

NOTAS SOBRE IMPACTOS FÍSICOS PREVISIBLES DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS LAGOS Y HUMEDALES ESPAÑOLES

Francisco J. Ayala-Carcedo

Instituto Geológico y Minero de España

Resumen

El agua constituye el medio propio de cualquier lago o humedal, su condición necesaria. El Cambio Climático en la mayor parte de la España, con clima mediterráneo-continental o marítimo -supone, debido a la combinación de un aumento de las temperaturas y de un descenso de la precipitación, una disminución de los recursos hídricos. En el caso de los humedales, se añade el aumento de la evaporación en lámina libre. Por otra parte, el aumento de temperatura del aire implica una subida del nivel medio del mar por dilatación térmica que puede afectar a diversos humedales costeros sometidos a la acción mareal o de tormentas.

Se presentan los resultados de diversos análisis que indican tanto las tendencias de reducción de precipitación observadas en la segunda mitad del siglo XX como una aproximación a los aumentos esperables de evaporación en lámina libre en las diversas cuencas hidrográficas españolas, fenómeno que también afectará al agua embalsada.

Por otra parte, se presentan algunos datos de subida media anual del nivel del mar observada en las costas españolas, con una especial referencia al Delta del Ebro.

Los datos y resultados sugieren un claro aumento del estrés hídrico para las biocenosis limnológicas españolas derivado tanto del aumento en frecuencia y severidad de los procesos de desecación como de la reducción del período medio anual biológicamente activo y el aumento de la salinidad y el descenso en O₂ disuelto durante el mismo, así como alteraciones del ciclo térmico y la termoclina, especialmente en humedales estacionales con alimentación pluvial importante. En base a ello, y dada la importancia ecológica de los humedales españoles, se sugiere la necesidad de prestar más atención a estos problemas previsibles creando una verdadera red meteorolímimétrica-de cantidad y calidad- y analizando la problemática para acometer las acciones preventivas y/o regeneradoras que permitan la conservación de este valioso patrimonio natural.

1.-Introducción y antecedentes

De acuerdo con Ramsar (2002), los humedales “pueden almacenar hasta el 40 % del carbono terrestre mundial (...) y las turberas almacenan más del 25 % del carbono de los suelos”. Por tanto, la supervivencia de estos ecosistemas cuasicerrados es vital para evitar el crecimiento de los gases invernadero y la intensificación del Cambio Climático.

Por otra parte, los lagos y humedales españoles contienen la mayor biodiversidad de la Unión Europea en este campo, destacando su papel en la supervivencia de la avifauna y diversas poblaciones entre las que cabe destacar las de anfibios. Ha habido varias catalogaciones generales de estos frágiles ecosistemas (Pardo, 1948; Tello y López Bermúdez, 1988; Montes, coord., 1997). España cuenta con 38 sitios integrados en la Lista Ramsar –el 3,8 % del total mundial-, con 158.288 ha (MIMAM, 2002) habiéndose inventariado en la Base de Datos que realiza actualmente la Dirección General de Conservación de la Naturaleza del M^o de Medio Ambiente (MIMAM) 2.559 humedales (en 1991, la Dirección General de Obras Hidráulicas del mismo ministerio había realizado un inventario con 2708 lagos y humedales).

Estos ecosistemas carecen de viabilidad a largo plazo, debido a los procesos de sedimentación que inevitablemente van colmatándolos en condiciones naturales. Por otra parte, en un país con clima semiárido en su mayor parte como es España, la vulnerabilidad hidroclimática aumenta significativamente respecto a la Europa Atlántica. Por ambas razones, aunadas a su importancia ecológica, su conservación -tras casi un siglo de regresión debido a su desecación y reconversión a usos agrarios (solo en los últimos 40 años ha desaparecido el

60% de su superficie) y para erradicar el paludismo, inspirados por Cambó a principios del siglo XX- debería estar en primera línea de las prioridades de la política ambiental española, tanto a nivel central como autonómico.

La realidad, tanto en España como en la mayor parte de la UE, de acuerdo con el Índice de Agua y Humedales que desarrolla WWF, dista ampliamente de los objetivos planteados por la Directiva Marco Europea del Agua de 2000 -conseguir para 2015 el buen estado ecológico-, careciendo 12 de los 16 países europeos evaluados “de información suficiente para evaluar, a medio plazo, los efectos de la actividad humana en la biodiversidad”.

En España, la legislación al respecto se encuentra dispersa en las leyes de Aguas (1985), Costas (1987) y Conservación de la Naturaleza (1989), además de la legislación autonómica. Aunque existe actualmente un “Plan Estratégico Español para la Conservación y el Uso Racional de Humedales” desde 1999, la dispersión legal -existente en el propio MIMAM entre tres direcciones generales- es un obstáculo para la acción conservadora y regeneradora eficaz; basta ver como el Plan Hidrológico Nacional 2001 -básicamente un plan de obras en la secular tradición de la Administración Hidráulica- en su primera versión no contenía previsiones adecuadas para la protección frente al trasvase Ebro-Levante de nuestro segundo humedal en importancia: el Delta del Ebro. Solo tras los duros Informes de la Presidencia de la Asociación Española de Limnología y de la Misión Ramsar 2000 (Viñals, 2000), se elaboró un Plan al respecto, fuertemente cuestionado desde la comunidad científica (Arrojo, 2001). En mi opinión, esta situación, junto al sesgo hacia la obra de las Leyes de Aguas y Costas, aconsejaría la elaboración de una Ley de Protección de Lagos y Humedales.

En los últimos años, se va tomando conciencia de un nuevo riesgo que amenaza, especialmente en países con clima semiárido, la supervivencia de estos ecosistemas: el Cambio Climático. Su acción, como se mostrará, incide directamente sobre el agua -el medio propio en que se desarrollan las biocenosis-, tanto en cantidad y régimen como en calidad. Karas, en un informe de 1997 para Greenpeace, señalaba que “Con una elevación de la temperatura de 3 a 4 °C, podrían desaparecer el 90 % de los humedales del sur de Europa”.

2.-Impactos: disminución de lluvia y aportación y aumento de la evaporación

Los impactos previsibles del Cambio Climático sobre estos ecosistemas, pueden verse en la Figura 1. Como puede apreciarse, el impacto es múltiple:

- a) Descenso de los recursos hídricos que les mantienen.
- b) Aumento de la evaporación en lámina libre derivado del aumento de temperatura y cambios en el régimen higrométrico del aire y en el de vientos
- c) Subida del nivel medio del mar por expansión térmica del agua

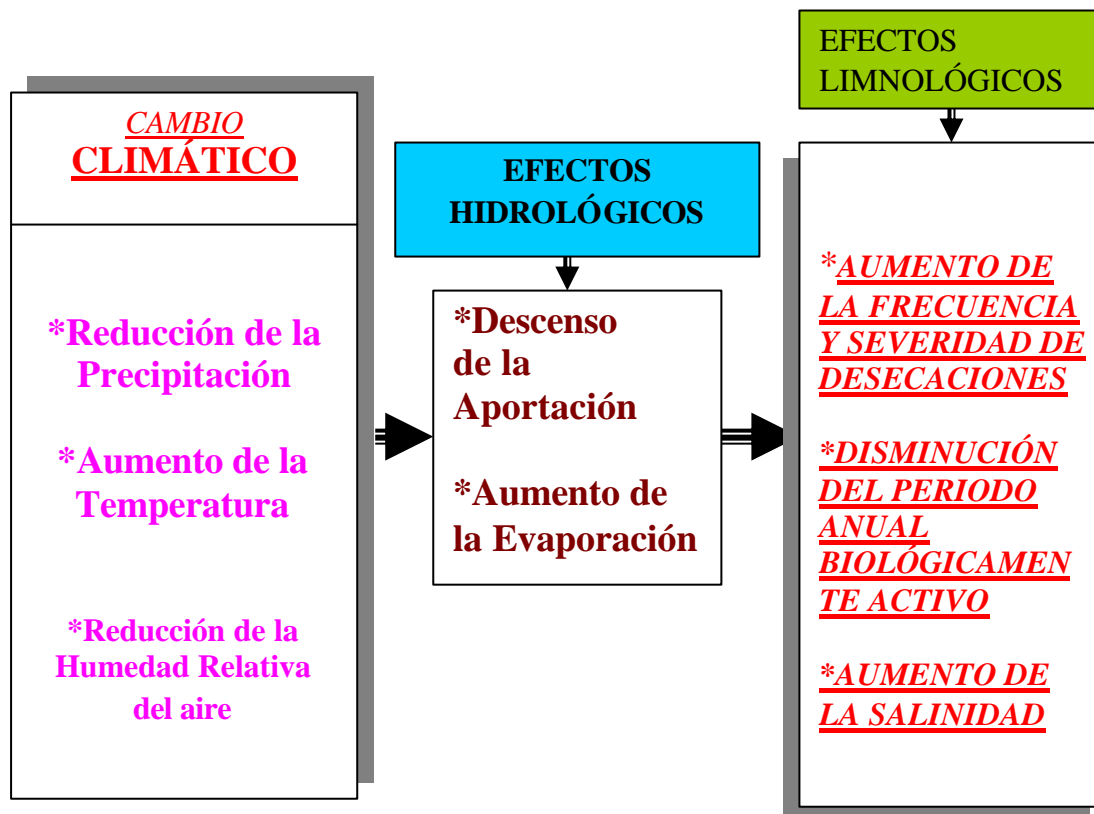
La relación entre el régimen hidrológico y térmico y las biocenosis es sumamente compleja (Margalef, 1983), por lo que la estimación de los efectos ecológicos finales debe hacerse en el cuadro de los modelos pertinentes a nivel local.

Estos problemas vienen recibiendo una atención creciente p.e. en EE.UU. (EPA, 2002; NOAA, 2002).

Ante todo, debe indicarse el impacto derivado del *descenso de la precipitación* sobre el propio humedal, que puede ser importante en lagos glaciares de montaña con cuenca de aportación pequeña, que se verían afectados también por el ascenso de la cota de nieves

derivado del aumento de temperatura. En la segunda mitad del siglo XX, se evidencian tendencias claras en la España peninsular con clima mediterráneo -la mayor parte del país y donde se localizan los lagos y humedales más importantes- tal y como puede verse en la Figura 2 (Ayala-Carcedo, 2001). Debe señalarse al respecto el hecho de que las reducciones se concentran en el invierno -periodo clave en la generación de escorrentía de aporte a las masas de agua- lo cual implica, especialmente para lagos y humedales estacionales alimentados pluvialmente, un grave problema.

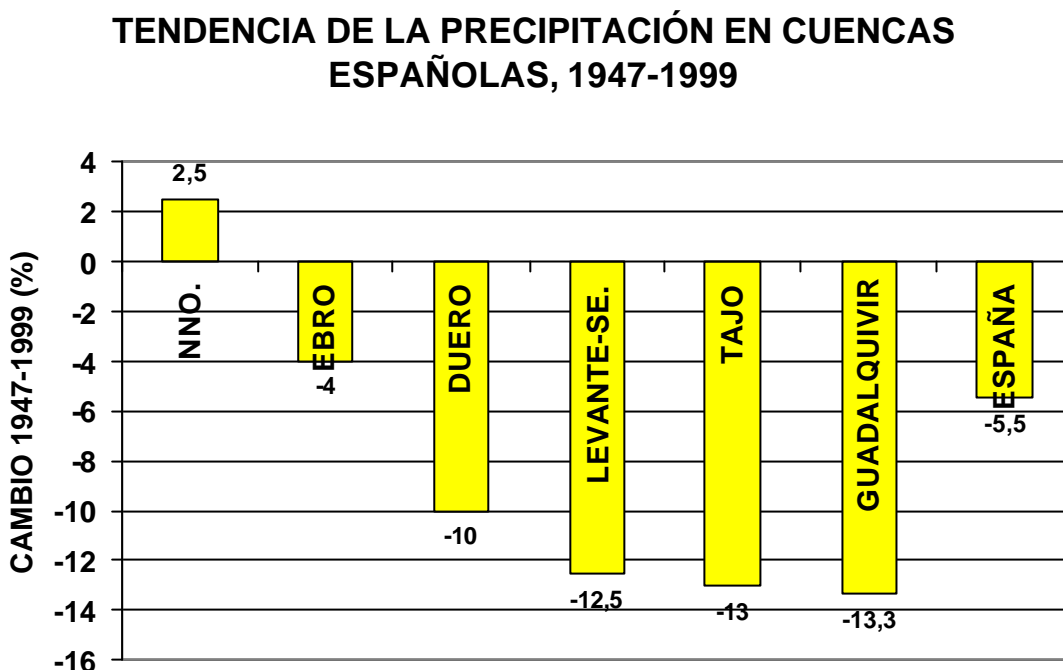
Figura 1.- Impactos previsibles del Cambio Climático sobre lagos y humedales



La evolución previsible de la *aportación anual* puede verse en la Figura 3 (Ayala-Carcedo, 1996). Este fenómeno afecta tanto a ecosistemas acuáticos de alimentación principalmente pluvial (p.e. las lagunas del Campo de Calatrava, vid. García Rayego *et al.*, 2000) como a los de alimentación fluvial (p.e. el Delta del Ebro) o subterránea (Daimiel). Debe notarse que *el efecto es acumulativo*, ya que los déficits respecto a la media actual, irían acumulándose año a año.

Ya en 1996, utilizando una aproximación sencilla basada en los trabajos de Meyer (1944) - una aproximación corriente entre los ingenieros de presas para la evaluación de la evaporación-, mostré que el problema de la incidencia del Cambio Climático en la *evaporación* era importante (Ayala-Carcedo, 1996). Esta aproximación se basaba en dos hipótesis: la constancia de la humedad relativa media del aire en el proceso de Cambio Climático, y la del viento.

Figura 2.- Evolución de la Precipitación en las diversas cuencas hidrográficas españolas, 1947-1999



El análisis de las series de datos de las principales estaciones meteorológicas españolas, pone de relieve, sin embargo, que para las zonas interiores -la mayor parte del país- hay una relación clara entre las temperaturas medias mensuales y la humedad relativa media, disminuyendo ésta al aumentar la temperatura, lo cual se traduciría en un aumento de la evaporación mayor del estimado inicialmente. Por otra parte, existen actualmente aproximaciones al cálculo de la evaporación en lagos y humedales basadas en el análisis comparativo de datos en todos los continentes entre las medidas en tanques evaporimétricos y las realizadas en masas de agua (Stanhill, 1976; Linacre, 2002) que permiten obviar el cálculo riguroso de la evaporación en lámina libre desarrollado por Penman (1948) - superando aproximaciones como la de Meyer basadas en la fórmula de Dalton o la falta frecuente de sondeos termométricos en lagos y humedales como los realizados p.e. por Coletto *et al.* (2001)-, cálculo que tiene el problema de que en la mayor parte de los observatorios meteorológicos no se dispone de datos suficientes para su aplicación.

Dada la falta en España de una cobertura suficientemente densa de observatorios que registren humedad relativa, viento, radiación solar y evaporimetría con series suficientemente largas, se ha desarrollado una *primera aproximación* rigurosa al tema - tomando en cuenta los cambios previsibles en la humedad relativa del aire derivados del Cambio Climático de acuerdo con lo que se observa actualmente- en base a los trabajos citados de Stanhill y Linacre aplicados a estaciones de la red principal en las diversas cuencas hidrográficas. Concretamente, se han tomado las estaciones siguientes:

- Cuencas del Norte: Gijón
- Duero: Valladolid (Villanubla)
- Ebro: Zaragoza
- Tajo: Toledo (Buenavista)
- Guadiana : Badajoz (Talavera la Real)

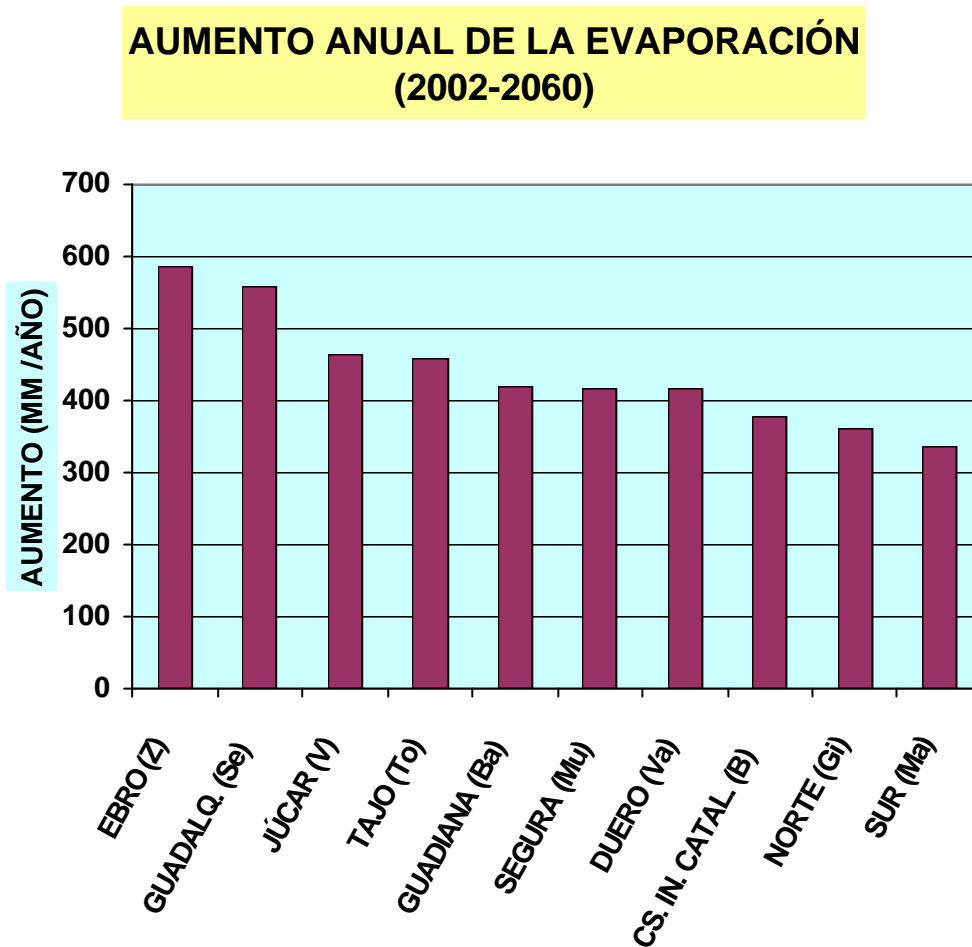
Guadalquivir: Sevilla (Tablada)
 Sur: Málaga (Aeropuerto)
 Segura: Murcia (Alcantarilla)
 Júcar: Valencia (Manises)
 Cuencas Internas de Cataluña : Barcelona (Aeropuerto)

Figura 3.-Evolución previsible de la Aportación hídrica anual en las diversas cuencas hidrográficas peninsulares



Dado que no se dispone de escenarios mensuales de temperatura suficientemente fiables derivados de los modelos de Cambio Climático, se ha tomado la estimación de aumento de la temperatura media anual para 2060 de 2,5 °C, homogénea para todo el país de acuerdo con el escenario del Instituto Nacional de Meteorología en 1995 a la Convención del Clima de la ONU, calculándose las evaporaciones mensuales de acuerdo con temperaturas y humedades relativas medias anuales y multiplicando por doce meses. Esta aproximación no es adecuada para los lagos de montaña por la cota de los observatorios utilizados.

Figura 4.-Aumentos absolutos de evaporación por Cambio Climático para 2060

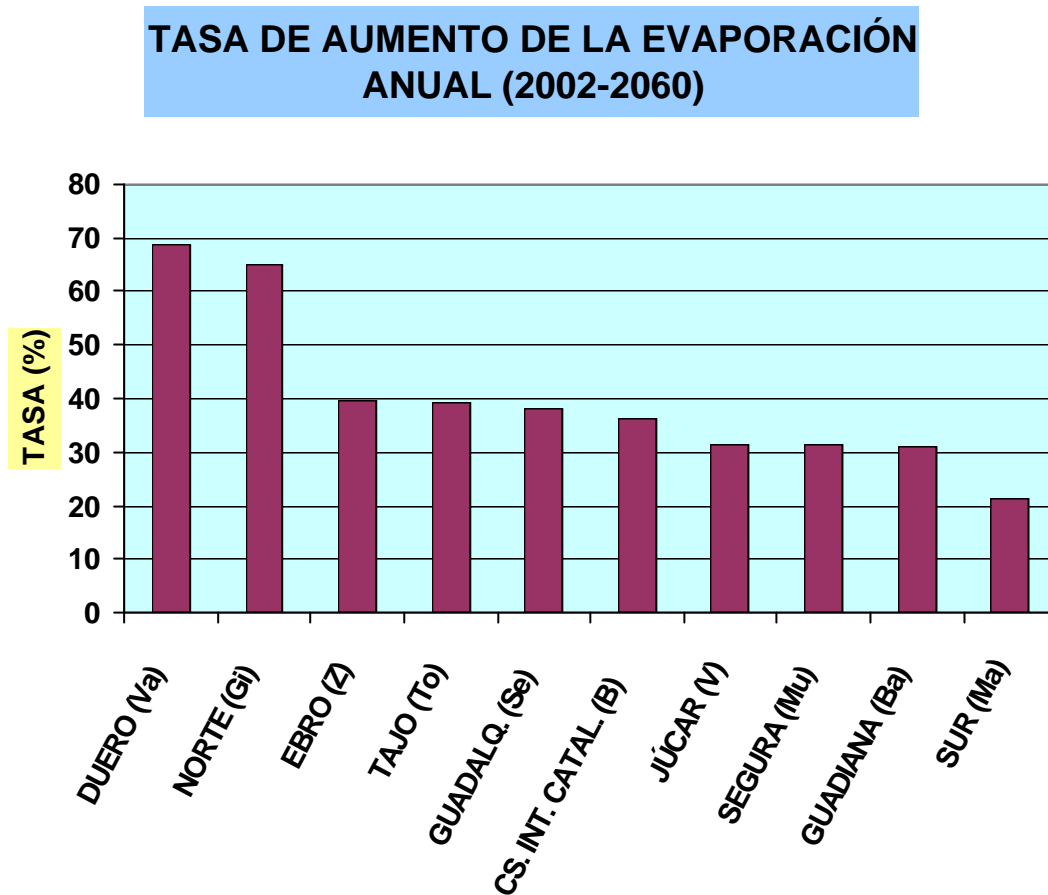


Por tanto, cabe prever afecciones crecientes a lo largo de este siglo tanto a los niveles como a la duración del ciclo húmedo, al ciclo térmico, a la termoclina (discontinuidad térmica que separa el epilimnion del hipolimnion), y, por supuesto, claros aumentos estructurales de la salinidad y disminuciones del O₂ disuelto al disminuir la cantidad de agua (Margalef, 1983; Fernández, 1982).

Es probable que, puntualmente, haya breves períodos muy húmedos -y también y mucho más probable, sequías más frecuentes, severas y progresivamente largas- de acuerdo con la intensificación de extremos que caracteriza al cambio Climático (IPCC; 2001).

Aunque las desecaciones no son anormales en las lagunas de régimen pluvial como la de Gallocanta, con desecaciones en las décadas de 1940, 1950, 1980 y 1990, e incluso estos procesos puedan aumentar su interés ecológico (Domínguez Ángel, 1986), el efecto combinado a que hemos aludido, parece sugerir una tendencia que puede acabar haciendo raros los períodos con agua, suponiendo un cambio estructural de consecuencias sin duda negativas para la avifauna, que podría acabar abandonando estos ecosistemas.

Figura5.-Aumento de la tasa de evaporación



El estudio de los registros sedimentarios en lagos y humedales combinado con modelos paleoclimáticos y paleobotánicos es una vía prometedora para profundizar en pronósticos más fiables tal y como se deduce del Proyecto Las Encinas, así como en el conocimiento de crisis hídricas en el pasado. No obstante, dada la diferente causalidad subyacente en los procesos paleoclimáticos -en buena medida cambios orbitales frente al aumento de gases invernadero del actual proceso de Cambio Climático-, las extrapolaciones al futuro pueden ser inadecuadas y cabe esperar más del perfeccionamiento de los modelos climáticos (Balairón, 2000)

3.-Impactos: subida del nivel medio del mar

Este efecto es debido en su mayor parte a la dilatación térmica del agua por aumento de la temperatura del aire, y también a la fusión de casquetes y glaciares continentales por la misma causa. En España, el análisis de la parte válida del registro del mareógrafo de Alicante, evidenciaba -como en muchas otras partes del mundo- una relación entre la subida y las temperaturas del aire (Hernández Ruiz y Ayala.Carcedo, 1991), siendo la subida media en el período 1970-1987 de aproximadamente 1,5 mm / año.

Los datos de que disponemos para el período 1990-2000 indican una severa aceleración de la subida. En el caso de Alicante, en el entorno de los 6,5 mm / año según he podido deducir de los registros existentes. En el caso de los mareógrafos del Cantábrico, entre 10 y 15 mm / año

de acuerdo con los análisis presentados por Alicia Lavín, investigadora del Instituto Español de Oceanografía en el curso de verano de 2001 en la Universidad de Cantabria. Dado que la década 1990-2000 ha sido la más calurosa del siglo, parece sugerir una respuesta no lineal de la subida, lo que de confirmarse, supondría una grave amenaza para los humedales deltaicos como el Delta del Ebro, severamente afectados a consecuencia de la desaparición del aporte sólido con la consiguiente regresión debida a los embalses en el Pirineo y en el cauce. En este caso, la mera extrapolación de la tendencia de la última década supone 32,5 cm de subida para 2050. Dado que la mitad del Delta está menos de 50 cm s.n.m., el problema que parece avecinarse, que viene precedido por el agravamiento de las entradas tierra adentro en los temporales marítimos, unos 2 km en el de abril de 2002, es realmente de supervivencia. Resulta dudoso, dado el reajuste del talud del Delta a la subida, con el consiguiente retroceso, que la costosísima polderización del Delta sea una garantía adecuada y no genere una falsa seguridad que acabe con una catástrofe a consecuencia de un temporal marítimo como el de Holanda en 1953 que produjo unos 3.500 muertos.

En el caso de Doñana, un ecosistema complejo cuya “evolución natural (...) se encuentra en un estado de madurez avanzada” (Rodríguez Vidal, 1999), la subida del nivel del mar sugiere un rejuvenecimiento.

5.-Conclusiones y recomendaciones

Por tanto, cabe concluir que prácticamente todos los lagos y humedales españoles, especialmente los de clima mediterráneo, presentaran problemas en las próximas décadas por la tendencia a bajar los niveles debido a la combinación acumulativa de efectos inducidos por el Cambio Climático.

Los problemas serán especialmente agudos para las masas de agua de alimentación principalmente pluvial, estacionales, y más marcados en el interior que en el litoral. En éste, el problema puede verse agravado en las zonas deltaicas o subsidentes por la subida, actualmente acelerada, del nivel del mar, siendo este problema especialmente grave para el Delta del Ebro por la pérdida de aporte sedimentario debida a los embalses de la cuenca. En el caso de Doñana el efecto de este proceso puede ser un cierto rejuvenecimiento que aumentará la influencia mareal en el interior del Parque.

Ante la gravedad de los problemas previsibles, parece razonable : a) Elaborar una Ley de Protección Lagos y Humedales que acabe con la descoordinación que posibilita la inclusión de estos ecosistemas clave en al menos tres leyes estatales, dos con sesgo constructivo más que conservacionista b) Promover la realización de una Red Meteo-Limnimétrica -de cantidad y calidad- que posibilite la adquisición de datos que permitan prever la evolución futura y el seguimiento de los procesos.

Bibliografía

Arrojo ed. (2001): El Plan Hidrológico Nacional a debate, Bakeaz, Fundación Nueva Cultura del Agua, 51-66.

Asociación Española de Limnología (2001): Informe de la Presidencia sobre el Plan Hidrológico Nacional, Alquibla, 33.

Ayala-Carcedo, F.J. (1996) : “Reducción de los Recursos Hídricos en España por el posible Cambio Climático”, *Tecnoambiente*, Madrid, 64, 43-48.

Ayala-Carcedo, F.J. (2001): “Impactos del Cambio Climático sobre los recursos hídricos en España y viabilidad del Plan Hidrológico Nacional 2000”, en Arrojo ed. *El Plan Hidrológico Nacional a debate*, Bakeaz, Fundación Nueva Cultura del Agua, 51-66.

Balairón, L. edit. (2000): El Cambio Climático, El Campo de las Artes y las Ciencias , 137, Servicio de Estudios del BBVA.

Coletto, C., Bermejo, A. y Rico, E. (2001): El complejo lagunar de Arquillo. Estudio ecológico, Instituto de Estudios Albacetenses, Diputación Provincial, Albacete.

Domínguez Angel, S. (1986): “Descripción general de las características biológicas de la Laguna de Gallocanta y su cuenca”, en Da Cruz, H. coord. Guía de las Zonas Húmedas de la Península Ibérica y Baleares, Miraguano Ediciones, Madrid, 79-92.

EPA (2002): Global Warming. Minnesota, <http://www.epa.gov/globalwarming/impacts/stateimp/minnesota/>

Fernández, J.A. (1982): Guía de campo del Parque Nacional de Doñana, Omega, Barcelona.

García Rayego *et al.* (2000): Humedales de Ciudad Real, Esfagnos, Talavera de la Reina.

Hernández, M. y Ayala-Carcedo, F. J. (1991): “Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Alicante I (1874-1987)”, Bol. Geol. y Minero, Vol. 102-6, 127-136.

IPCC (2001): Third Assessment Report on Climate Change, United Nations (hay versión en la red).

Karas, J. (1997): El Cambio Climático en la Región Mediterránea, Greenpeace.

Linacre, E.T. (2002): Estimating U.S. Class-A pan evaporation from few climate data, <http://www-das.uwyo.edu/geerts/cwx/penpan.html>

Margalef, R. (1983): Limnología, Omega, Barcelona.

Meyer , A.F. (1944): Evaporation from Lakes and Reservoirs, Minnesota Resources Commission, St. Paul.

MIMAM (2002): Conservación de la Naturaleza / Banco de Datos de la Naturaleza. Humedales Españoles inscritos en la lista del Convenio RAMSAR, http://www.mma.es/bd_nat/incluser/ramsar.htm

MIMAM (2002): Octava Reunión de la Conferencia de las partes contratantes del Convenio sobre Humedales, http://www.mma.es/cop8/COP8_medre.htm

Montes, C. (coord..) (1997): Inventario de lagos y humedales españoles, INIA, Madrid

NOAA (2002): Great Lakes Water Level,
<http://www.glerl.noaa.gov/data/now/wl/wvels/lowlevels/>

Pardo, L. (1948) : Catálogo de los lagos de España, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Mº de Agricultura, Madrid.

Penman, H.L. (1948): “Natural evaporation from open water, bare soil and grass”, Proceedings of the Royal Society, London, A193: 120-145.

Rodríguez Vidal, J. (1999): “Doñana”, en Durán Valsero y Nuche eds., Patrimonio Geológico de Andalucía, ENRESA, Madrid, 216-219.

Stanhill, G. (1976): The CIMO International Evaporimeter Comparisons, World Meteorological Organization, Public. 449, Geneva.

Tello, B. y López Bermúdez, F. (1988): Guía Física de España: Los Lagos, Alianza, Madrid.

The “Las Encinas” Project (2002):
<http://www.staff.ncl.ac.uk/ian.boomer/las.encinas/index.html>

Viñals, M.J. (2000): Misión Ramsar de asesoramiento N° 43, Delta del Ebro, Cataluña, España, 18-22 de septiembre de 2000, Convención Ramsar, www.ramsar.org

WWF (2002): Indice de Aguas y Humedales,
<http://www.panda.org/europe/freshwater/wwi/phase1/brochure-es.html>