HAL open science

Modelación numérica (2D y 3D) de la hidrodinámica en el entorno de la confluencia Ebro-Segre

M. Arbat-Bofill, B. Martí-Cardona, E. Bladé, M. Sánchez-Juny, D. Niñerola, J. Dolz, J. Prats, L. Cea

To cite this version:

M. Arbat-Bofill, B. Martí-Cardona, E. Bladé, M. Sánchez-Juny, D. Niñerola, et al.. Modelación numérica (2D y 3D) de la hidrodinámica en el entorno de la confluencia Ebro-Segre. IV Jornadas de Ingeniería del Agua, Oct 2015, Córdoba, España. pp.117-124. hal-01235565

HAL Id: hal-01235565

https://hal.science/hal-01235565v1

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.

Modelación numérica (2D y 3D) de la hidrodinámica en el entorno de la confluencia Ebro-Segre

Marina Arbat-Bofill, Belén Martí-Cardona, Ernest Bladé, Martí Sánchez-Juny, Daniel Niñerola, Josep Dolz
Instituto Flumen UPC-CIMNE.
Universidad Politècnica de Catalunya. Campus Nord. D1, 08034 Barcelona

Jordi Prats
Pôle Irstea-Onema "Plans d'eau", 3275 Route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, Francia

Luis Cea
GEAMA ETSE Caminos, Canales y Puertos. Universidade da Coruña. Campus de Elviña, 15071 A Coruña

1. Introducción

La temperatura del agua es una variable fundamental para el estudio de la calidad ecológica de las masas de agua. Así, la temperatura del agua afecta a procesos físicos (densidad, viscosidad), químicos (tasas de reacción, solubilidad de gases) y biológicos (tasas de crecimiento, tasas metabólicas). En los embalses, el comportamiento hidrodinámico está íntimamente relacionado con la distribución vertical de calor. Además, el régimen térmico de un ecosistema fluvial determina las especies que se pueden encontrar en el mismo (Dodson, 2005), por lo que cambios en el régimen térmico de un embalse pueden afectar significativamente a la estructura de la comunidad ecológica (Prats et al., 2010) y a la calidad del agua que se extraiga del mismo.

La temperatura del agua en ríos depende de los intercambios naturales de calor con la atmósfera y con el fondo, de las aportaciones de los afluentes y aguas subterráneas y de las alteraciones de origen humano. En condiciones naturales, el río tiende a estar en equilibrio térmico con el entorno. De hecho, la temperatura media anual del agua del río tiende a aumentar a medida que disminuye la altitud. En el río Ebro el gradiente observado es de -0,71 °C/100 m (Arrúe y Alberto, 1986). Pero esta evolución natural puede ser alterada por la presencia de centrales térmicas o nucleares y de embalses, dando lugar a una discontinuidad que puede afectar a las comunidades fluviales (García de Jalón, 1996).

En este estudio se analiza numéricamente la dinámica de mezcla en la confluencia de los ríos Ebro y Segre (ver figura 1), situada en la cola del embalse de Riba-roja (NE de España), que

depende de las características de ambos ríos (temperatura del agua, caudales relativos, concentración de sólidos en suspensión).

También se ha comparado el funcionamiento de dos modelos numéricos que incluyen módulos de intercambio de calor agua-atmósfera: Iber (en 2D, promediado verticalmente) y FreeFlow (en 3D).

2. Zona de estudio

Mientras que el río Ebro está muy regulado con la presa de Mequinenza aguas arriba de la confluencia, el río Segre está menos afectado por la regulación por lo que nota más los efectos de la meteorología. Como consecuencia, ambos ríos tienen patrones de temperatura muy diferenciados (las diferencias térmicas entre ambos ríos pueden ser superiores a 10 °C dependiendo de la época del año). Además, las concentraciones y el transporte de sedimentos en suspensión también son muy diferentes entre ambos ríos y en función de la época del año (ver figura 1).

Los procesos de mezcla y contacto entre los flujos de los ríos Ebro y Segre que tienen lugar en la confluencia determinan el comportamiento de la estratificación en el embalse de Ribaroja.

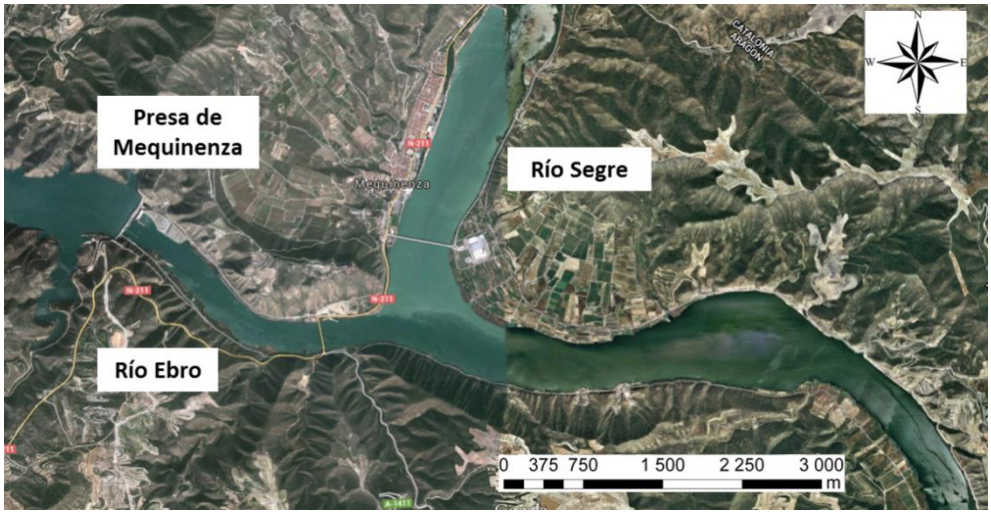

Figura 1. *Confluencia de los ríos Ebro y Segre. La diferencia de color es causada por la diferente composición y cantidad de materias en suspensión. (Fuente: Google Maps modificado por los autores).*

3. Métodos

3.1 Datos de campo

En los días 31 de marzo y 11 de octubre de 2011 el Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC) hizo un vuelo sobre la confluencia Ebro-Segre con el fin de obtener imágenes térmicas de la zona a través del sensor hiperespectral TASI (Prats et al., 2013).

Con tal de calibrar el sensor y comprobar su correcto funcionamiento también se realizaron medidas in situ de la temperatura superficial del agua mediante un termómetro y un radiómetro espectral (Fluke).

3.2 Modelo Iber (2D)

Iber (Bladé et al., 2014) es un modelo bidimensional promediado en la dimensión vertical para la simulación de flujo de lámina libre en ríos y estuarios, desarrollado por el GEAMA (Universidad de A Coruña) y el Instituto Flumen (UPC-CIMNE). Iber incluye un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia, y un módulo de transporte de sedimentos. Actualmente se está desarrollando un nuevo módulo de calidad del agua.

3.3 FreeFlow (3D)

El modelo FreeFlow (Cea et al., 2009) es un modelo hidrodinámico tridimensional en volúmenes finitos, diseñado para el cálculo de los caudales ambientales. El modelo resuelve las ecuaciones RANS. El código sigue en desarrollo pero ya ha sido probado y validado en varios casos demostrando exactitud en la predicción de velocidades y en la representación de estructuras de flujo en 3D. Recientemente (Arbat-Bofill, 2015) se ha implementado un módulo para simular la temperatura del agua de la superficie, lo que permite el cálculo de balance de calor de superficie en función de las variables meteorológicas.

4. Simulaciones

4.1 Mallas de estudio

Malla de cálculo 2D: Se generó una malla de triángulos irregulares a partir de la batimetría realizada en 2007 y del modelo del tramo final del Segre de 2009 (ver figura 2) (Arbat Bofill et al., 2010) generando una malla de 4748 triángulos mediante Iber (figura 3, izquierda).

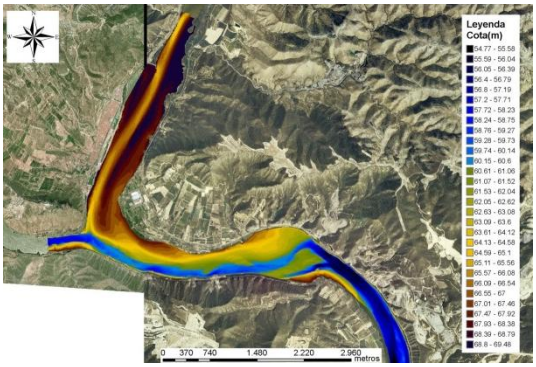

Figura 2. *Batimetría de la confluencia de los ríos Ebro y Segre.*

Malla de cálculo 3D: También se generó una malla 3D partiendo de la misma batimetría (figura 2) en que la capa superficial se ha situado a la cota 71 m y se simula como "*rigid lid*" (tapa dura) no variable. La malla resultante tiene 16093 vértices y 26080 elementos (ver figura 3, derecha). Los elementos son prismáticos irregulares de base triangular y con los lados rectangulares.

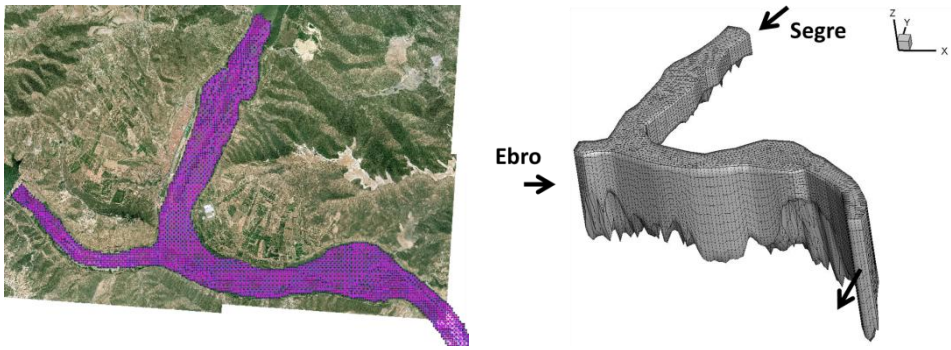

Figura 3. *Izquierda: Malla 2D (Iber). Derecha: Malla 3D (visualización en Tecplot)*

4.2 Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno de caudales se imponen en los contornos de entrada (ya sean 2D o 3D) y son: entrada río Ebro (caudal constante y temperatura del agua constante), entrada río Segre (caudal constante y temperatura del agua constante), salida hacia aguas abajo del río Ebro (contorno abierto). Además el contorno de la capa superficial en la que se aplican las condiciones del balance térmico superficial de ambos modelos.

Día 31 de marzo de 2011: Las condiciones de contorno en cuanto a caudales y temperaturas del agua de entrada consideradas constantes en toda la simulación son: 91,2 m^3/s entrando por el Segre a temperatura constante de 15 °C y 492,9 m^3/s por el Ebro a 10,7 °C. Inicialmente se considera que el embalse no se encuentra estratificado y se considera una

condición inicial de temperatura de 11,85 °C. Los datos meteorológicos introducidos son los correspondientes a las medias horarias del día de estudio, cedidos por el Servei Meteorològic de Catalunya.

Día 11 de octubre de 2011: Las condiciones de contorno en cuanto a caudales y temperaturas del agua de entrada consideradas constantes en toda la simulación son: 18 m^3/s entrando por el Segre a temperatura constante de 18,3 °C y 396,8 m^3/s por el Ebro a 22 °C. Inicialmente se considera que el embalse no se encuentra estratificado y se considera una condición inicial de temperatura de 19,85 °C. Los datos meteorológicos introducidos son los correspondientes a las medias horarias del día de estudio, cedidos por el Servei Meteorològic de Catalunya.

5. Resultados

5.1 31 de marzo de 2011

Los datos de campo mostraron que las aguas más cálidas del Segre tendían a flotar y mantenerse por encima del agua del Ebro y esto es lo que se quería simular numéricamente.

El modelo Iber predice un flujo paralelo de ambos ríos aguas abajo de la confluencia (figura 4, centro) hasta que se mezclan paulatinamente aguas abajo, por lo que no puede reproducir patrones de estratificación en la vertical. Por este motivo el flujo discurre en paralelo en vez de superponer las aguas del Segre (más calientes) encimad del caudal procedente del Ebro.

El comportamiento hidrodinámico simulado por FreeFlow es más similar al comportamiento observado, con el agua del río Segre que fluye por encima del agua Ebro, por lo que el contacto entre las aguas del Ebro y el Segre forma una especie de cuña inclinada (figura 4, derecha).

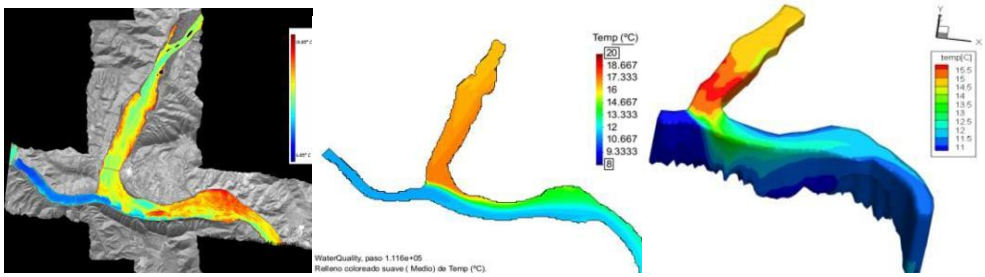

Figura 4. *Izquierda: Datos de campo (sensor TASI). Centro: Resultados modelo Iber. Derecha: Resultados modelo Freeflow (visualización en Tecplot).*

Los datos obtenidos mediante el modelo 3D se compararon con perfiles verticales de temperatura, en la figura 6 se muestran dos comparaciones para el día 31 de marzo de 2011 en la zona del contacto.

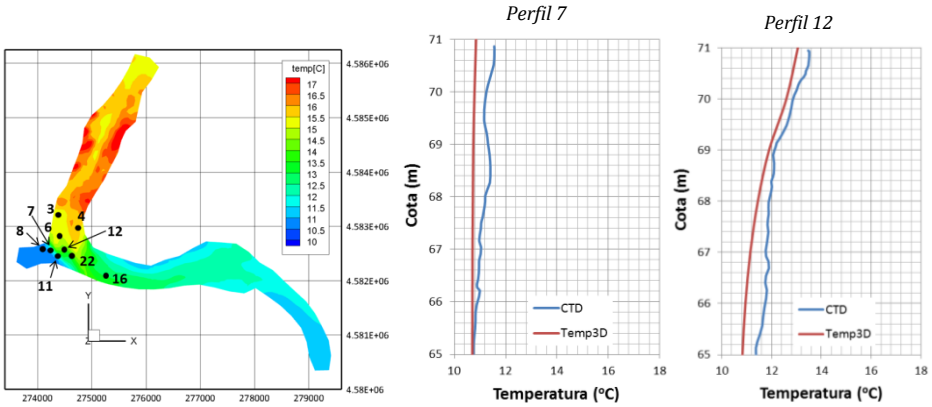

Figura 6. *Izquierda: Datos de campo (sensor TASI). Centro: Resultados modelo FreeFlow (Perfil 7). Derecha: Resultados modelo FreeFlow (Perfil 12).*

5.2. 11 de octubre de 2011

En el caso del 11 de octubre (figura 5) la simulación FreeFlow (figura 5, derecha) predijo con exactitud el punto de hundimiento, mientras que mediante Iber (figura 5, centro) se predijo el contacto 300 m aguas abajo y también mostró un flujo superficial más frío en la margen izquierda.

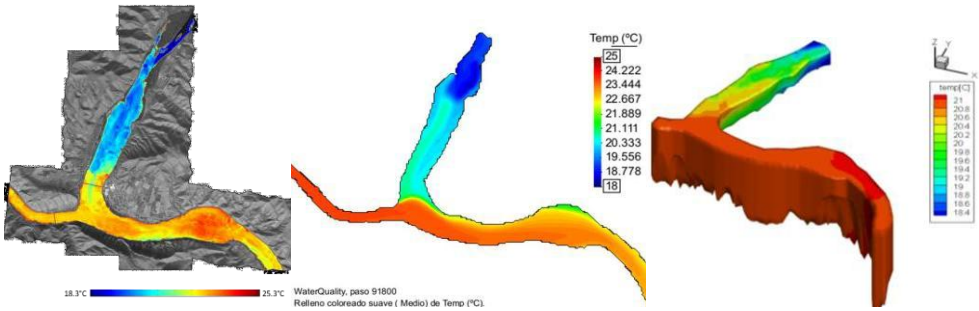

Figura 5. *Izquierda: Datos de campo (sensor TASI). Centro: Resultados modelo Iber. Derecha: Resultados modelo FreeFlow (visualización en Tecplot).*

Los datos obtenidos mediante el modelo 3D se compararon con perfiles verticales de temperatura, en la figura 6 se muestran dos comparaciones para el día 11 deoctubre de 2011 en la zona del contacto.

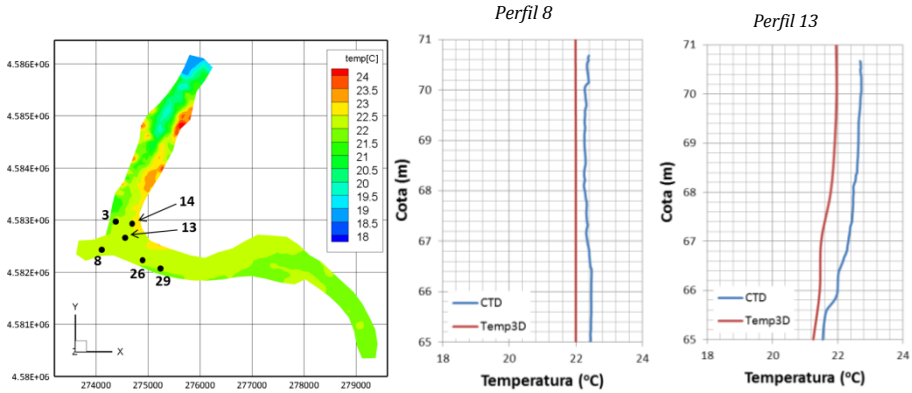

Figura 6. *Izquierda: Datos de campo (sensor TASI). Centro: Resultados modelo FreeFlow (Perfil 7). Derecha: Resultados modelo FreeFlow (Perfil 12).*

6. Discusión y conclusiones

El embalse de Ribarroja de Ebro presenta un patrón de flujo bidimensional excepto en su tramo de cola porque se trata de un embalse largo y estrecho con pocas variaciones en el ancho.

Hasta ahora, el trabajo de modelado ha consistido en la verificación de las predicciones del comportamiento hidrodinámico global así como de la capacidad de los modelos para predecir la dinámica térmica de la confluencia. Los datos de campo muestran que la naturaleza de la hidrodinámica de la confluencia es marcadamente 3D.

El modelo FreeFlow con el módulo de temperatura superficial *"temp_sup"* simula satisfactoriamente la estratificación térmica y calcula el balance térmico superficial en la capa superior de la malla. Es capaz de simular correctamente el calentamiento y enfriamiento superficial de masas de agua durante periodos de tiempo largos. Las simulaciones de la confluencia Ebro-Segre correspondientes a los días 31-03-2011 y al 11-10-2011 que se han podido comparar con muestreos de temperatura en campo (perfiles e imágenes térmicas superficiales mediante TASI) aportando credibilidad y veracidad a las capacidades del modelo.

<u>Limitaciones del modelo Iber:</u> el modelo Iber, que es un modelo de una sola capa promediada verticalmente, no es capaz de reproducir con precisión los procesos de estratificación y mezcla observados. El promedio de la temperatura (así como el resto de variables) en la vertical hace que los flujos de agua no puedan estratificarse en las simulaciones 2D.

<u>Limitaciones del modelo FreeFlow:</u> En la simulación anterior se ha considerado un régimen de caudales de entrada medios diarios y temperaturas del agua medias diarias constantes, además de una repetición de 10 días con las condiciones meteorológicas correspondientes al

día 31 de marzo de 2011. Cabría estudiar si las condiciones iniciales (caudales de los ríos Ebro y Segre, temperatura inicial del embalse y meteorología) impuestas en la simulación se corresponden exactamente con las reales así como las variaciones de caudal que tuvieron lugar durante el día. Estas condiciones de contorno son críticas a la hora de estudiar la posición y la evolución del contacto Ebro-Segre así como su desarrollo posterior.

Después de las validaciones se pudo estudiar la evolución térmica diaria de la confluencia Ebro-Segre, obteniendo la distribución 3D de temperaturas del agua y velocidades en x-y-z.

Referencias

Arbat-Bofill, M. 2015. "Distribución de temperatura y velocidad en embalses. Análisis numérico-experimental aplicado a los embalses de Sau (Ter) y Ribarroja (Ebro)". Universitat Politècnica de Catalunya.

Arrúe y Alberto. 1986. El régimen térmico de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. An. la Estac. Exp. Aula Dei 18, 31–50.

Bladé, E., Cea, L. Corestein, G. Escolano, Puertas, J. Vázquez-Cendón, E. Dolz, J. y Coll. 2014. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. En: Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería 30, 1–10

Cea, L., Stelling, G. y Zijlema, M. 2008 Non-hydrostatic 3D free surface layer-structured finite volume model for short wave propagation. En: International Journal for Numerical Methods in Fluids 61, 382–410

Dodson. 2005. Introduction to Limnology, 1st ed. McGrawHill Higher Education.

García de Jalón, Montes, Barceló, Casado y Menes. 1988. Effects of hydroelectric scheme on fluvial ecosystems within the Spanish Pyrenees. Regul. Rivers Res. Manag. 2, 479–491. doi:10.1002/rrr.3450020402.

Prats, J., Arbat-Bofill, M., Martí-Cardona, B., Dolz, J. y Armengol, J. 2013. Utilidad de los sensores térmicos aerotransportados en estudios de hidrodinámica de embalses y ríos. III Jornadas de Ingeniería del Agua, 23-24 October, València (Spain).

Prats, J., Val, R., Armengol, J. y Dolz, J. 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