

Incidència dels embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix en el règim tèrmic i en el transport de sòlids en suspensió del riu Ebre

Josep Dolz i Jordi Prats

Grup de recerca FLUMEN, Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental
ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Universitat Politècnica de Catalunya

Montserrat Roura

Centre d'Estudis dels Rius Mediterranis, Museu Industrial del Ter

Rafael Val

Institut d'Enginyeria, Universitat Autònoma de Mèxic

Joan Armengol

Grup de recerca FLUMEN, Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona

Resum

En aquesta comunicació es presenten els resultats obtinguts a l'estudi de la incidència dels embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix en el règim tèrmic i en el transport de sòlids en suspensió del riu Ebre. S'analitzen les alteracions al cicle anual i diari de temperatures a l'aigua del riu. També es posa de manifest la tendència a la recuperació del comportament tèrmic natural aigües avall dels embassaments.

Amb relació al transport sòlid en suspensió, es comparen les concentracions a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa. Així mateix s'analitza la concentració de sòlids en suspensió a la sortida de l'embassament de Riba-roja.

Abstract

This paper presents the results from the study of the effect Mequinensa, Riba-roja and Flix reservoirs have on the thermic temperature regime and on the suspended solids transport from the Ebre river. It analyses changes in the annual and daily temperature cycle in the water of the river and it also explains the tendency to the restoration of the natural downstream thermal behaviour in reservoirs.

Regarding the suspended solid transport, the study compares the concentrations at Mequinensa reservoir inlet and outlet. It also examines the suspended solid concentration at the Mequinensa reservoir outlet.

1. Introducció

Els rius són uns ecosistemes en què té una gran importància la dimensió longitudinal, a diferència dels llacs, on la dimensió més important és la vertical. La construcció d'un embassament en un riu constitueix una discontinuïtat en la seva dimensió longitudinal. Així, aigües amunt de la presa, les condicions ecològiques són més semblants a les d'un llac: les aigües s'amansei-

xen i els processos que depenen de la dimensió vertical, com la precipitació i l'estratificació tèrmica, prenen més importància. Això fa que, per exemple, la concentració de sòlids en suspensió a la sortida d'un embassament sigui menor que a l'entrada i que, depenent de la profunditat des d'on es turba l'aigua, aquesta pugui tenir unes temperatures, concentracions d'oxigen, etc., més o menys diferents d'aquelles que hi havia en un principi.

Immediatament aigües avall de la presa, la modificació del règim hidrològic i de les característiques químiques de l'aigua alteren la dinàmica del riu i l'equilibri dinàmic amb l'entorn (l'lera, atmosfera), a la vegada que poden afectar les comunitats biològiques que hi viuen. Tanmateix, a mesura que el riu segueix el seu curs, hi ha una tendència a recuperar unes característiques més semblants a les naturals.

En aquesta comunicació s'estudien els efectes dels embassaments sobre dos paràmetres importants, la temperatura de l'aigua i els sòlids en suspensió, al tram final del riu Ebre, on el sistema d'embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix modifica de forma notable la dinàmica fluvial del tram final del riu Ebre, en particular del règim tèrmic i del transport sòlid en suspensió que té.

2. Incidència en el règim tèrmic

Un embassament en clima mediterrani s'estratifica tèrmicament entre la primavera i l'estiu, la qual cosa pot provocar una alteració important a la temperatura del riu. Això incideix en les comunitats fluvials, ja que la fisiologia de la major part dels organismes d'aigua dolça depèn de la temperatura de l'aigua.

Ara bé, tot i la importància d'aquest paràmetre, són pocs els estudis que s'han realitzat sobre el comportament tèrmic dels rius a la península Ibèrica. En el cas del riu Ebre, els primers estudis dels quals tenim coneixença són els d'Arrúe i Alberto (1986) i Alberto i Arrúe (1986), que van estudiar el comportament tèrmic del riu en tota la conca, a partir de les dades de la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre. També van estudiar algunes anomalies tèrmiques, inclosa l'alteració produïda pel sistema d'embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix. Treballs posteriors són aquells de DEHMA (1990) i LIMNOS (1997), que se centren en el problema de la pol·lució tèrmica a causa de la central nuclear d'Ascó. Finalment, el treball més recent és el de Val (2003), d'on prové la major part de les dades de camp que es presenten en aquesta comunicació.

2.1. Metodologia

La temperatura de l'aigua es va mesurar cada deu minuts mitjançant sondes pt100 en diversos punts del riu Ebre (figura 1): a Escatrón; al peu de les preses de Mequinensa, Riba-roja i Flix; abans de la presa d'aigua de la central nuclear d'Ascó; al Pas de l'Ase, i a Miravet. Les dades utilitzades en aquest treball corresponen al període comprès entre el juny del 1998 i el gener del 2000.

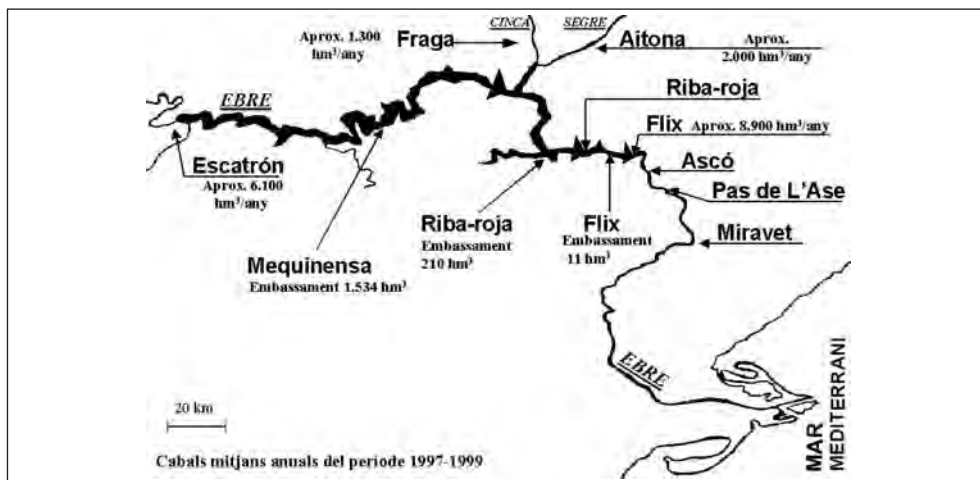


FIGURA 1. Àrea d'estudi i cabals mitjans del període 1997-1999.

2.2. Resultats

Els resultats obtinguts mostren que a l'estiu l'aigua que surt del sistema d'embassaments (a Flix) és més freda que la que hi entra (a Escatrón, Fraga i Aitona). A l'hivern, al contrari, l'aigua que en surt és més calenta que la que hi entra. A més, s'observa que l'efluent de la central nuclear d'Ascó fa augmentar la temperatura de l'aigua del riu al voltant de 3 °C durant tot l'any. El resultat és que, aigües avall de la nuclear d'Ascó, a l'estiu les alteracions de la temperatura de l'aigua degudes als embassaments i a la nuclear aproximadament es compensen entre si. A l'hivern, en canvi, les alteracions són del mateix signe (augment de la temperatura de l'aigua) i se sumen (figura 2).

La figura 3 mostra la temperatura de l'aigua del riu Ebre de l'1 al 7 de juliol del 1999 per a exemplificar el comportament al llarg del riu del règim diari de temperatures de l'aigua a l'estiu. S'observa que a Escatrón hi ha un cicle diari de temperatures regular i ben marcat. A la sortida dels embassaments, a Flix, la temperatura de l'aigua mostra poca ciclicitat diària o no en mostra. Més avall, a Ascó, s'ha recuperat una mica la ciclicitat diària, si bé encara és irregular. Si seguim riu avall, cap al Pas de l'Ase i Miravet, trobem que el cicle diari es va restablint i i es va fent més regular.

2.3. Discussió

En condicions naturals, el cicle diari de la temperatura de l'aigua presenta un patró clarament depenent de la radiació solar incident, que és el principal component del balanç tèrmic del riu. Per exemple, a Miravet, la temperatura de l'aigua augmenta des d'aproximadament la sor-

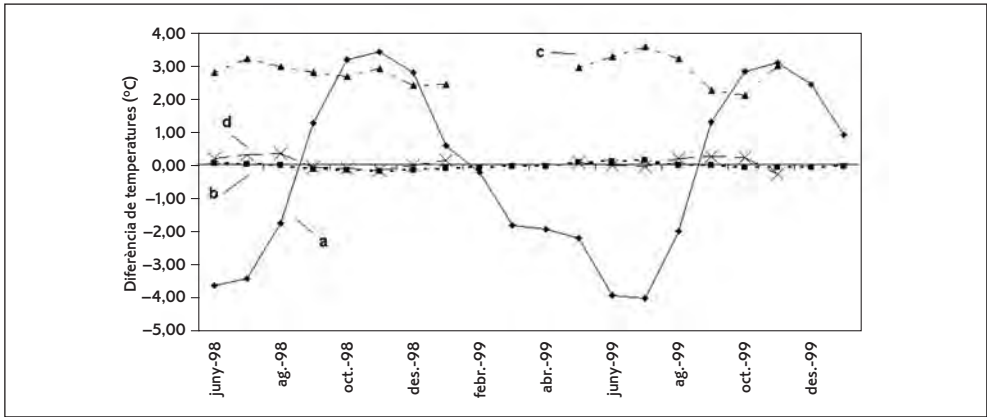


FIGURA 2. Diferència de temperatura mitjana mensual entre a) Escatrón i Flix, b) Flix i Ascó, c) Ascó i Pas de l'Ase i d) Pas de l'Ase i Miravet. La diferència de temperatures es defineix com la temperatura al final menys la temperatura a l'inici de cada tram. Per tant, les diferències de temperatura positives indiquen un augment de la temperatura de l'aigua aigües avall, mentre que les diferències negatives indiquen un descens.

tida del sol fins a mitja tarda, moment en què la temperatura comença a descendir. En dies ennuvolats, l'amplitud de la variació de la temperatura de l'aigua pot reduir-se molt, a causa de la reducció de la radiació solar incident. Un altre factor que influeix en el cicle diari de la temperatura és el cabal i la variabilitat que té al llarg del dia. És ben conegut que a més volum d'aigua, major és la inèrcia tèrmica i, en conseqüència, menor és la variació de temperatures al llarg del dia. Però també hi ha factors locals, com ara l'orografia, que poden influir en el cicle diari de la temperatura.

Ara bé, al tram inferior del riu Ebre, les condicions difereixen de les naturals, de manera que el comportament tèrmic del riu en aquesta zona està clarament influït per la presència del sistema d'embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix, i principalment per l'embassament de Mequinensa, que és, amb diferència, el més gran dels tres. Com tants altres embassaments de la zona temperada, l'embassament de Mequinensa presenta un cicle estacional consistent en una estratificació tèrmica que comença a la primavera, amb un màxim a l'estiu i una uniformitat vertical de temperatures a partir de la tardor i a l'hivern. Durant l'època d'estratificació les temperatures en superfície poden ser d'entre 24 i 27 °C, mentre que en profunditat són d'entre 14 i 16 °C (LIMNOS, 1996; URS, 2002; Infraestructura & Ecologia, 2003). En ple hivern les temperatures mínimes poden ser d'aproximadament entre 5 i 8 °C (Miguel, 1993). L'embassament de Riba-roja també presenta un fenomen d'estratificació a l'estiu, de manera que les temperatures en superfície poden ser d'entre 24 i 27 °C i, en profunditat, d'entre 18 i 21 °C (LIMNOS, 1996; URS, 2002).

Això vol dir que a l'estiu hi ha una entrada d'aigua calenta a l'embassament de Mequinensa que queda en superfície, mentre que l'aigua que s'extreu prové de l'hipolímnion i, per tant, és més freda. A més, la temperatura de l'aigua d'aquesta zona no presenta variacions cíclics dià-

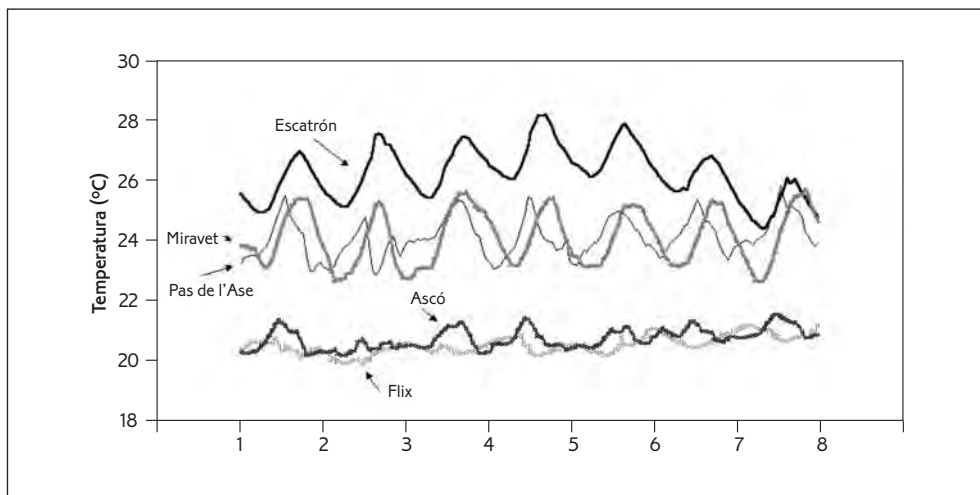


FIGURA 3. Temperatura de l'aigua a les estacions d'Escatrón, Flix, Ascó, Pas de l'Ase i Miravet de l'1 al 8 de juliol del 1999.

ries, i en conseqüència tampoc no la presenta l'aigua que en surt. Aquesta aigua que entra a l'embassament de Riba-roja és més freda que l'aigua que prové del Segre i del Cinca, que també hi desemboquen gairebé pel mateix lloc. En conseqüència, l'aigua de l'Ebre, més densa, s'enfonsa, i l'aigua del Segre i el Cinca queda en superfície (Armengol *et al.*, 2003). En el viatge des de la cua de l'embassament de Riba-roja fins a la presa hi ha una certa barreja entre l'aigua calenta en superfície i la freda en profunditat. Quan aquesta aigua és alliberada a l'embassament de Flix, la temperatura que té continua sense tenir variacions diàries importants. L'embassament de Flix té poca capacitat amb relació als altres dos embassaments, i el temps de residència de l'aigua és baix, d'unes hores, per la qual cosa el seu comportament no és pròpiament el d'un embassament, però tampoc el d'un riu. En aquest tram la temperatura de l'aigua no té temps de recuperar la ciclicitat diària. Aigües avall, però, el riu ja es comporta com un riu i l'aigua té tendència a adquirir l'equilibri tèrmic amb l'entorn i a recuperar la ciclicitat diària (figura 3).

Quan arriba la tardor, l'aigua dels embassaments de Mequinensa i Riba-roja es barreja i la temperatura de l'aigua s'uniformitza. Al llarg de l'hivern, la temperatura de l'aigua dels embassaments varia poc a causa de la inèrcia tèrmica d'una massa d'aigua tan gran, si bé l'aigua del riu aigües amunt és més freda a mesura que avança l'hivern. És per això que l'aigua que surt de l'embassament de Mequinensa a l'hivern és més calenta que la que hi entra. D'altra banda, a l'hivern, a causa del gran volum d'aigua i de la menor entrada de calor, l'amplitud tèrmica es veu reduïda.

3. Incidència en el transport sòlid en suspensió

La construcció d'un gran nombre d'embassaments durant la segona meitat d'aquest segle ha modificat el règim de cabals del riu Ebre. El volum total d'embassament a la conca del riu Ebre

era d'aproximadament 1.500 hm³ a l'inici de la dècada dels cinquanta i proper als 6.000 hm³ a l'inici dels setanta. Entre aquests embassaments cal destacar el de Mequinensa, de 1.534 hm³, que va ser posat en servei el 1966, i el de Riba-roja, de 210 hm³, posat en servei el 1968.

El sistema d'embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix reté el transport sòlid de fons i la major part dels sòlids en suspensió; això incideix en la morfologia fluvial del tram final del riu Ebre i en la dinàmica del delta.

3.1. Metodologia

Durant el període comprès entre el 2 de febrer de 1998 i el 20 de setembre de 1999 es van prendre mostres de l'aigua de l'Ebre a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa, i a la sortida de l'embassament de Riba-roja (figura 1). En aquests punts i de manera automàtica es prenia diàriament aigua de l'Ebre a les 6 i a les 18 hores. Una mostra determinada integrava les quatre preses realitzades al llarg de dos dies. Posteriorment es determinaven els sòlids en suspensió de la mostra, que es consideren representatius del valor mitjà corresponent a dos dies.

El cabal mitjà diari al llarg del període que és objecte d'estudi ha estat proporcionat per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.

3.2. Resultats

Els resultats que es presenten a continuació procedeixen de Roura (2004).

A la figura 4 es compara la concentració de sòlids en suspensió a l'entrada de l'embassament de Mequinensa, amb la de la sortida d'aquest mateix embassament i també amb la de la sortida de l'embassament de Riba-roja. A la figura 5 es comparen les distribucions de concentracions en aquestes seccions.

A l'embassament de Mequinensa es produeix una acusada disminució de la concentració de sòlids en suspensió: valor mitjà a l'entrada 91,6 mg/L i valor mitjà a la sortida 6,1 mg/L. Contràriament, a l'embassament de Riba-roja té lloc un petit increment si comparem els 6,1 mg/L de la sortida de l'embassament de Mequinensa (que és l'inici de l'embassament de Riba-roja) amb els 12,9 mg/L de valor mitjà a la sortida de l'embassament de Riba-roja. Cal dir que, a més del cabal procedent de Mequinensa, a l'embassament de Riba-roja també hi entren els cabals del Cinca i del Segre amb la corresponent càrrega sòlida. Això afegit a la inferior capacitat d'emmagatzematge de l'embassament de Riba-roja (210 hm³) respecte al de Mequinensa (1.534 hm³) podria explicar la major concentració de sòlids en suspensió a la sortida del primer.

A la figura 6 es mostra el cabal sòlid a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa, així com a la sortida de l'embassament de Riba-roja. Es fa patent un cabal sòlid més

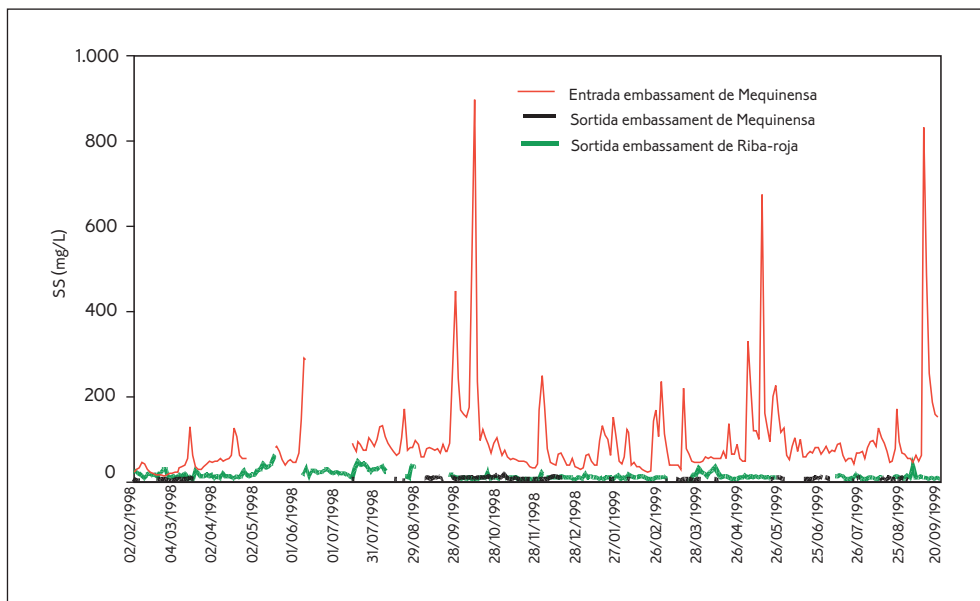


FIGURA 4. Sòlids en suspensió a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa, i sortida de l'embassament de Ribarroja, període del 2/2/1998 al 20/9/1999. Valor mitjà de 48 hores. Les mitjanes de les sèries són: entrada a Mequinensa 91,6 mg/L, sortida de Mequinensa 6,1 mg/L i sortida de Ribarroja 12,9 mg/L.

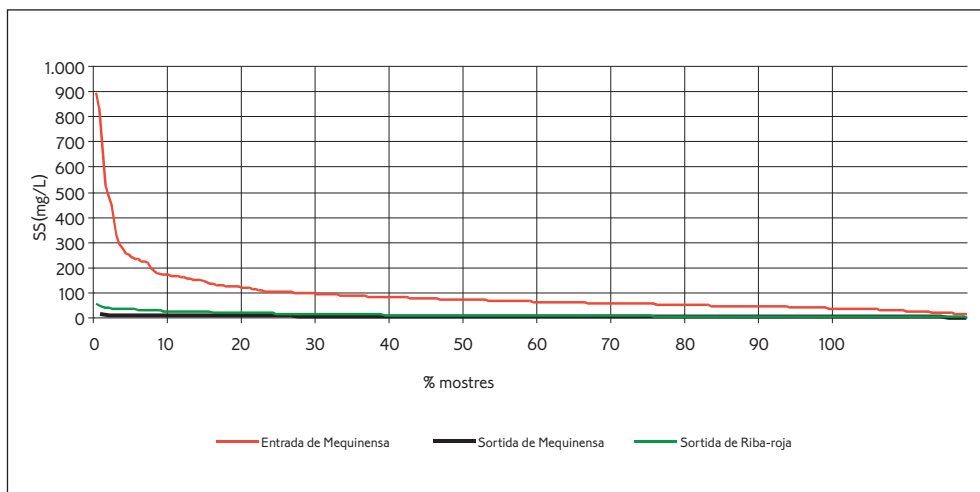


FIGURA 5. Percentatge de mostres amb una concentració (mitjana de 48 hores) igual o superior a l'eix d'ordenades. Període del 2/2/1998 al 20/9/1999. Entrada i sortida a l'embassament de Mequinensa i sortida de l'embassament de Ribarroja.

gran a la sortida de Riba-roja que no pas a la sortida de Mequinensa. Com és lògic, això queda també reflectit en fer l'anàlisi de la distribució dels cabals sòlids (figura 7).

Una possible font d'error per al càlcul de les aportacions sòlides podria ser deguda al fet que el punt de mostratge es troba proper al marge del riu i, per tant, la concentració obtingu-

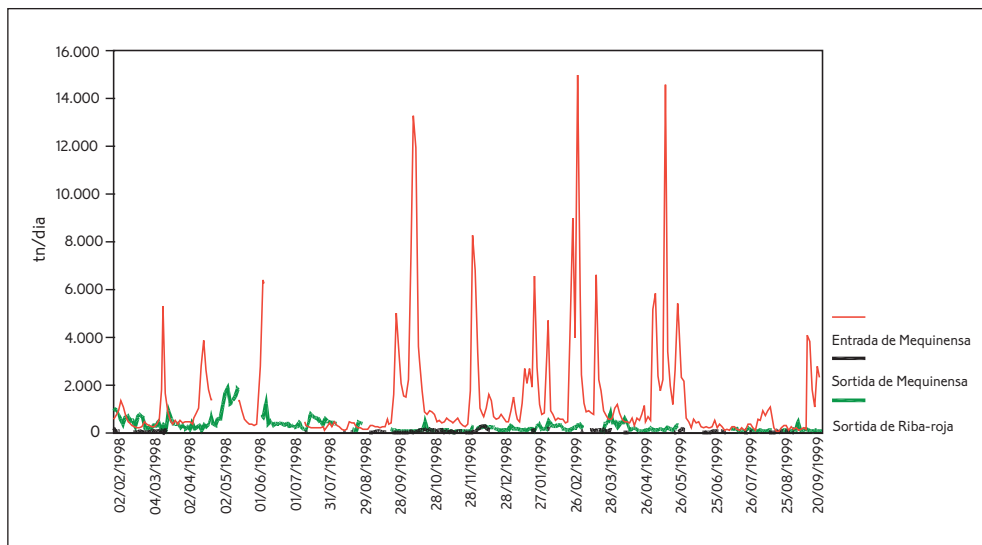


FIGURA 6. Cabal sòlid a l'entrada i a la sortida de l'embassament de Mequinensa i sortida de l'embassament de Riba-roja. Valor mitjà de 48 hores. Període entre el 2/2/1998 i el 20/9/1999.

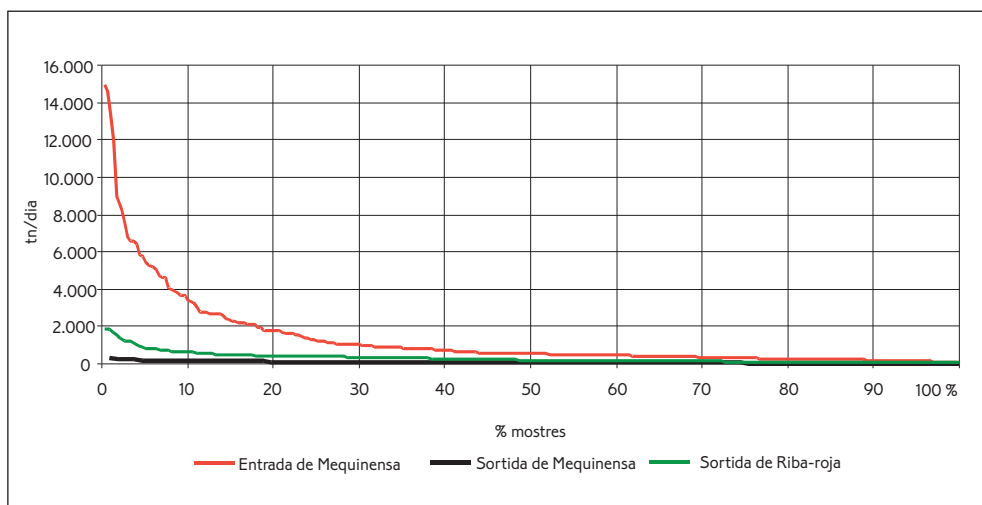


FIGURA 7. Percentatge de mostres amb un cabal sòlid (mitjana de 48 hores) igual o superior a l'indicat a l'eix d'ordenades. Període del 2/2/1998 al 20/9/1999. Entrada i sortida a l'embassament de Mequinensa, i sortida de l'embassament de Riba-roja.

da podria no ser representativa de tota la secció. Per tal d'analitzar aquest aspecte el 21 de juliol de 1998 es va fer un aforament líquid i un altre de sòlids en suspensió a la secció on s'obtenen les mostres a l'entrada de l'embassament de Mequinensa. Es van prendre mostres a diferents punts al llarg de deu verticals contingudes a la secció i es va observar que hi havia una distribució relativament uniforme del material sòlid en suspensió.

3.3. *Discussió*

Segons Palanques i Guillén (1992), hi ha mesures del final del segle passat i del principi de l'actual segons les quals la concentració de sòlids en suspensió al tram final de l'Ebre oscil·lava entre els 700 i els 1.700 mg/L i que podia arribar a sobrepassar els 10.000 mg/L durant les avingudes. Considerant l'aportació anual del riu i les concentracions abans esmentades, es calcula que l'Ebre desguassava al mar entre 17 i 20 milions de tones anuals de material sòlid en suspensió. En set campanyes de camp realitzades entre el maig de 1988 i el febrer de 1990 la concentració mitjana de sediments en suspensió que es va obtenir a Amposta estava entre els 10 i els 20 mg/L, valor semblant a l'obtingut en aquest estudi per a la mitjana a la sortida de l'embassament de Riba-roja (12,9 mg/L). A partir d'aquests valors els autors conclouen que l'aportació anual de sediments en suspensió del riu Ebre al mar és d'aproximadament l'1 % de la que hi havia al començament del segle.

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (al qual es refereixen Lechuga i Santos, 1997), ha estudiat també el transport de sòlids en suspensió al tram final del riu Ebre i ha obtingut que, en un any mitjà, 333.000 tones de sediment són desguassades per la presa de Riba-roja. Durant el trajecte que té fins al mar el riu incrementa la concentració, i l'aportació de sediments en suspensió al mar s'estima en unes 590.000 tones en un any mitjà.

A la figura 8 es mostra l'evolució temporal de la capacitat d'embassament a la conca de l'Ebre, de l'aportació sòlida al delta de l'Ebre i el cabal d'avingudes superiors a 3.500 m³/s. En el transcurs del segle xx s'observa una forta davallada de les aportacions sòlides i del cabal d'avingudes. Això es troba directament relacionat amb el notable increment (principalment a partir de 1950) del volum d'embassament. S'estima que la retenció de sòlids als embassaments de Mequinensa i Riba-roja és respectivament de 6,5 i 1 milions de tones anuals.

4. **Agraïments**

Els autors volen agrair a Gloria González d'URS, la informació proporcionada. També agraeixen a D. Niñerola, Q. Rabadà i J. Vicente el seu treball en la instal·lació i manteniment de la instrumentació.

Aquest estudi s'ha dut a terme dins dels projectes REN 2001-2185-C02-01 i REN 2001-2185-C02-02, subvencionats pel Programa de Recursos Hídricos del Plan Nacional de Investigación

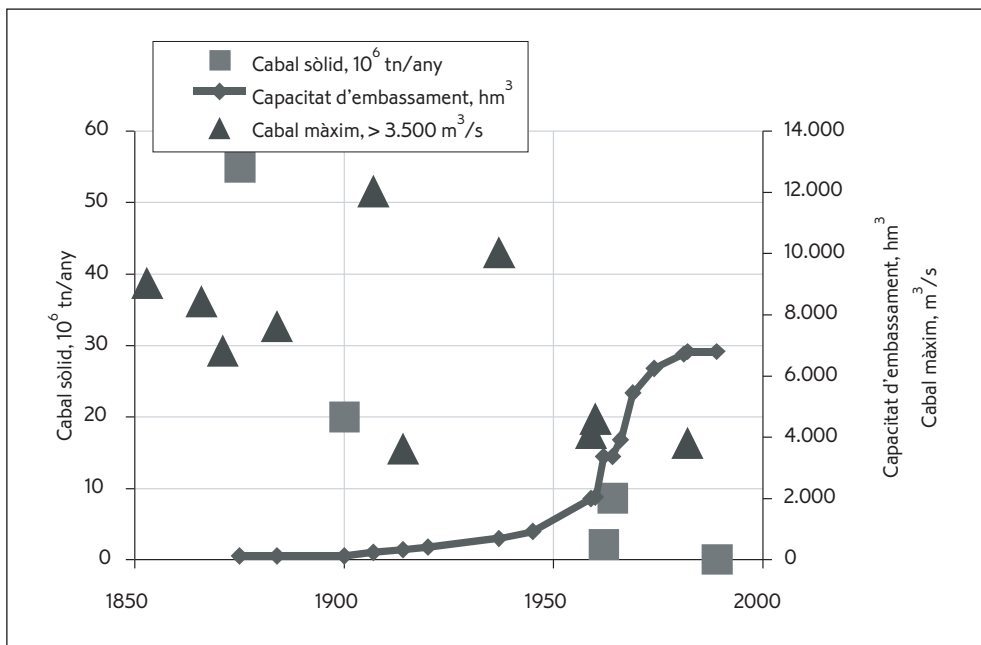


FIGURA 8. Evolució temporal de la capacitat d'embassament a la conca de l'Ebre, de l'aportació sòlida al delta de l'Ebre i el cabal d'avingudes superiors a $3.500 m^3/s$.

FONT: CEDEX.

y Desarrollo i el Fons Social Europeu. Aquests projectes han estat cofinançats per l'Agència Catalana de l'Aigua, el Departament de Política Territorial i Obres Públiques, ENDESA i l'Associació Nuclear Ascó-Vandellós.

5. Referències bibliogràfiques

- ALBERTO, F.; ARRÚE, J. L. (1986). «Anomalías térmicas en algunos tramos de la red hidrográfica del Ebro». *Anales de la Estación Experimental Aula Dei*, núm. 18 (1-2), p. 91-113.
- ARMENGOL, J.; BACARDIT, M.; CAPUTO, L.; GALLEGOS, M. A.; NAVARRO, E. (2003). *Ecología acuática dels embassaments de Mequinensa, Riba-roja i Flix. Estiu 2003*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- ARRÚE, J. L.; ALBERTO, F. (1986). «El régimen térmico de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro». *Anales de la Estación Experimental Aula Dei*, núm. 18 (1-2), p. 31-50.
- DEPARTAMENT D'ENGINYERIA HIDRÀULICA, MARÍTIMA I AMBIENTAL (DEHMA) (1990). *Estudio del comportamiento térmico del río Ebro en el tramo C. N. Ascó - Pas de l'Ase*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. [Informe preparat per a l'Associació Nuclear Ascó]

- INFRAESTRUCTURA & ECOLOGÍA (2003). *Seguimiento de la calidad de las aguas en embalses de zonas sensibles*. Saragossa: Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.
- LECHUGA, A.; SANTOS LÓPEZ, J. (1997). «Evolución reciente del Delta del Ebro. Aporte de sedimentos por el río. El oleaje y el transporte sólido litoral». *Ingeniería Civil*, núm. 105, p. 99-107.
- LIMNOS (1996). *Diagnóstico y gestión ambiental de embalses en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Ebro*. Saragossa: Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.
- LIMNOS (1997). *Estudi dels efectes de l'abocament tèrmic de la central nuclear d'Ascó sobre les comunitats biològiques*. Barcelona. [Informe preparat per a la Junta de Sanejament]
- MIGUEL, J. J. (1993). *Análisis de la estratificación térmica del embalse de Mequinzenza*. Universitat Politècnica de Catalunya. ETSCCPB. [Tesis d'especialitat]
- PALANQUES, A.; GUILLÉN, J. (1992). «Transporte de sedimentos en suspensión en la parte baja del río Ebro. (Mediterráneo Occidental). Impacto ambiental de las presas». *Geogaceta*, núm. 12, p. 37-40.
- ROURA, M. (2004). *Incidència de l'embassament de Mequinzenza en el transport de sòlids en suspensió i la qualitat de l'aigua del riu Ebre*. Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Ecologia. [Tesi doctoral]
- URS (2002). *Actualización limnológica de embalses*. Saragossa: Confederació Hidrogràfica de l'Ebre.
- VAL, R. (2003). *Incidencia de los embalses en el comportamiento térmico del río Ebro. Caso del sistema de embalses Mequinzenza, Riba-roja y Flix en el río Ebro*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. ETS d'Enginyers de Camins, Canals i Ports. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. [Tesi doctoral]