitación, no se ha obtenido una tendencia general definida para la Península Ibérica como consecuencia de su complejo reparto espacial y su alta variabilidad temporal.

En la sierra de Guadarrama se encuentra la estación meteorológica del Puerto de Navacerrada (Instituto Nacional de Meteorología), situada a unos 6-7 Km de distancia de la laguna Grande de Peñalara. Así, es posible analizar si los cambios observados a nivel general para la Península Ibérica se han producido en el entorno inmediato de la laguna de Peñalara. Esta estación, por su localización a una considerable altitud (1 890 m.s.n.m.) y su continuidad histórica (operativa desde mediados del siglo XX), es de gran utilidad para evaluar las condiciones climatológicas de la zona y la evolución meteorológica durante las últimas décadas.

La Figura 1 muestra la evolución tanto de la precipitación como de la temperatura media anual registrada en el Puerto de Navacerrada. Del análisis de estas series meteorológicas se pueden extraer los siguientes resultados:

- Existen diferencias significativas desde principios de la década de los 80 del siglo pasado, con una subida de algo más de 1°C en la temperatura media anual (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$).
 - Para todos los meses la media de temperaturas es mayor a partir de 1980 que antes de esa fecha, aunque sólo en algunos casos esta diferencia es significativa.
 - En los meses en que esta diferencia es significativa (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$), el aumento de la temperatura media mensual oscila entre 1,13°C (noviembre) y 1,90°C (junio). El aumento de temperatura se produce sobre todo en verano (junio, julio y agosto) y en invierno (diciembre, febrero, marzo). Tanto en primavera como en otoño no se ha detectado un incremento significativo de las temperaturas. Así, en el entorno de Peñalara encontraríamos una diferencia importante respecto al comportamiento general observado para toda la Península Ibérica: el calentamiento más importante se ha producido en verano en lugar de en invierno.



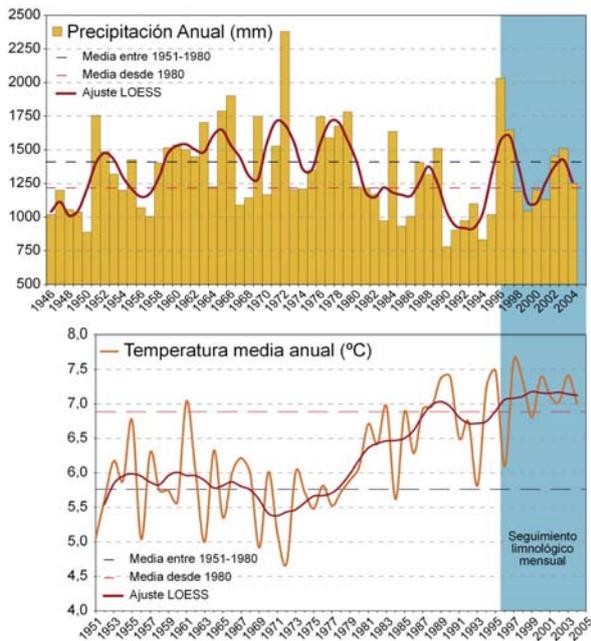


Figura 1. Evolución de la precipitación anual y de la temperatura media anual en el Puerto de Navacerrada.

- También hay diferencias significativas en la precipitación anual, con un descenso en torno a 200 mm.
 - Aunque en casi todos los meses es apreciable una reducción de la precipitación, ésta es sólo significativa en los meses de febrero y marzo (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$).
- Palacios *et al.* (2003) han estudiado la media de días con cubierta de nieve en la estación meteorológica del puerto de Navacerrada, que es de 82 días para toda la serie disponible, y han observado una reducción progresiva en las últimas décadas. Así por ejemplo, entre 1970 y 1975 la media es de 96 días, frente a los 66 días del período 1985-1990.

En resumen, parece claro que en la Sierra de Guadarrama se está producido un incremento de la temperatura media anual y, probablemente, un descenso en la precipitación acumulada. Este aumento de la temperatura también se ha detectado en estudios paleolimnológicos realizados en la laguna Cimera de Gredos (Granados y Toro, 2000b; Granados *et al.*, 2002)

EVOLUCIÓN RECIENTE DE LAS SERIES DE DATOS LIMNOLÓGICOS

En la Figura 1, que muestra la evolución de la temperatura media anual y la precipitación acumulada desde mediados del siglo XX, se ha señalado con color azul el período abarcado por el seguimiento limnológico. Obsérvese que el seguimiento sólo abarca un perio-

do en el que no es apreciable una tendencia clara ni en la temperatura ambiental ni en la precipitación. No obstante, este período sí contempla años muy distintos en cuanto a estas dos variables. De esta manera, aunque es difícil encontrar una tendencia en las series de datos limnológicos sí es posible describir el comportamiento de la laguna frente a la variabilidad mostrada por la temperatura ambiental y la precipitación acumulada.

Las Figuras 2, 3, 4 y 5 muestran la evolución de distintas series de variables físico-químicas de la laguna Grande de Peñalara durante el seguimiento limnológico. Sobre cada uno de estos gráficos se ha situado tanto la temperatura máxima y mínima diaria como la precipitación mensual, para mostrar precisamente el efecto de las condiciones meteorológicas ambientales sobre el funcionamiento limnológico.

En este artículo se comentará muy brevemente la evolución observada de las distintas variables presentadas en estas gráficas. Sobre este aspecto se puede obtener más información en Granados *et al.*, 2006, ya que lo que interesa destacar aquí es la respuesta de la laguna de Peñalara al cambio climático.

Temperatura y oxígeno disuelto en la columna de agua

La laguna Grande de Peñalara (Figura 1) presenta una estratificación invernal, dos períodos de mezcla (primavera y otoño) y un período estival más estable (aunque sin una termoclina duradera). La temperatura máxima anual del agua supera los 20 °C. La inercia térmica respecto a la temperatura ambiental es muy baja. La tasa de cambio de la temperatura media del agua puede alcanzar 3 °C/día, con oscilaciones en superficie de hasta 5 °C/día.

La concentración de O₂ (Figura 1) está relacionada fundamentalmente con la temperatura del agua (casi siempre entre el 90% y 110% de saturación, con una concentración absoluta menor cuanto mayor es la temperatura del agua). La mayor parte del tiempo los procesos biológicos no son lo suficientemente intensos como para alejar la cantidad de oxígeno disuelta del 100% de saturación. Bajo la cubierta de hielo se produce un agotamiento progresivo de O₂ en profundidad debido a la degradación de la materia orgánica existente en el sedimento. El gradiente de agotamiento de O₂ tiene una media ponderada de -0,082 mg O₂ l⁻¹ d⁻¹, alcanzando tras la formación de una potente cubierta de hielo hasta -0,281 mg O₂ l⁻¹ d⁻¹. Este agotamiento es más intenso cuanto mayor sea la duración de la cubierta de hielo.



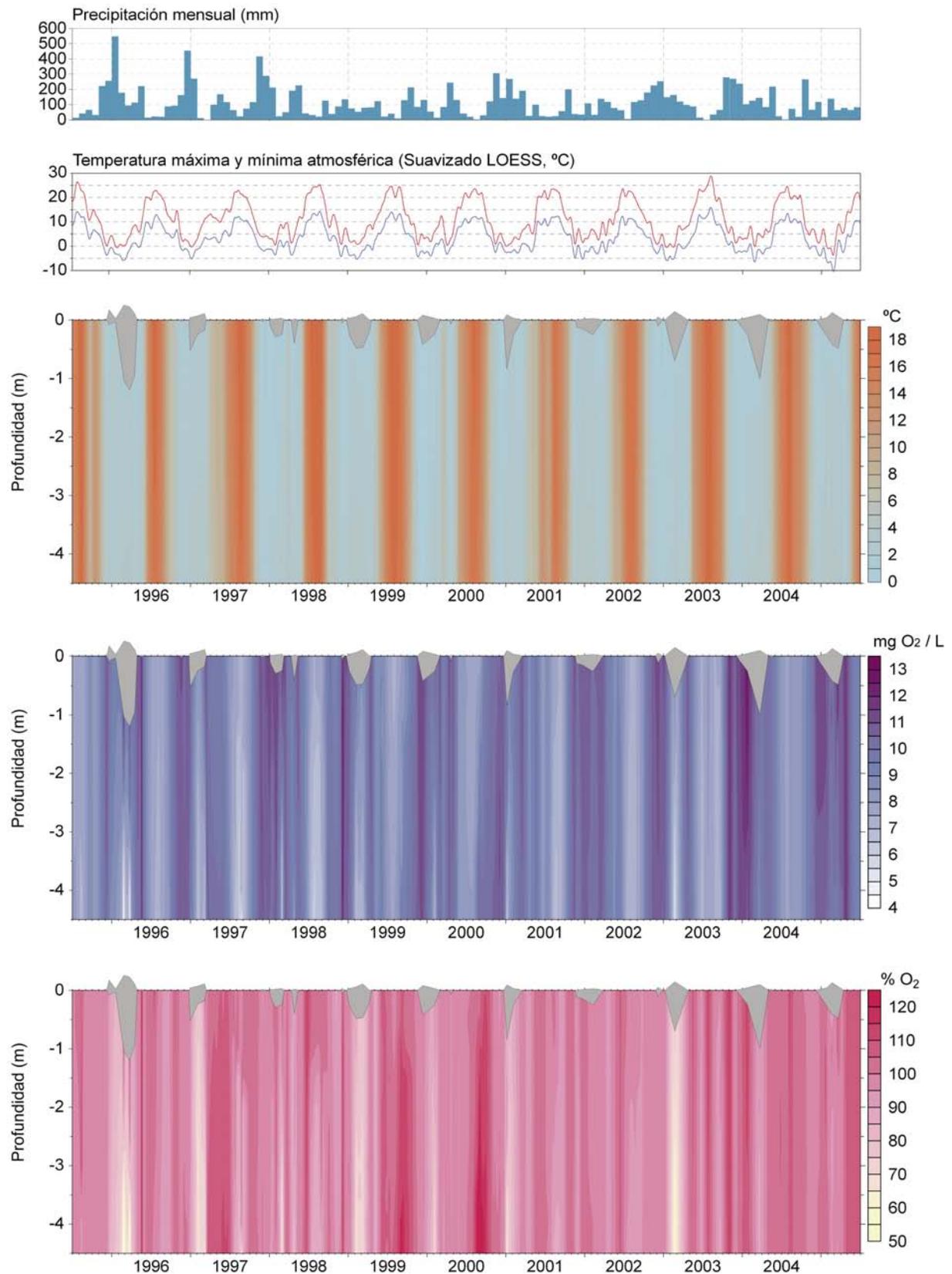


Figura 2. Evolución de la precipitación mensual, de la temperatura máxima y mínima diaria, de la temperatura de la columna de agua, de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua y del porcentaje de saturación de oxígeno en la columna de agua desde el inicio del seguimiento limnológico mensual en la laguna Grande de Peñalara.

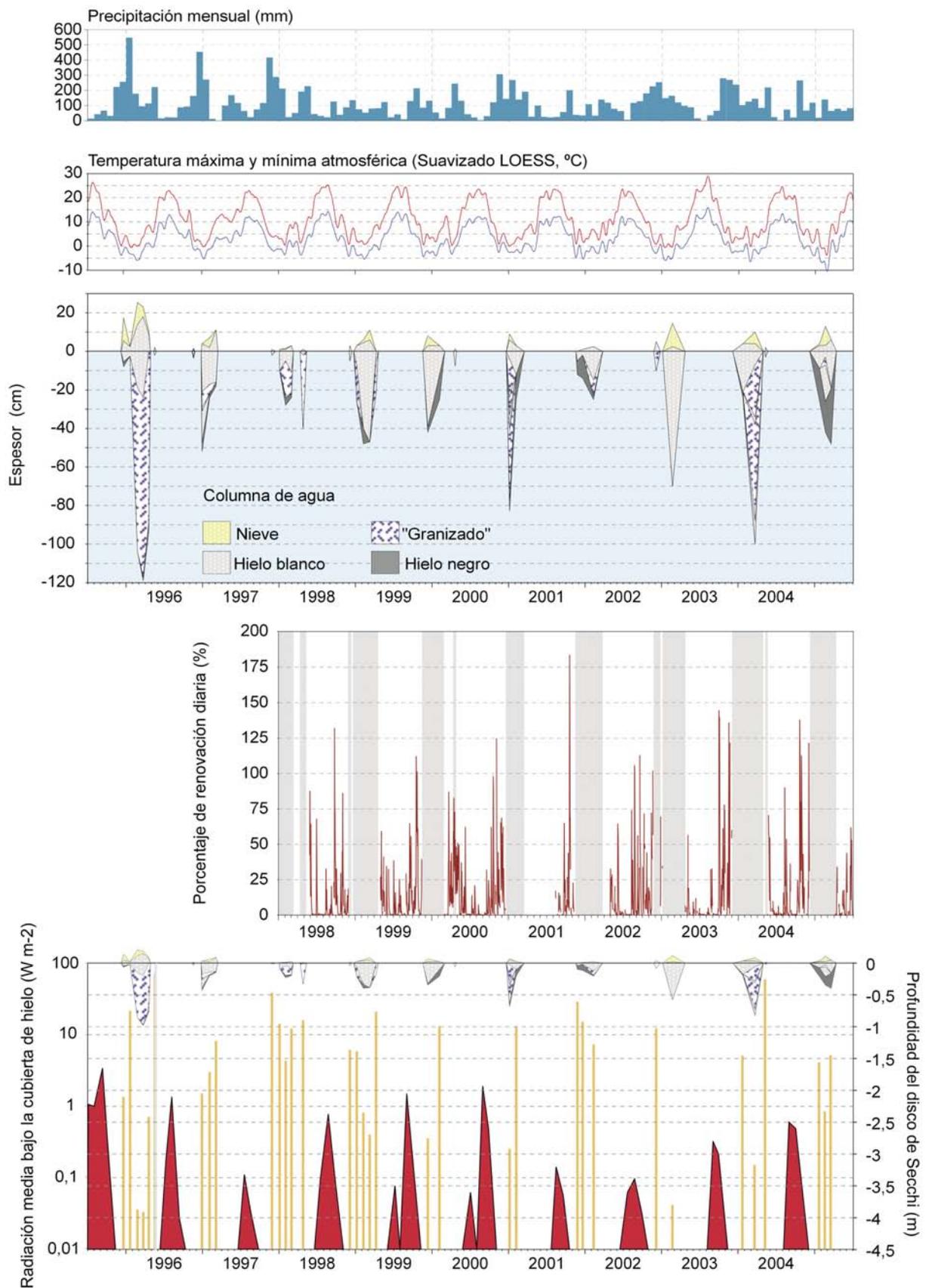


Figura 3. Evolución de la precipitación mensual, de la temperatura máxima y mínima diaria, de la duración y tipología de la cubierta de hielo, del porcentaje de renovación diaria, de la profundidad de visión del disco de Secchi y de la radiación media bajo la cubierta de hielo (calculada) desde el inicio del seguimiento limnológico mensual en la laguna Grande de Peñalara.



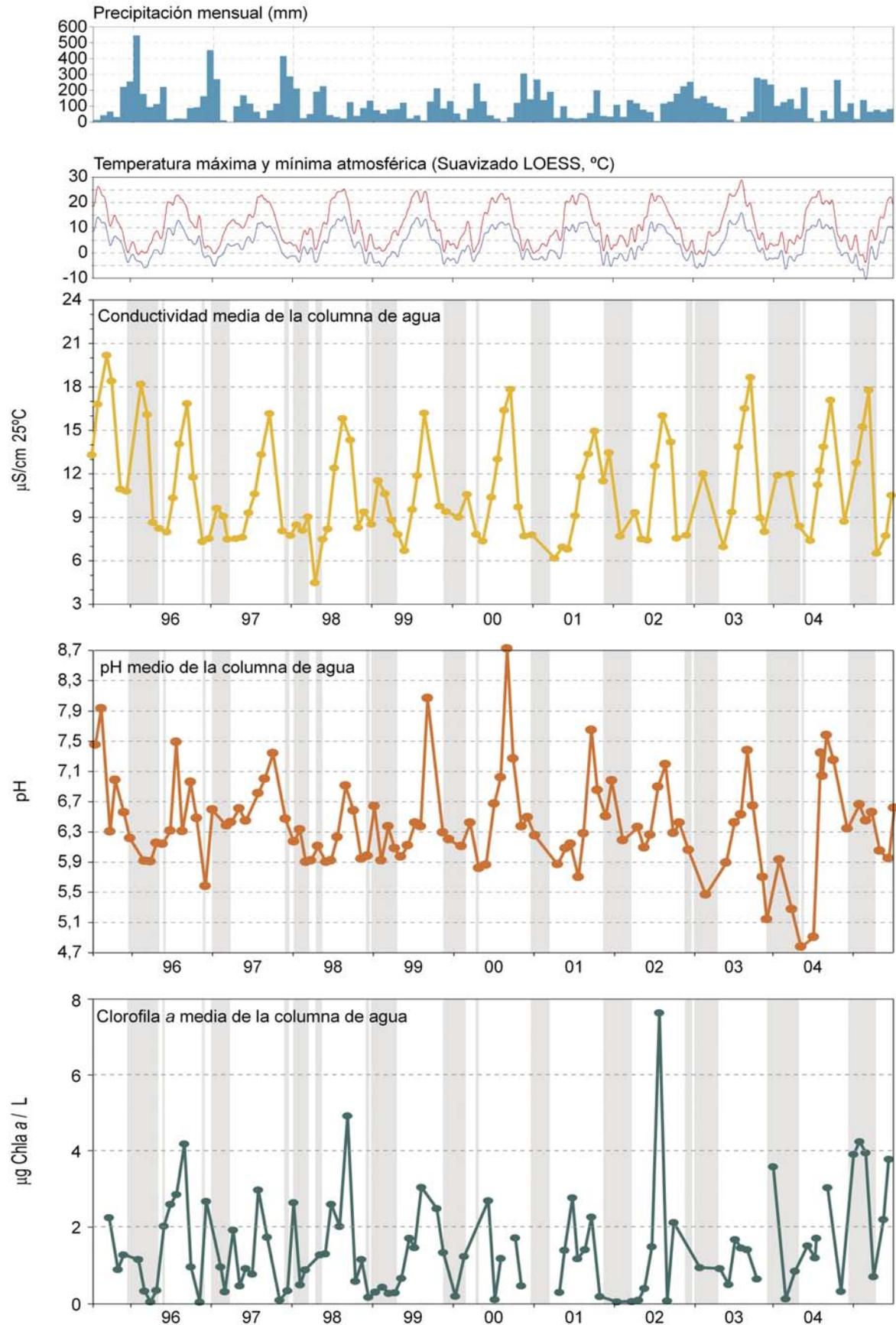


Figura 4. Evolución de la precipitación mensual, de la temperatura máxima y mínima diaria, de la conductividad media, del pH medio y de la Clorofila *a* media desde el inicio del seguimiento limnológico mensual en la laguna Grande de Peñalara.

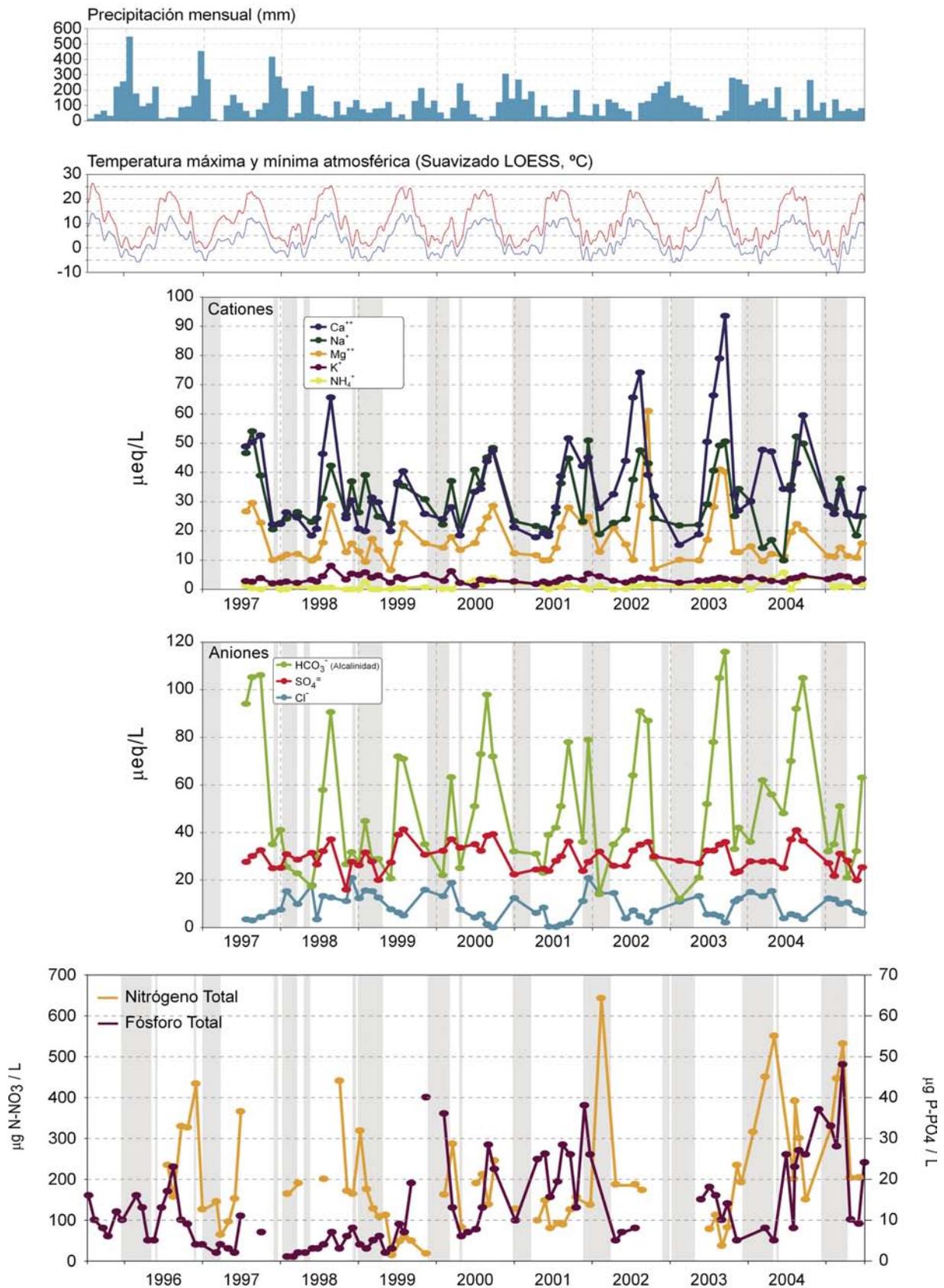


Figura 5. Evolución de la precipitación mensual, de la temperatura máxima y mínima diaria, de los cationes, de los aniones y del nitrógeno y fósforo total desde el inicio del seguimiento limnológico mensual en la laguna Grande de Peñalara.



Duración de la cubierta de hielo, tasa de renovación y transparencia del agua

La duración media de la cubierta de hielo (Figura 2) es de 115 días, con espesores entre 30-142 cm. Dependiendo de la precipitación (nieve) y temperatura ambiental, la duración oscila entre 80-140 días. Algunos inviernos se producen 2 o 3 cubiertas de hielo claramente diferenciadas.

El tiempo medio de residencia (Figura 2) del agua es muy bajo, inferior a los 10 días. El porcentaje diario de renovación puede alcanzar el 183%, y son habituales periodos de varios días con una renovación diaria mayor del 50% (tormentas estivales, lluvias otoñales, etc.).

El disco de Secchi alcanza el fondo de la laguna tanto inmediatamente antes como después del período con cubierta de hielo (Figura 2). El mínimo de la profundidad de visión del disco de Secchi se produce a mediados del período estival, en torno a los 2 m de profundidad. No hay una correlación significativa con la clorofila *a*. Durante prácticamente todo el período sin cubierta de hielo la luz alcanza el fondo de la laguna, quedando por tanto toda la laguna como zona fotosintéticamente activa.

Es habitual que durante la época central de la cubierta de hielo la radiación media que alcanza la columna de agua sea inferior a 1 W/m², llegando en ocasiones (como la espesa cubierta de 1995-1996) a ser tan baja como 0.031 W/m².

Conductividad, pH y pigmentos fotosintéticos

Los valores de conductividad (Figura 3) son extremadamente bajos, oscilando entre 4 y 22 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 25 °C. A mediados del período estival se produce el máximo anual de conductividad, en unas condiciones de escasa renovación del agua y mayor evaporación. En invierno hay una correlación significativa ($r^2 = 0.42$; $p < 0.05$) entre la duración de la cubierta de hielo y el aumento de conductividad bajo esa cubierta de hielo.

El pH (Figura 3) oscila entre 4.76 - 8.70, debido a la escasa reserva alcalina (bicarbonato). El pH también muestra una marcada estacionalidad, pero la variabilidad es bastante mayor que en la conductividad. En el período estival se produce el máximo anual de pH, como consecuencia de una mayor producción primaria (fotosíntesis) en los meses estivales. Bajo la cubierta de hielo, en la capa de agua profunda se produce un incremento muy marcado del pH, pero en la capa de agua superficial el pH no aumenta e incluso puede llegar a ser bastante bajo.

En todos los periodos estivales se produce un pico de clorofila *a* (Figura 3), por el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas en condiciones de cierta estabilidad de la columna de agua, relativa abundancia de nutrientes y un buen ambiente lumínico. No obstante, en ocasiones y si las precipitaciones son poco intensas, no es raro que se produzca otro pico de clorofila *a* en otoño, aprovechando la entrada de nutrientes a la laguna.

Iones y nutrientes

El Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} y HCO_3^- presentan una marcada estacionalidad (Figura 4): tienden claramente a aumentar su concentración durante el periodo libre de hielo. El SO_4^{2-} parece presentar también una mayor concentración en los meses estivales, aunque con una tendencia mucho menos marcada. Por el contrario, el Cl^- tiende a disminuir durante los meses estivales. Durante la época con cubierta de hielo se aprecia un incremento de la concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} y P en la capa de agua próxima al sedimento. Estos cambios en la hidroquímica de la capa de agua más profunda son tanto más importantes cuanto mayor sea la reducción de oxígeno provocado por la perduración de la cubierta de hielo.

En general se puede afirmar que el máximo anual de PT se produce a mediados de verano o en otoño (Figura 4), justo antes de la formación de la cubierta invernal, aunque también se pueden producir picos de PT debajo de la cubierta de hielo. Respecto al NT, posee un comportamiento aún más fluctuante que el PT, presentando picos tanto en el periodo invernal como en el estival. La mayor complejidad en el comportamiento del PT y NT respecto a otras variables limnológicas tiene que ver con su fuerte relación con procesos biológicos, mucho menos predecibles.

EXPECTATIVAS EN LA LAGUNA GRANDE DE PEÑALARA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Hasta el momento hemos presentado las perspectivas de cambio climático en la Península Ibérica (y su efecto sobre los ecosistemas acuáticos), las observaciones de las series meteorológicas en el entorno de Peñalara y un breve resumen del funcionamiento limnológico de la laguna Grande Peñalara.

Basándonos en las series limnológicas se puede afirmar que existe una clara relación entre la meteorología y determinados aspectos del funcionamiento limnológico. Por ejemplo, parece claro que la temperatura ambiental y la precipitación controlan aspectos como la duración y espesor de la cubierta de hielo o la



tasa de renovación. Es importante destacar que la tasa de renovación determina el grado de dilución de los iones mayoritarios y los nutrientes disponibles, afecta a la estabilidad de la columna de agua (distribución de calor, flujos turbulentos), y en algunos casos supone un control importante de las poblaciones por deriva de sus componentes.

No obstante, la laguna Grande de Peñalara se trata de un sistema complejo y sujeto a procesos de histéresis, en el que es difícil predecir su respuesta frente a cambios en determinadas variables ambientales. Por ello, la discusión que viene a continuación debe considerarse como meras hipótesis de trabajo respecto a los cambios que van a producirse en el funcionamiento limnológico, presentando una incertidumbre aún mayor la intensidad de estos cambios. De hecho, muchos de ellos seguro que ya se están produciendo, a juzgar por la serie meteorológica presentada en la Figura 1.

De cumplirse las expectativas del cambio climático, es predecible que el máximo de temperatura de la columna de agua en la época libre de hielo aumente ligeramente, acompañando a la temperatura ambiental. La importancia de este calentamiento por sí mismo probablemente será muy pequeña, aunque en el contexto de una menor tasa de renovación podría llegar a generar condiciones de estratificación que sí tendrían importantes consecuencias ecológicas.

El aumento de temperatura y, sobre todo, la menor tasa de renovación provocarán un aumento de la producción primaria en la época libre de hielo. Así, por un lado posiblemente la duración de la época de mayor producción se extenderá más allá de lo que actualmente lo hace (y en este sentido hay que recordar que la producción otoñal frecuentemente es incluso mayor que la estival en este tipo de lagunas); y por otro lado, también es probable que aumente la tasa diaria de producción primaria, como consecuencia de una mayor disponibilidad de nutrientes. Las consecuencias sobre el resto de la red trófica son difícilmente predecibles, pero sin duda serán relevantes. Además de una mayor producción primaria, el resto de organismos de la laguna es posible que vean alteradas sus tasas metabólicas por el aumento de la temperatura del agua, e incluso sus ciclos de vida por una mayor prolongación de la época libre de hielo.

Bajo la cubierta de hielo quizá llegue a aumentar también la producción primaria como consecuencia de una disminución del espesor de aquella, aunque hay una gran incertidumbre respecto a la producción total en esta época dado que se verá acortada por las temperaturas más benignas.

El oxígeno disuelto es probable que aumente la variabilidad de su concentración. Por un lado, el aumento de la temperatura hará disminuir la solubilidad en verano, pero por otro es muy posible que aumente la producción primaria en esta misma época, lo que aumentaría la concentración (al menos durante el día) gracias a la fotosíntesis oxigénica. Es decir, probablemente se produzca un mayor control por parte de los procesos biológicos frente a los procesos puramente físicos.

En la laguna Grande de Peñalara se ha observado ocasionalmente una disminución de oxígeno en fondo durante la época libre de hielo y en condiciones de gran estabilidad de la columna de agua. Esta disminución de oxígeno es consecuencia de la degradación de materia orgánica en las cercanías del sedimento. Previsiblemente, este proceso se intensificará en el caso de cumplirse las expectativas del cambio climático, aunque no es esperable que llegue a ser tan importante como para producir anoxia o niveles tan bajos de oxígeno que modifiquen sustancialmente la fauna bentónica.

En invierno se producirá una menor intensidad del agotamiento de oxígeno en fondo bajo la cubierta de hielo, debido a la menor duración de esta cubierta. Los procesos asociados a la prolongación de la cubierta de hielo (generación de alcalinidad, liberación de nutrientes, cambios en el pH y conductividad) serán por tanto menos intensos.

Desde el punto de vista hidrológico, no es previsible una reducción del volumen de la laguna Grande de Peñalara, aunque como ya se ha señalado muy probablemente su tasa de renovación anual tenderá a disminuir. Esto no quiere decir que puntualmente la tasa de renovación no pueda ser muy importante. De hecho, si se cumple la predicción de una mayor variabilidad en las precipitaciones podría llegar incluso a aumentar ocasionalmente frente a determinados episodios drásticos de precipitación.

Respecto a los ciclos hidrogeoquímicos, también son dependientes de la temperatura del agua y de la tasa de renovación. No obstante, es previsible que en el caso concreto de la laguna Grande de Peñalara estos cambios no sean demasiado importantes en comparación con los cambios esperables en otros ecosistemas acuáticos más someros, temporales o situados a menor altitud.

Otro aspecto a considerar es el cambio esperable en la vegetación de la cuenca. Actualmente la laguna Grande de Peñalara presenta una cuenca dominada por roca madre, suelos muy poco desarrollados y un mosaico de pastizales y zonas arbustivas de montaña. No es descartable que el límite altitudinal del bosque



pueda alcanzar la cota de la laguna Grande, lo que sin duda generaría importantes cambios en las relaciones entre la masa de agua y su cuenca. Este fenómeno de elevación del límite del bosque (que ocurrirá casi con seguridad), no sabemos hasta donde alcanzará y mucho menos el tiempo que tardará en suceder, pero sin duda es otra fuente posible de cambios importantes para el funcionamiento limnológico de la laguna.

De modo análogo, cabe la posibilidad de que la laguna Grande de Peñalara se vea colonizada por especies acuáticas (invertebrados, anfibios, plantas vasculares) típicas de zonas más bajas y que en la actualidad no pueden colonizar la laguna por sus rigurosas condiciones ambientales. Por esta misma razón, algunas de las especies más estenotermas frías podrán llegar a desaparecer.

OPORTUNIDADES DE INVESTIGACIÓN

Son muchas las oportunidades que ofrece la laguna Grande de Peñalara para el estudio del cambio climático y sus efectos sobre los ecosistemas acuáticos. Entre los aspectos que hacen particularmente interesante esta laguna están:

- Se dispone de una serie relativamente extensa de datos limnológicos. Estas series de datos, aunque no han sido específicamente recopilados para el estudio del cambio climático, pueden ser de gran utilidad para evaluar sus efectos
- En su entorno inmediato existe una de las series meteorológicas de alta montaña más largas de Europa. Así, se dispone de una descripción detallada de la meteorología de las últimas seis décadas, con las que evaluar tanto los cambios ya ocurridos como la velocidad de los que están ocurriendo.
- El registro de las condiciones ambientales a lo largo del Holoceno (los últimos 10.000 años) que existe en su sedimento puede ser informativo sobre situaciones y tasas de cambio esperables. Existen algunos estudios paleolimnológicos de la laguna, pero sin duda aún está por explotar todo el potencial de las herramientas paleolimnológicas en esta laguna.
- La laguna está situada en un Espacio Natural Protegido (Parque Natural de Peñalara) y ha sido recientemente incluida en el listado Ramsar (Humedales del Macizo de Peñalara), lo que por un lado asegura su estatus futuro como observatorio ambiental y por otro permite con mayor facilidad el diseñar estrategias a largo plazo para el seguimiento de ecosistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ COBELAS, M., J. CATALÁN y D. GARCÍA DE JALÓN. 2005. Impactos sobre los Ecosistemas Acuáticos Continentales. En: MORENO RODRÍGUEZ, J.M. (Coord). *Principales conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE*. Ministerio de Medio Ambiente.
- DE CASTRO, M., J. MARTÍN-VIDE y S. ALONSO. 2005. El Clima de España: Presente, Pasado y Escenarios de Clima para el siglo XXI. En: MORENO RODRÍGUEZ, J.M. (Coord). *Principales conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE*. Informe Final del Estudio. Ministerio de Medio Ambiente.
- GRANADOS, I. y M. TORO. 2000a. Limnología en el Parque Natural de Peñalara: Nuevas aportaciones y perspectivas de futuro. En: *Segundas Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular*. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
- GRANADOS, I. y M. TORO. 2000b. Recent warming in a high mountain lake (Laguna Cimera, Central Spain) inferred by means of fossil chironomids. *Journal of Limnology*, 59 (suppl. 1): 109-119.
- GRANADOS, I., M. TORO, S. ROBLES, J. M. RODRÍGUEZ, M. C. GUERRERO y C. MONTES. 2002. La paleolimnología como fuente de información ambiental: ejemplos de las lagunas de alta montaña del Sistema Central. En: *Terceras Jornadas Científicas del Parque Natural de Peñalara y Valle de El Paular*. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
- MORENO RODRÍGUEZ, J.M. (Coord). 2005. *Principales conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE*. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente.
- GRANADOS, I., M. TORO, y A. RUBIO-ROMERO. 2006. *Laguna Grande de Peñalara. 10 Años de Seguimiento Limnológico*. Serie Técnica del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid.
- PALACIOS, D., N. DE ANDRÉS y E. LUENGO. 2003. Distribution and effectiveness of nivation in Mediterranean mountains: Peñalara (Spain), *Geomorphology*, 54: 157-178.

