



HAL
open science

Comportamiento térmico del río Ebro en el entorno del embalse del Ebro

A. Ramos, J. Prats, J. Dolz

► **To cite this version:**

A. Ramos, J. Prats, J. Dolz. Comportamiento térmico del río Ebro en el entorno del embalse del Ebro. IV Jornadas de Ingeniería del Agua, Oct 2015, Córdoba, España. pp.167-174. hal-01235568

HAL Id: hal-01235568

<https://hal.science/hal-01235568v1>

Submitted on 30 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comportamiento térmico del río Ebro en el entorno del embalse del Ebro

Anaïs Ramos Fuertes¹, Jordi Prats Rodríguez², Josep Dolz¹

¹Instituto Flumen, ETS d'Enginyers de Camins, Campus Nord UPC, C. Jordi Girona 1-3, D1, 08034 Barcelona (España), ²Pôle Onema-Irstea "Plans d'eau", 3275 Route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5 (Francia)

1. Introducción

La cuenca del Ebro es la cuenca peninsular mejor estudiada desde el punto de vista de la temperatura del agua. El comportamiento térmico del Ebro a escala de cuenca fue estudiado ya por Arrúe y Alberto (1986). Posteriormente, las tesis de Val (2003) y Prats (2011) presentaron estudios detallados del comportamiento del curso inferior del Ebro. Recientemente, se ha estudiado la evolución de la temperatura del agua a lo largo de la cuenca del río Noguera Pallaresa (Buendía *et al.*, 2015). Además existen otros trabajos puntuales (García de Jalón *et al.*, 1988; Limnos, 1996; etc.). Gran parte del interés en el estudio de la temperatura del Ebro parte de la preocupación por los efectos de los embalses y de las centrales nucleares sobre el régimen térmico fluvial y, en consecuencia, sobre las comunidades biológicas que en él habitan.

El impacto térmico de los embalses depende de distintos factores, entre los cuales cabe citar su volumen, tiempo de residencia, profundidad de la toma, etc. Entre estos factores no hay que olvidar la situación dentro de la cuenca. Este estudio se centra en el efecto de un embalse situado en la cuenca alta del Ebro, el embalse del Ebro, sobre la temperatura del agua. El impacto térmico de dicho embalse no había sido estudiado en detalle hasta el momento.

2. Métodos

2.1 Embalse del Ebro

El embalse del Ebro, localizado entre las provincias de Cantabria y Burgos, recoge aguas del río Ebro prácticamente en su cabecera y tiene una capacidad máxima de 541 hm³. Se caracteriza por su gran extensión (6253 ha) y escasa profundidad (8,6 m de profundidad media, 24 m máxima), con una cota máxima de 839 msnm. El uso principal del agua del embalse del Ebro es la regulación del río para suministrar agua de riego a los canales de Lodosa, Imperial y Tauste (tramo medio del Ebro). También se realiza un aprovechamiento hidroeléctrico a pie de presa.

El embalse del Ebro dispone de los siguientes órganos de maniobra: cuatro descargas superficiales (cota 836,6 msnm), ocho tomas de riego (4 válvulas en la cota 831 msnm y 4 compuertas en la cota 826 msnm), toma para la central hidroeléctrica (cota 822,5 msnm), un desagüe de fondo (fuera de uso por aterramiento) y dos túneles de fondo (cota 819,5 msnm). En el periodo de riegos, el agua se vierte preferentemente por la toma de la central hidroeléctrica. En caso de que ésta no funcione se usan las compuertas de riego de la cota 826 msnm. Las compuertas de los túneles de fondo se abren cada mes y en curso de la maniobra se vierten unos 20 m³ (Limnos, 1996).

2.2 Datos e instrumentación de medida

Para este estudio se midió la temperatura del agua a la entrada del embalse del Ebro, en Reinosa, y a la salida del mismo, a la altura de la estación de la red de medida de la Confederación Hidrográfica del Ebro en Arroyo durante un año, desde abril de 2014 a marzo de 2015 (*Figura 1*). La instalación en cada punto de medida consistió en dos sondas de temperatura de tipo Pt100 conectadas a un datalogger Campbell Scientific CR1000 y con posibilidad de descarga remota de la información. Las medidas de temperatura del agua se realizaron cada minuto, registrando los promedios cada 10 minutos.

Además, se utilizaron datos medios diarios de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar de la estación meteorológica del embalse del Ebro (Las Rozas de Valdearroyo, Cantabria) para calcular la temperatura de equilibrio del agua. Se define como temperatura de equilibrio la temperatura del agua para la cual el intercambio neto de calor entre el agua y la atmósfera es nulo (Edinger *et al.*, 1968; Prats *et al.*, 2012). Para cada día del periodo de estudio, se estimó numéricamente la temperatura de equilibrio media diaria T_{Eq} con Matlab resolviendo la siguiente ecuación con el algoritmo reflexivo de región de confianza:

$$H_T(T_{Eq}) = H_{sn} + H_{an} + H_w(T_{Eq}) + H_e(T_{Eq}) + H_c(T_{Eq}) = 0 \quad [1]$$

donde H_T es el flujo neto de calor entre el agua y la atmósfera, H_{sn} es la radiación solar incidente, H_{an} es la radiación de onda larga incidente, H_w es la radiación de onda larga emitida por el agua, H_e es el calor intercambiado con la atmósfera por evaporación y H_c es el calor intercambiado con la atmósfera por conducción. Para el cálculo de los diferentes componentes del flujo se utilizó la misma metodología de Prats *et al.* (2012). Como se puede ver en la ecuación 1, sólo tres de los componentes del balance térmico dependen de la temperatura del agua: la radiación de onda larga emitida por el agua, la evaporación y la conducción.

Por último, se utilizan datos diarios de caudales de entrada y salida del embalse y de volumen embalsado procedentes de la red del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Ebro. El caudal de entrada al embalse se determinó mediante la suma de las aportaciones del Ebro en Reinosa-Néstares, y sus afluentes Híjar en Reinosa e Izarilla en Matamorosa. Los datos de caudal de salida proceden de la estación de aforo del Ebro en Arroyo. Los datos de precipitación

corresponden al pluviómetro del repetidor de Aguilera, estación SAIH con datos disponibles más cercana al embalse (aproximadamente 1 km de la presa).

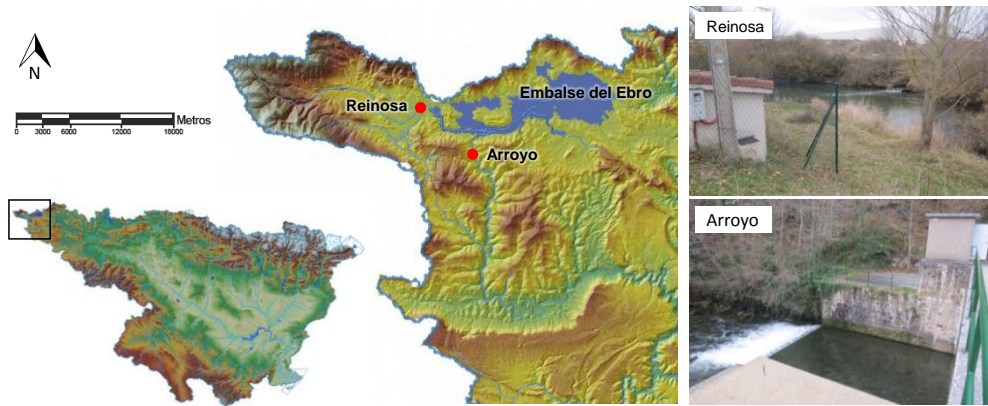


Figura 1. Área de estudio: localización en la Cuenca del Ebro y entorno fluvial de los puntos de medida.

3. Resultados

3.1 Régimen hídrico

La *Figura 2* muestra el régimen hídrico del embalse del Ebro durante el periodo de estudio. En los meses de abril y mayo de 2014 el embalse se encuentra prácticamente lleno y recibe una aportación decreciente, semejante al caudal desaguado. Estos meses se mantiene un volumen embalsado relativamente constante y cercano al límite de la capacidad del embalse (máximo de 98% el 8 de junio). Los meses de junio a septiembre, el caudal entrante al embalse es mínimo, mientras se incrementa el desagüe por razones de demanda de riego. Los meses de julio, agosto y septiembre entra en el embalse una aportación media de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ y se desaguan $22,3 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal de salida se reduce entre los meses de septiembre y noviembre, mientras el embalse alcanza su mínimo embalsado a principios de noviembre (56%). Entre esa fecha y mediados de febrero de 2015 el caudal de salida es mínimo (promedio de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$) y se completa el ciclo de llenado del embalse con las aportaciones ligadas a la pluviometría de otoño e invierno. A mediados de febrero de 2015, con un volumen embalsado en torno al 85%, se incrementan los caudales de salida en respuesta al intenso régimen de caudal de entrada al embalse. A finales del mes de marzo, el volumen embalsado es de 94%. Durante el año mostrado, la cota de agua del embalse varía de acuerdo al volumen almacenado entre los valores 834,7 msnm y 838,6 msnm. Ello resulta en una profundidad máxima de toma en la presa, sin contar las operaciones puntuales de los túneles de fondo, de 16,1 m.

El tiempo de residencia del agua en el embalse se define como el cociente entre el volumen embalsado y el flujo de agua. Dadas las diferencias entre los caudales de entrada

y salida del embalse del Ebro, se obtienen estimaciones del tiempo de residencia diferentes según se utilice uno u otro (Figura 2 inferior). De acuerdo con Palau (1988), el volumen que realmente se renueva en un embalse, es decir, que es desalojado y sustituido por otro volumen idéntico, es en cada momento el menor de los flujos de entrada y salida intervinientes. Por tanto, según este criterio se adoptaría como válido el tiempo de residencia máximo de las dos estimaciones, obteniendo un periodo medio de estancia del agua en el embalse de 7,7 años. Siguiendo el mismo criterio, los tiempos de residencia son inferiores a los dos años únicamente en periodos de avenidas primaverales, cuando los altos volúmenes embalsados obligan a desaguar el abundante caudal de entrada (principios de abril de 2014, finales de febrero y marzo de 2015). Los máximos valores, por encima de los 16 años, se dieron en el mes de agosto.

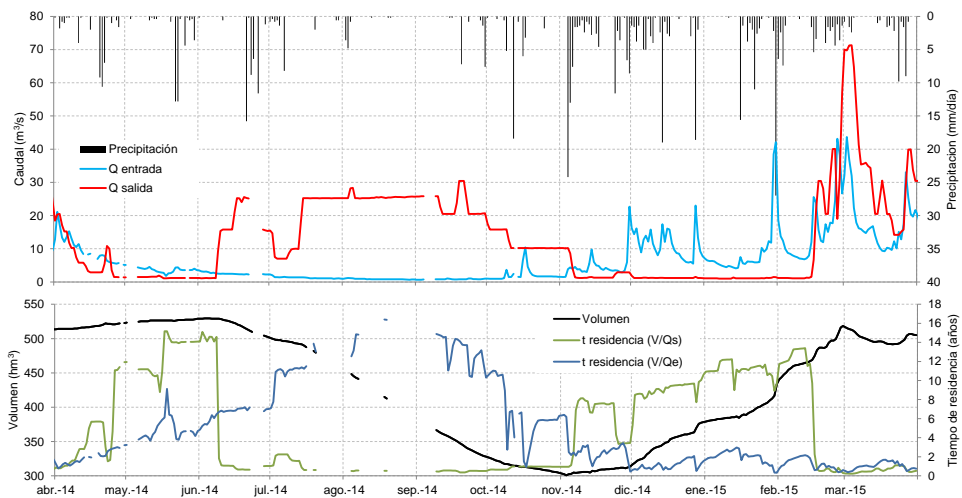


Figura 2. Régimen hídrico del embalse del Ebro. Superior: caudal de entrada (Q entrada), de salida (Q salida) y precipitación. Inferior: volumen embalsado y tiempos de residencia en función de los caudales de entrada (Q_e) y de salida (Q_s). Promedios diarios.

3.2 Impacto térmico del embalse

Los resultados muestran un aumento de la temperatura media anual aguas abajo del embalse de $1,7$ °C. A escala estacional, en invierno la temperatura del agua a la salida del embalse es más fría que a la entrada, mientras que lo contrario ocurre durante el resto del año (Figura 3). Como resultado, la amplitud del ciclo térmico anual es mayor aguas abajo del embalse. Aguas arriba del embalse el rango de temperaturas anual estuvo entre los 4 °C y los 15 °C, mientras que aguas abajo estuvo entre los 2 °C y los 20 °C. En términos generales, la temperatura del agua aguas abajo del embalse sigue a la temperatura de equilibrio con un desfase de 6 días (Figura 3 superior).

Por otro lado, la variabilidad térmica a escala de pocos días es menor aguas abajo del embalse. En este sentido destaca el brusco descenso de temperatura del río ocasionado por la avenida del 31/01/2015 (Figura 2), la cual incorporó aguas de deshielo de las cumbres tributarias.

El impacto térmico del embalse, definido como la temperatura del agua de salida menos la del agua de entrada, presenta una cierta variabilidad como resultado del suavizado de las oscilaciones térmicas a corto plazo presentes en la temperatura de entrada y ausentes en la temperatura de salida. A más largo plazo, presenta un ciclo anual con valores negativos mínimos de $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en enero-febrero y máximos de $7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ en agosto. El impacto es cercano a cero en dos periodos: a finales de marzo y principios de abril, y a finales de noviembre y principios de diciembre.

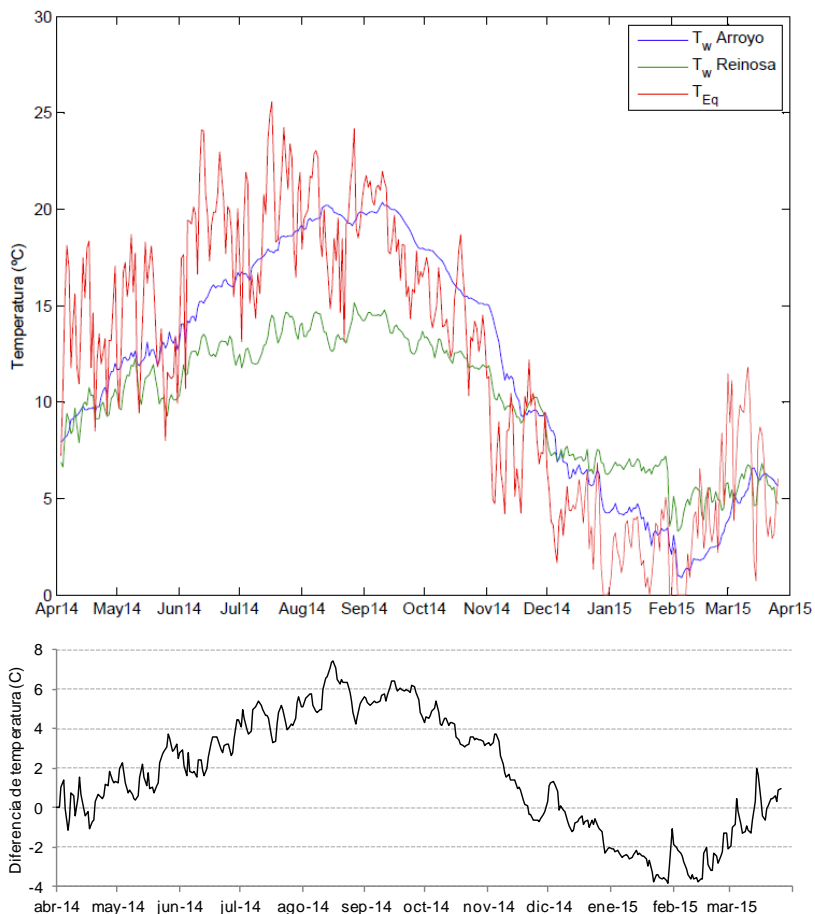


Figura 3. Superior: Temperatura del agua a la entrada (T_w Reinososa) y a la salida (T_w Arroyo) del embalse del Ebro y temperatura de equilibrio del agua (T_{Eq}). Inferior: Impacto térmico del embalse del Ebro (temperatura de salida – temperatura de entrada).

4. Discusión

En las proximidades de Reinosa, el agua del Ebro, con una temperatura media anual de 10,1 °C, tiene un origen en gran parte freático y nival. Esto, unido a la presencia del bosque de ribera que protege al río de la insolación y del viento, puede explicar la reducida amplitud térmica anual del río en la entrada al embalse del Ebro (de unos 11 °C).

Al llegar al embalse, el agua del río queda retenida durante largos períodos de tiempo (generalmente superior a los dos años), facilitando los intercambios de calor con la atmósfera y que la temperatura del agua contenida en él tienda a acercarse a la temperatura de equilibrio. Las características morfométricas del embalse, en particular la alta relación área: volumen, dificultan el proceso de estratificación estival por una gran superficie de contacto atmósfera-agua, escasa profundidad y alta exposición al forzamiento del viento. Según Limnos (1996), la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo en verano es de 2 a 5 °C (datos de los periodos 1990-91 y 1996). Todo ello, unido a altos tiempos de residencia y reducidas profundidades de toma en la presa, propician que el acoplamiento térmico del agua con la atmósfera que ocurre en el embalse se transmita aguas abajo de la presa, dando lugar a una mayor amplitud térmica anual.

El impacto térmico observado causado por la presencia del embalse en el río es muy diferente, incluso contrario, al observado en otros embalses de la misma cuenca. Por ejemplo, el sistema de embalses Mequinenza-Ribarroja-Flix en el tramo inferior del río Ebro, estudiado por Val (2003) y Prats (2011), favorece una reducción de la amplitud térmica anual, elevando las temperaturas invernales del río y disminuyendo las temperaturas estivales. Este efecto es el contrario al mostrado en la *Figura 3*. El comportamiento térmico del embalse del Ebro también contradice los resultados generales del estudio de Buendía et al. (2015) en la cuenca de la Noguera Pallaresa. Dichos autores utilizaron las variaciones en la pendiente de la relación entre temperatura de equilibrio y temperatura del agua para identificar el impacto térmico de los embalses, notando una menor pendiente de dicha relación aguas abajo de los embalses. En el caso del embalse del Ebro, el efecto es el contrario. En Reinosa la pendiente es de 0.42, mientras que en Arroyo es de 0.75.

Por otro lado, la gran inercia térmica y los procesos de mezcla del embalse tienden a filtrar las variaciones rápidas de temperatura, reduciendo la variabilidad térmica a escala diaria/semanal. Este es un efecto típico de los embalses (Steel y Lange, 2007; Prats et al., 2010).

5. Conclusiones

En este trabajo se ha descrito el comportamiento térmico del río Ebro durante un año en el entorno del embalse del Ebro, con ayuda de medidas de la temperatura del agua e

información hidrometeorológica proporcionada por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

La localización del embalse del Ebro en cabecera (condicionante de la temperatura del agua de entrada), su peculiar morfometría y altos tiempos de residencia del agua propician un comportamiento térmico singular del río en este tramo. A diferencia de otros embalses estudiados en la misma cuenca (Val, 2003; Prats, 2011), el efecto térmico de la presencia de este embalse en el río se traduce en una mayor variabilidad térmica estacional y un acercamiento de la temperatura del agua de salida del mismo a la temperatura de equilibrio con la atmósfera. El impacto medio diario del embalse se encuentra dentro del rango de -3,6 a +7,4 °C.

Referencias

Arrúe, J. L. y F. Alberto. 1986. *El régimen térmico de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro*. An. Aula Dei, 18, 31-50.

Buendía, C., S. Sabater, A. Palau, R. J. Batalla y R. Marcé. 2015. *Using equilibrium temperature to assess thermal disturbances in rivers*. Hydrol. Process., 9999. doi: 10.1002/hyp.10489.

Edinger, J. E., D. W. Duttweiler, y J. C. Geyer. 1968. *The response of water temperatures to meteorological conditions*. Water Resour. Res., 4, 1137-1143. doi: 10.1029/WR004i005p01137.

García de Jalón, D., M. González del Tánago, y C. Casado. 1988. *Effects of hydroelectric scheme on fluvial ecosystems within the Spanish Pyrenees*. Regul. River., 2, 479-491.

Limnos. 1996. *Diagnóstico y gestión ambiental de embalses en el ámbito de la cuenca hidrográfica del Ebro. Embalse de Ebro*. Comisaría de Aguas, Confederación Hidrográfica del Ebro, Ministerio de Medio Ambiente.

Palau, A. 1988. *El embalse de Baserca (Pirineos centrales, Lérida). Estudio limnológico de un embalse nuevo de alta montaña con bombeo*. Tesis doctoral dirigida por R. Margalef. Universitat de Barcelona. Departament d'Ecologia. 254 p.

Prats, J. 2011. *El règim tèrmic del tram inferior de l'Ebre i les seues alteracions*. Tesis doctoral dirigida por J. Dolz. Institut Flumen, Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya.

Prats, J., R. Val, J. Armengol y J. Dolz. 2010. *Temporal variability in the thermal regime of the lower Ebro River (Spain) and alteration due to anthropogenic factors*. J. Hydrol., 387, 105-118. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.04.002.

Prats, J., R. Val, J. Dolz, J. Armengol. 2012. *Water temperature modeling in the Lower Ebro River (Spain): Heat fluxes, equilibrium temperature, and magnitude of alteration caused by reservoirs and thermal effluent*. Water Resour. Res., 48, W05523. Doi: 10.1029/2011WR010379.

Steel, E. A. y I. A. Lange. 2007. Using wavelet analysis to detect changes in water temperature regimes at multiple scales: effects of multi-purpose dams in the Willamette River basin. River Res. Applic., 23, 351-359. doi: 10.1002/rra.985.

Val, R. 2003. Incidencia de los embalses en el comportamiento térmico del río. Caso del sistema de embalses Mequinenza - Ribarroja - Flix en el río Ebro. Tesis doctoral dirigida por J. Dolz. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya.