

LA GESTIÓN DE LOS EMBALSES EN RELACIÓN A LA CALIDAD DEL AGUA EN CONDICIONES DE SEQUÍA EXTREMA

Joan Armengol

FLUMEN. Departamento de Ecología, Facultad de Biología
Universidad de Barcelona, Avda. Diagonal, 645, 08028 Barcelona
jarmengol@ub.edu

José Javier Rodríguez, Juan Carlos García

Aigües Ter Llobregat (ATLL)
c/ Afores, s/n, 08044 Cardedeu, Barcelona, España

Jaime Ordóñez

FLUMEN. Departamento de Ecología, Facultad de Biología
Universidad de Barcelona, Avda. Diagonal, 645, 08028 Barcelona

Rafa Marcé

Institut Català per la Recerca del Aigua (ICRA)
Parc Científic i Tecnològic de la Universitat de Girona, 17003 Girona, España

Resumen: Muchas de las grandes ciudades de España utilizan para el abastecimiento de agua potable la proveniente de embalses. En unos pocos casos se trata de embalses expresamente contruidos para esta finalidad y en otros se ha ido priorizando este uso por encima de otros para los que fueron especialmente diseñados. Aunque en todos los embalses el tema de la cantidad es importante, cada vez cobra mayor protagonismo la calidad del agua que almacenan. En este trabajo se pasa revista a las técnicas de gestión de los embalses con vistas a mejorar el agua que suministran aplicado al sistema Sau - Susqueda en el río Ter y a los de La Baells, La Llosa del Cavall y Sant Ponç que abastecen a Barcelona. En los embalses del Ter la gestión de los embalses en los periodos hidrológicos "normales" o "húmedos" se realiza favoreciendo los procesos de autodepuración del agua mediante las comunidades planctónicas y la selección del agua de mejor calidad en "la columna de agua" mediante torres con salidas múltiples. Por el contrario, en los años "secos", con poco volumen de agua almacenada y en los que la calidad del agua empeora de forma ostensible, es necesario realizar trasvases de agua de las cotas en las que la calidad del agua es buena hacia los embalses que se encuentran aguas abajo. En este caso la entrada de agua más fría, y por ello de mayor densidad, hace que se produzca una inyección de agua con mayor concentración de oxígeno en la zona profunda de los embalses de la parte inferior del río y a la vez que se gane cota para aumentar las posibilidades de gestión de las compuertas de profundidad variable. Por el contrario en los embalses del río Llobregat, que son mesotróficos, y por ello de mejor calidad del agua, el criterio que se sigue es el de extraer el agua por el fondo para favorecer la renovación del agua de esta zona y así evitar que se pueda agotar el oxígeno y formar compuestos reducidos o disolución de metales desde el sedimento.

INTRODUCCIÓN

Los recientes informes de expertos de las Naciones Unidas sobre cambio climático han tenido una buena aceptación a nivel de los ciudadanos y dirigentes políticos de la gran mayoría de los países europeos. Se puede decir que hay una creciente sensibilización sobre el tema de aprovechamiento de los recursos, especialmente los no renovables, pero también de los renovables en aquellas zonas en la que son escasos.

Hasta ahora, la zona mediterránea, ha sido una zona considerada con recursos hídricos suficientes a largo plazo, si bien mal repartidos a escala estacional y con una gran variabilidad interanual. En estos momentos hay un cierto consenso sobre las predicciones de cambio climático que afectaran a la Península Ibérica. Si bien es cierto que habrá un descenso en los aportes por lluvia, el cambio más importante será la alternancia de largos periodos de sequía con otros cortos de lluvias torrenciales de mucha intensi-

dad. En estas condiciones, los embalses pasaran a tener un papel muy destacado en la regulación de los recursos hídricos, previsiblemente mucho más destacado del que han tenido en el pasado (Marcé *et al.*, 2009).

En España, la gestión hidráulica de las aguas superficiales se ha basado en la capacidad de almacenamiento de los cerca de 1300 embalses distribuidos por todo el país y que pueden almacenar entorno a 53 km³ de agua. Aunque tradicionalmente su función principal ha sido el regadío y la producción hidroeléctrica, cada vez se ha diversificado más su uso y entre ellos hay que destacar por su importancia el abastecimiento de agua potable a grandes ciudades. Así Madrid con el Canal de Isabel II, Barcelona con Aigües Ter-Llobregat, Sevilla con la Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Sevilla y Bilbao con el Consorcio de Aguas de Bilbao, son algunas de las ciudades y empresas que utilizan embalses como reservorios en los que almacenar una parte muy importante del agua que abastecen. No es extraño pues que sean precisamente los embalses gestionados por estas empresas los que han recibido más atención desde el punto de vista de la calidad del agua que acumulan, el seguimiento de su evolución en el tiempo y en el desarrollo de medidas de gestión. Por este motivo, buena parte de la información disponible sobre ecología de los embalses, su evolución trófica o su estudio a largo plazo, corresponden a los embalses gestionados por las mencionadas empresas. Recientemente, la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea esta permitiendo realizar una caracterización de las aguas continentales a nivel nacional, y dentro de ellas, los embalses están siendo estudiados por los diferentes organismos de cuenca, Confederaciones Hidrográficas, Agencias del Agua (ACA, 2006; Navarro *et al.*, 2009 a, Navarro *et al.*, 2009 b) y otros organismos estatales (CEDEX). Toda esta información requiere un esfuerzo muy importante de recogida de datos con el que se espera se pueda poner al día los estudios de tipificación de los embalses españoles realizados en los años 70 por Margalef (Margalef *et al.*, 1976) y en los 80 por Armengol (Armengol *et al.*, 1991; Riera *et al.*, 1992).

Como se ha mencionado anteriormente, los embalses de abastecimiento de agua potable, son sistemas muy sensibles por la importancia que en ellos tiene la preservación o, incluso mejora, de la calidad del agua que contienen y se consideran la base para la planificación de la garantía de abastecimiento a muchas grandes ciu-

dades (Armengol y Dolz, 2009). No es extraño, que además del estudio rutinario, los embalses de abastecimiento hayan sido objeto de proyectos I+D para establecer protocolos de gestión, o que se hayan estudiado desde una perspectiva mucho más científica para conocer los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en ellos y cuya información puede ser el punto de partida de nuevas técnicas de gestión (Armengol *et al.*, 2005).

En este trabajo se hace una descripción de los estudios realizados en el sistema de embalses de los ríos Ter y Llobregat, que abastecen del orden de 300-350 hm³ de agua al área metropolitana de Barcelona con más de 4 millones de habitantes. Es importante destacar los estudios a largo plazo realizados en el embalse de Sau en el río Ter, que se iniciaron en 1964, con su primer llenado y han continuado hasta la actualidad. Sau, primero, y Susqueda, más tarde, constituyen un ejemplo de gestión de embalses.

Durante las dos últimas sequías, la de 2005 y la de 2007-08 se realizó un amplio programa de gestión de la escasa agua que quedaba en los embalses de Sau y Susqueda con vistas a preservar en la medida de lo posible su calidad. Es bien conocido que los embalses a medida que se van vaciando, ya sea por sequía, por operaciones de mantenimiento, reparaciones, etc., tienen agua de calidad cada vez peor. Este efecto es una consecuencia del arrastre hacia la presa de los sedimentos de la zona fluvial que van quedando fuera del agua o por la resuspensión de sedimentos, que liberan nutrientes y lixiviados del sedimento, lo que da lugar a una gran proliferación del fitoplancton. En estas condiciones de poco volumen de agua almacenada, el tipo de gestión a realizar es diferente al que se sigue en los años húmedos. En estas situaciones cobran valor la disposición de varios embalses en cadena, como ocurre en el río Ter, y que permitan el trasvase de agua según criterios de calidad previamente establecidos.

CAMBIO GLOBAL. REDUCCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS Y SEQUÍAS

Las sequías constituyen los momentos más críticos en la disponibilidad de agua y precisan de soluciones drásticas para poder garantizar el abastecimiento de agua potable. Su efecto sobre la población es muy importante en términos de sensibilización como lo demuestra el rápido descenso en el consumo de agua. No obstante, cuando se analiza la evolución del caudal que circula por los ríos se aprecia una tendencia a la

reducción en la disponibilidad de recursos hídricos.

Normalmente se asocia la poca disponibilidad de agua a la existencia de periodos de sequía en los que los embalses están bajo mínimos y los ríos presentan un caudal muy bajo. No obstante, esta es la parte visible, y que despierta la sensibilidad o las conciencias y consigue que el consumo de agua baje. La otra parte del problema es que hay una tendencia continuada, con frecuencia poco perceptible, a una menor disponibilidad de agua (Dolz y Armengol, 2008).

Los datos recopilados en el embalse de Sau a lo largo de su existencia (Figura 1) constituyen un magnífico ejemplo de lo que se acaba de comentar. Si tomamos dos medidas, que en el fondo reflejan lo mismo, los aportes del Ter al embalse de Sau y su tasa de renovación teórica del agua (Figura 1) se puede apreciar una lenta, pero progresiva reducción en la disponibilidad

del agua. Aunque la confirmación estadística de esta afirmación es escasa, no deja de ser una tendencia que se ha confirmado para muchos de los ríos para los que se disponen series largas de datos sobre el caudal anual que circula por ellos. Las justificaciones son múltiples, menor precipitación anual, incremento en la demanda de agua para regadío, aumento de la cobertura forestal que incrementa la evapotranspiración, etc., que se superponen de forma aún no conclusiva con las previsiones de cambio climático (Marcé, *et al.*, 2009). Pero la causa de la reducción no quita importancia a la evidencia de la información disponible. Los datos concretos para el embalse de Sau indican que desde 1964 hay un descenso en los aportes de agua de $5.94 \text{ hm}^3/\text{año}$ o, lo que es lo mismo, en el 2006 entraron aproximadamente unos 250 hm^3 menos que en 1964 lo que supone una reducción del 40 %.

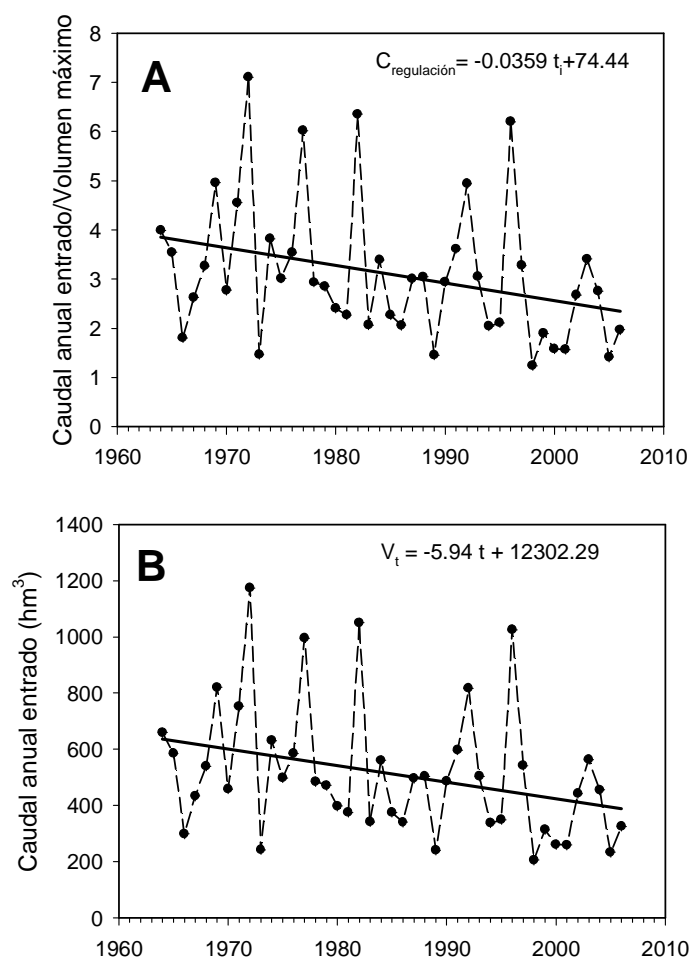


Figura 1. Pérdida de capacidad de regulación del caudal del río Ter por el embalse de Sau. A) Tasa de renovación teórica del agua o número de veces que se podría llenar cada año Sau. B) Reducción del caudal entrado a lo largo de la historia de Sau. Se puede apreciar que hay un reducción media de $5.94 \text{ hm}^3/\text{año}$ o una pérdida de caudal aportado de 249.5 hm^3

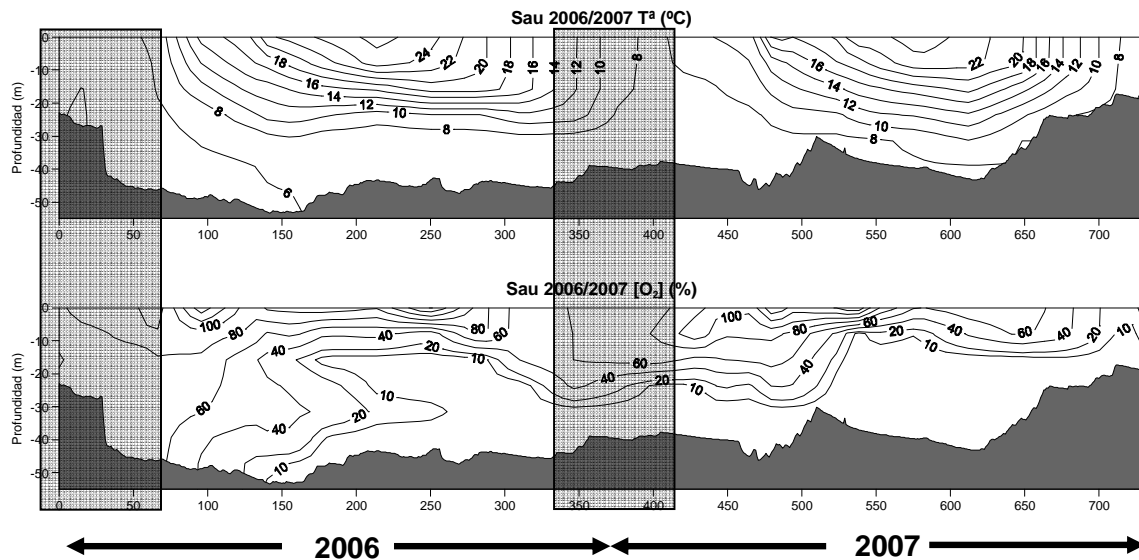


Figura 2. Ciclo térmico y de concentración de oxígeno del embalse de Sau durante 2006-07. Se puede apreciar como en el invierno 2006-07 no se alcanzó la mezcla de todo el embalse desde la superficie hasta el fondo. Así en el invierno 2005-06, área gris de la izquierda la temperatura mínima de toda la columna de agua fue de 5 °C lo que permitió la entrada de oxígeno hacia el fondo hasta alcanzar valores del 80 % de saturación. Por el contrario, durante el invierno 2006-07, área gris de la derecha la duración del periodo de isoterma tan solo duró tres semanas en enero y sin que esto permitiera romper la oxiclina, motivo por el que el fondo del embalse permaneció anóxico durante 18 meses

Cuando estos datos se analizan como una alternancia de años secos, normales y húmedos se acostumbra a apelar a la variabilidad climática, pero sin tener en cuenta que cada vez los periodos extremos de bajo caudal son más frecuentes, mientras que la demanda de agua potable disminuye en menor medida.

Otro de los efectos previsibles del cambio climático es el aumento de la estabilidad térmica de los embalses, en otras palabras, los lagos y embalses estarán más tiempo estratificados llegando incluso a no mezclarse en los inviernos de temperaturas suaves. En la península Ibérica los embalses están aproximadamente 9 meses estratificados, de marzo a noviembre y empiezan a detectarse casos en los que este periodo se alarga en la medida que las temperaturas invernales se suavizan. En el embalse de Sau ya se ha detectado un aumento de la estabilidad térmica en los meses de verano como consecuencia de la gestión de la profundidad a la que se extrae el agua (Moreno *et al.*, 2008) y en el invierno 2006-2007 por primera vez en toda su historia no se produjo la mezcla completa del embalse (Figura 2). Estas condiciones no deben suponer un cambio importante en la calidad del agua superficial en años hidrológicos normales o húmedos, pero si se combinan estas condiciones con las de años secos, que obliguen a utilizar toda el agua al-

macenada, incluyendo la anóxica, con elevadas concentraciones de compuestos reducidos, amonio, ácido sulfhídrico, materia orgánica disuelta y metales disueltos el coste de la potabilización del agua aumentará considerablemente.

LA GESTIÓN DE LOS EMBALSES DEL TER

El sistema del Ter está formado por tres embalses, Sau, Susqueda y El Pastoral. De los cuales los dos primeros son de almacenamiento, mientras que el tercero, mucho más pequeño, es de regulación y constituye el punto de derivación del canal que lleva el agua hacia Barcelona. En condiciones de aportes de agua correspondiente a años húmedos o normales, la gestión del sistema Sau-Susqueda se basa en tres principios:

1. *Saneamiento de aguas residuales.* Se basa en el tratamiento de todos los aportes puntuales de la cuenca alta del Ter mediante depuradoras biológicas con tratamiento terciario. Este plan de saneamiento, que finalizó en 1998 tuvo dos fases, la primera para eliminar el fósforo y que se acabó en 1994 y la segunda para reducir los aportes de nitrógeno que se completó en 1997. Desde entonces los aportes de nutrientes a los embalses se han reducido al nivel de 1964 (Figura 3).

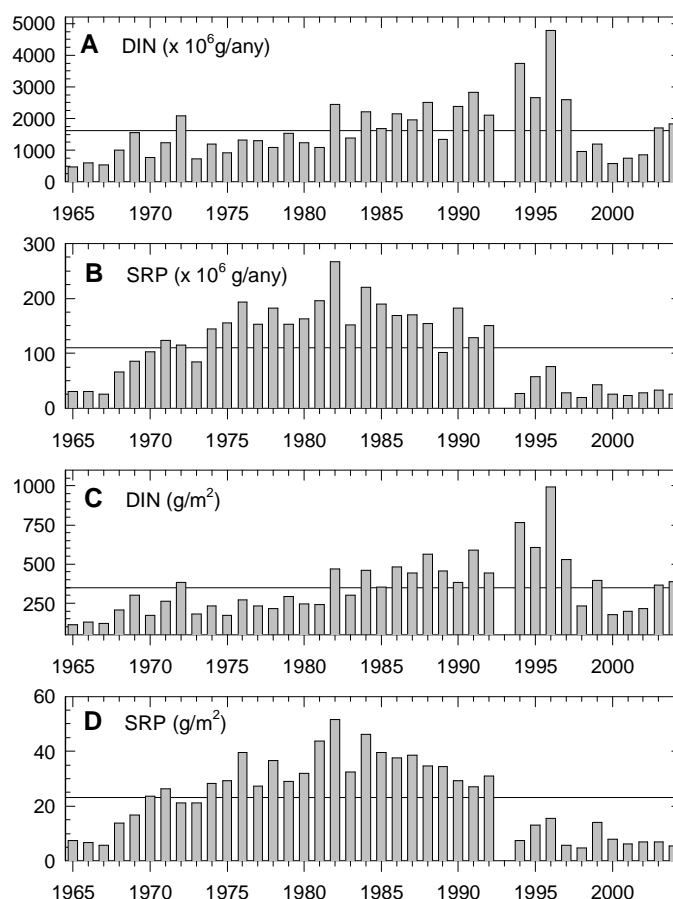


Figura 3. Evolución de las cargas de nitrógeno inorgánico disuelto (DIN) y de fósforo reactivo soluble (SRP) entradas en Sau a lo largo de su historia. Mientas que A) y B) corresponden a las cargas totales entradas, C y D son las cargas superficiales

2. *La autodepuración.* Favorecer todos aquellos procesos internos, físicos, químicos y biológicos que reduzcan la circulación de los aportes de materia orgánica y nutrientes que entran en los embalses (Figura 4) (Armengol *et al.*, 1999).
3. *La gestión hidráulica.* Se trata de favorecer el aumento de la estabilidad térmica de la columna de agua y la selección del agua de mejor calidad que se extrae de cada embalse (Figura 5).

En condiciones hidrológicas normales o con un volumen elevado de agua almacenado en los embalses la gestión se realiza extrayendo el agua por las compuertas más próximas a la superficie y que garantizan que no se succionará aire hacia las turbinas. En Sau hay tres profundidades de extracción y en Susqueda cuatro y la combinación de las profundidades de ambas torres de extracción permiten un amplio abanico de posibilidades. En ambos embalses la circulación del

río Ter es intermedia durante buena parte del año, por lo que este tipo de gestión favorece la formación de una termoclina muy estable (Moreno *et al.*, 2008) y permite que el hipolimnion actúe como una cubeta de sedimentación donde se acumulan los sólidos en suspensión y los compuestos precipitados desde las capas superficiales.

Por el contrario, en los años de sequía la estrategia que se sigue es la de acumular toda el agua en el embalse inferior aprovechando que el agua de Sau es más fría y se sitúa a profundidades intermedias de Susqueda. El ejemplo de la sequía de octubre de 2005 (Figura 5) resulta ilustrativo ya que se aprovechó la diferencia de densidad entre la capa superior de Sau, más caliente, estratificada y de mejor calidad para pasarla a Susqueda antes de que se mezclara con la del fondo. En Susqueda el agua trasvasada se situó en torno a los 40 m de profundidad, con lo que se ganó capacidad de gestión de las compuertas y se mejoró la calidad del agua del metalimnion.

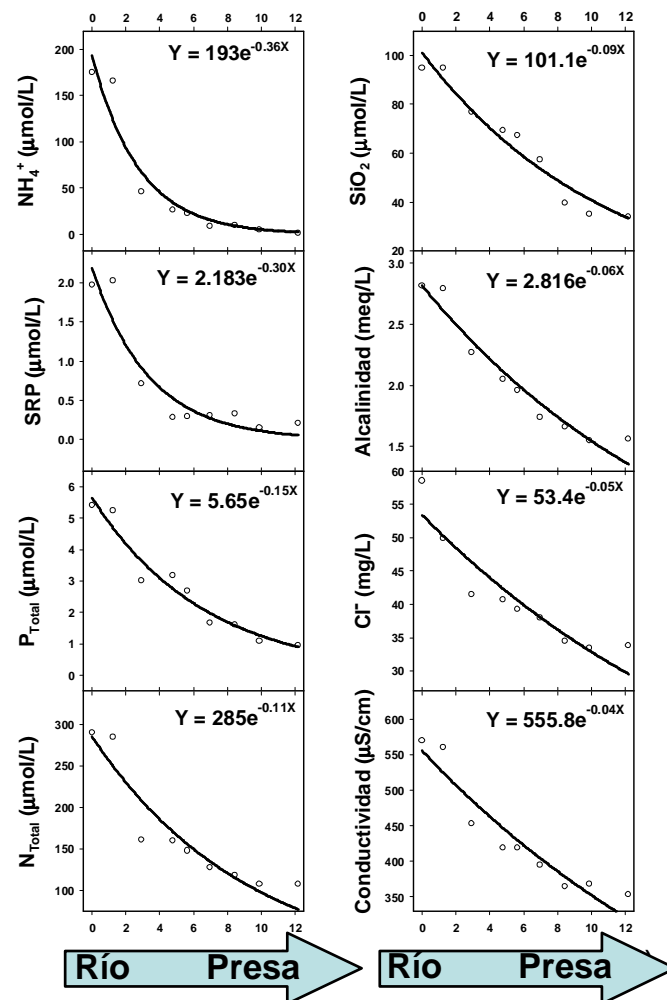


Figura 4. Evolución de la composición química del agua en el epilimnion de Sau en Junio de 1996. Se puede apreciar como los aportes de nutrientes y otras sales disueltas que entran por el río Ter van siendo eliminadas a medida que atraviesan el embalse (Armengol *et al.*, 1999)

En la sequía del 2007-08 el procedimiento utilizado fue similar al de 2005 solo que en este caso se hizo un seguimiento mucho más exhaustivo para garantizar que la circulación del agua que se extraía de Sau iba a situarse en las capas inferiores de Susqueda. En el ejemplo de la Figura 6 se puede ver como el agua que salía de Sau a finales de marzo de 2008 circulaba dentro del embalse de Susqueda, cosa que se puede apreciar por la combinación de algunas variables como la turbidez, fitoplancton y sólidos en suspensión, y la conductividad. En este caso la situación no era demasiado satisfactoria, ya que, como se puede apreciar, la profundidad a la que circulaba el agua coincidía con la de la compuerta 4 por la que se extraía el agua de Susqueda. Esta situación no se pudo evitar ya que las compuertas 1 y 2 estaban fuera del agua y la 3 estaba demasiado cerca de la superficie y existía el peligro de que también succionara aire

y pudieran producirse problemas de cavitación en las turbinas.

Este tipo de maniobras son especialmente importantes en embalses eutróficos en los que el agua profunda es anóxica y acumula compuestos reducidos, amonio, ácido sulfhídrico y metales disueltos, manganeso, hierro entre otros. En estas condiciones hay una pérdida muy importante de calidad del agua de la parte profunda y la estratificación, que dura en torno a 9 meses, segrega el agua superficial de buena calidad de la del resto. La extracción por salidas situadas a diferentes profundidades permite pasar este agua a lo largo de la cadena de embalses. En definitiva se trata de favorecer o incrementar la compartimentación vertical de los embalses del sistema extrayendo el agua superficial. En el caso del río Ter con los dos embalses mencionados se puede obtener una mejora muy importante en la calidad del agua.

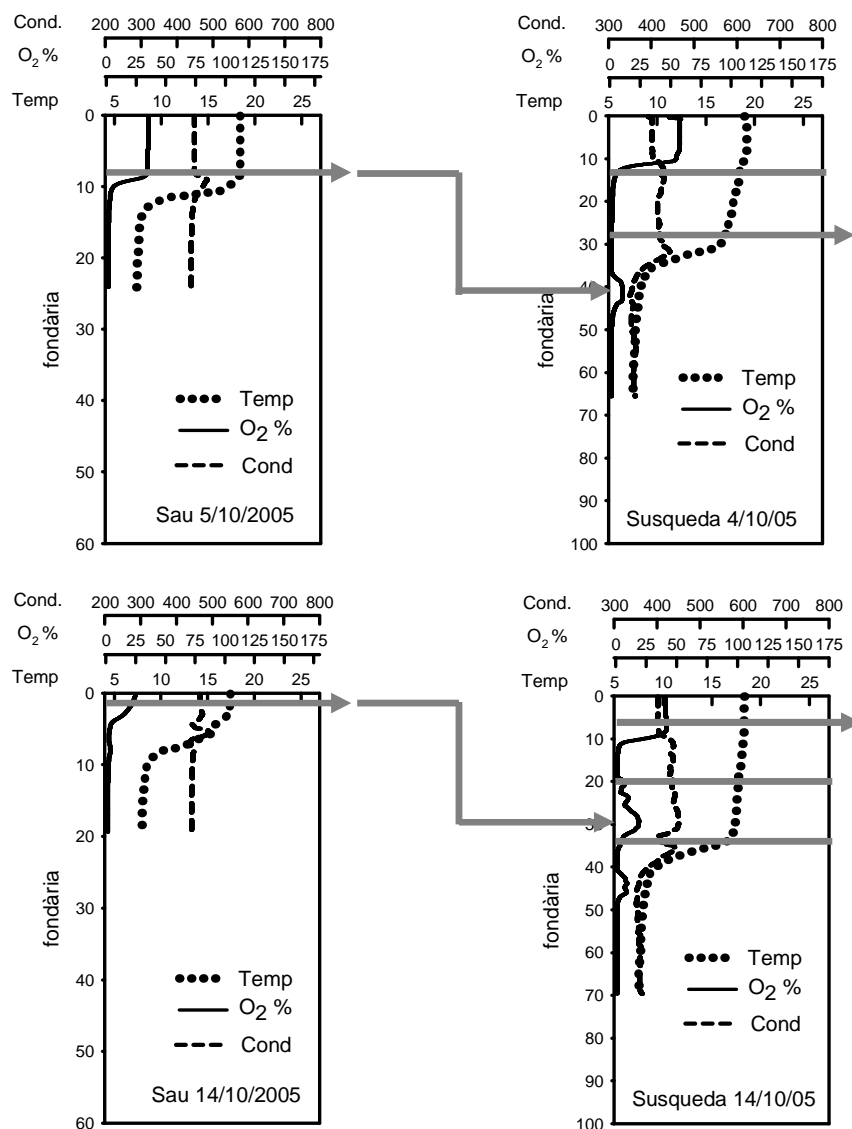


Figura 5. Ejemplo de una maniobra de trasvase de agua de Sau a Susqueda durante la sequía de otoño de 2005. La operación consistió en pasar a una profundidad intermedia de Susqueda el agua superficial de Sau, de buena calidad. Este proceso permitió ganar capacidad de gestión de las compuertas de Susqueda y mejorar la calidad de la capa intermedia por aporte de agua con un contenido de oxígeno superior al que existía antes del trasvase. La flechas grises indican el flujo de agua trasvasada y las líneas horizontales la profundidad de las compuertas disponibles pero que no se usaban

LA GESTIÓN DE LOS EMBALSES DEL SISTEMA LLOBREGAT

En el río Llobregat la situación es completamente diferente a la del Ter ya que en este caso los tres embalses, La Llosa del Cavall, Sant Ponç y La Baells se encuentran en la cabecera de la cuenca y con una muy baja influencia de la actividad humana. Por este motivo su estado trófico es excelente y no es necesario una gestión mediante torres de salida del agua a profundidad variable.

En los tres embalses del Llobregat los procesos de autodepuración naturales llevados a cabo por los organismos planctónicos son suficientes para procesar la escasa cantidad de materia orgánica y nutrientes que llegan por el río. En estos casos la salida del agua por el fondo o por alguna salida profunda permite la renovación del agua del hipolimnion y evita el estancamiento del agua que se encuentra en esta zona del embalse y reduce la pérdida de calidad que esto podría suponer a lo largo de los 9 meses en que está estratificado.

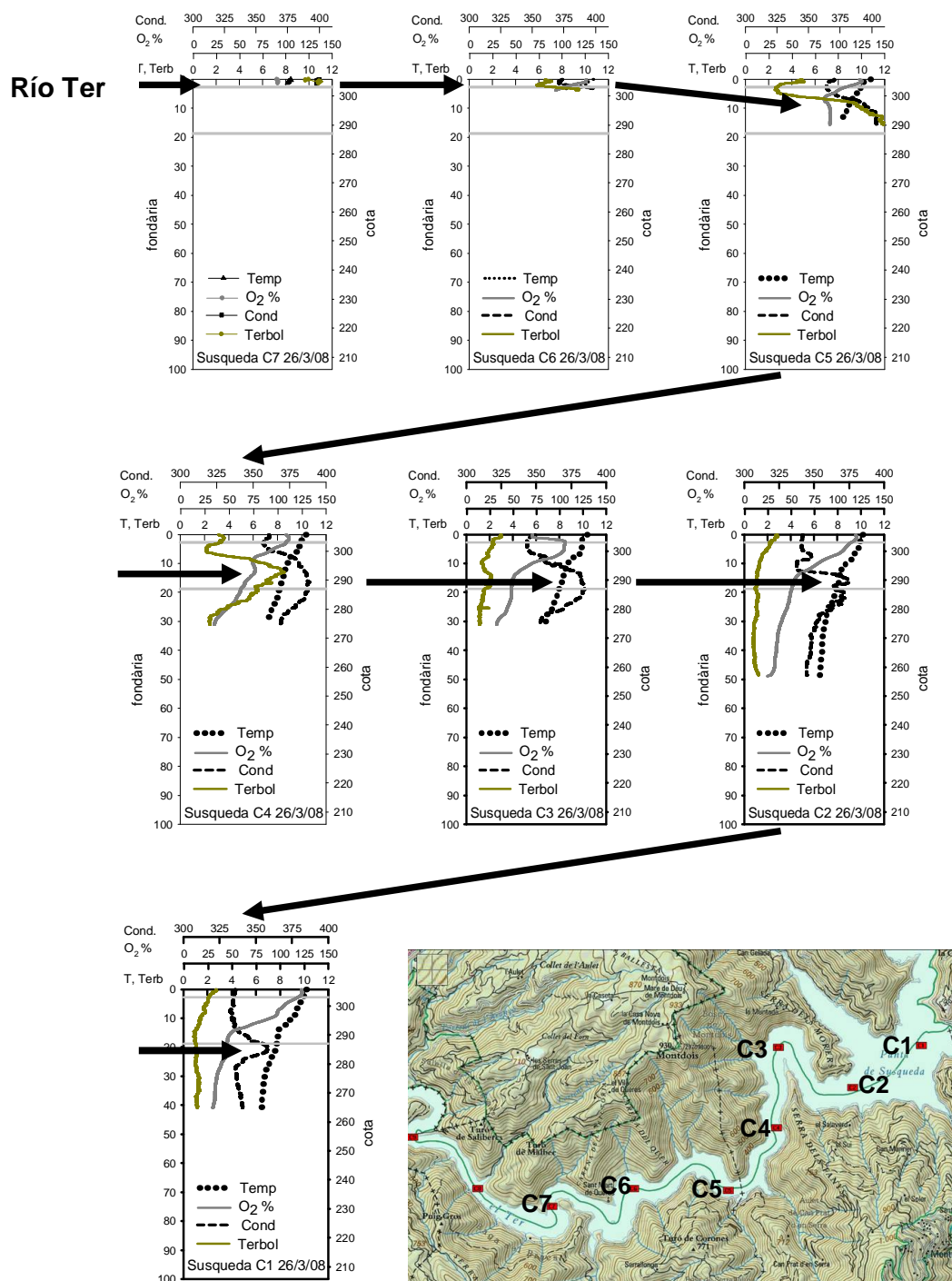


Figura 6. Perfiles de temperatura, porcentaje de saturación de oxígeno, turbidez y conductividad eléctrica de la columna de Susqueda durante el trasvase que se realizó en marzo de 2008. Se puede observar el progresivo hundimiento del agua que proviene de Sau hasta 20 m de profundidad, lo que se pone en evidencia por la conductividad eléctrica y la turbidez que sirven como trazadores del agua que está entrando

En la Figura 7 se pueden ver los perfiles de temperatura, saturación de oxígeno y conductividad eléctrica del agua a finales de setiembre de 2005. Se puede apreciar que tan solo en la Baells hay una ligera hipoxia a partir de los 25 m, lo que contrasta con los perfiles similares de los embalses del Ter que para la misma época se

muestran en la Figura 4.

En resumen, si el estado trófico de los embalses es bueno, oligotrófico o mesotrófico, la renovación por el fondo es más que suficiente para mantener la calidad del agua de toda la columna tanto en periodos de sequía como en los años húmedos.

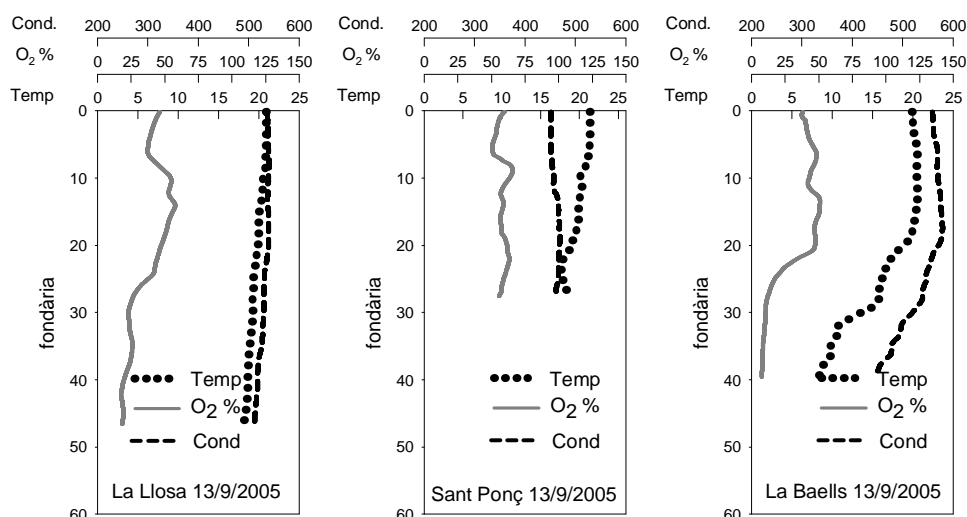


Figura 7. Perfiles de temperatura, porcentaje de saturación de oxígeno y conductividad eléctrica del agua en los embalses de la cuenca del río Llobregat. En los tres embalses la salida del agua se realiza por las proximidades del fondo, con lo que se preserva el mantenimiento de la calidad del agua al disminuir el tiempo de residencia del agua en estos niveles. La comparación con los perfiles de los embalses del Ter en la misma época (Figura 5) permite observar las diferencias en la calidad del agua de ambos sistemas

CONSIDERACIONES FINALES

Los ejemplos mostrados sobre la gestión del agua en los embalses de los ríos Ter y Llobregat no constituyen en ningún caso las únicas posibilidades existentes. Es muy importante tener un buen conocimiento de la hidrodinámica de los embalses para establecer la forma en que el agua se mueve dentro de ellos. Los embalses se estratifican física y químicamente formando capas que tienen tiempo de renovación diferente (Rueda *et al.* 2006). Su gestión pasa por aumentar el tiempo de residencia de las capas de agua que presentan niveles bajos de oxígeno y tienen condiciones reductoras, mientras se aumenta las que están oxigenadas y condiciones oxidantes. La posibilidad de extraer agua de forma selectiva de ciertos niveles en detrimento de otros debe ser el criterio más importante para el diseño de un modelo de gestión de un embalse de abastecimiento. En definitiva, cada vez será más importante una gestión a corto plazo de los embalses (Armengol y Dolz, 2004) y esto requerirá sistemas de obtención de datos sobre calidad del agua automatizados que envíen información a Sistemas de control centralizados.

REFERENCIAS

- Agencia Catalana del Agua, (2006). ECO-EM. Protocol d'avaluació del potencial Ecològic dels embassaments, pp. 1–43.
- Armengol, J. y J. Dolz, (2004). La gestión a corto plazo del agua de los embalses. Ponencias del II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Santiago de Compostela, 20-24 de Setiembre, 875–889.
- Armengol, J. y J. Dolz, (2009). L'Abastament d'aigua a Catalunya i la seva garantia. Nota d'economia, 93-94, 127–139.
- Armengol, J., M. Comerma, J.C. García, M. Romero, J.J. Rodríguez, F. Valero y A. Vidal, (2005). Contribució al coneixement de l'ecologia aquàtica de l'embassament de Sau. Evolució de l'embassament al 1999. Quaderns ATLL, 8, 1–93.
- Armengol, J., J.C. García, M. Comerma, M. Romero, J. Dolz, M. Roura, B.P. Han, A. Vidal y K. Simek, (1999). Longitudinal Processes in Canyon Type Reservoirs: The case of Sau (N.E. Spain). En: Theoretical Reservoir Ecology and its Applications. J.G. Tundisi & M. Straskraba (eds.), 313–345.
- Armengol, J., J.L. Riera y J.A. Morguí, (1991). Major ionic composition in the Spanish reservoirs. Verh. Internat. Verein. Limnol., 24, 1363–1366.
- Dolz, J. y J. Armengol, (2008). L'abastament d'aigua a Catalunya. En: Memòria Econòmica de Catalunya 2007. A. Garrido

- y N. Duch (eds.), 293–311, Ed. Cambra Oficial de Comerç, Inductria i Navegació de Barcelona.
- Marcé, R., Armengol, J. y J. Dolz, (2009). Els efectes als embassaments i la seva rellevància en la quantitat i la qualitat de l'aigua per a garantia del recurs. En *Aigua i Canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Nova Cultura de l'Aigua (eds.), 221–228, Agència Catalana de l'Aigua, Generalitat de Catalunya.
- Margalef, R., D. Planas, J. Armengol, A. Vidal, N. Prat, A. Guiset, J. Toja y M. Estrada, (1976). *Limnología de los embalses españoles*. Dirección. Gral. Obras Hidráulicas, MOPU, Madrid, 422 pp.
- Moreno-Ostos, E., R. Marcé, J. Ordóñez, J. Dolz y J. Armengol, (2008). Hydraulic management drives heat budgets and temperature trends in a mediterranean reservoir. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 93, 131–147.
- Navarro E., Caputo L., Marcé R, Carol J., Benjam L., García-Berthou E. y Armengol J., (2009). Ecological classification of a set of Mediterranean reservoirs applying the EU Water Framework Directive: a reasonable compromise between science and management. *Lake and Reservoir Management*, 25, 364–376..
- Navarro E., García-Berthou E. y Armengol J., (2010). La calidad ecológica de los embalses. *Investigación y Ciencia*, Febrero, 8087.
- Riera, J. L., D. Jaume, J. de Manuel y J. Armengol, (1992). Patterns of variation in the limnology of Spanish reservoirs: A regional study. *Limnetica*, 8, 11–123
- Rueda, F., E. Moreno-Ostos y J. Armengol, (2006). The residence time of river water in reservoirs. *Ecological Modelling*, 191, 260–274.