

Woody Iber: un nuevo modelo hidrodinámico bidimensional para la simulación del transporte de detritos leñosos (*woody debris*) en ríos.

Woody Iber: new 2D hydrodynamic model to simulate the transport of woody debris in rivers.

**V. Ruiz Villanueva¹, E. Bladé Castellet², M. Sánchez Juny², J.M. Bodoque del Pozo³,
A. Díez Herrero¹**

1 Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. Contacto: v.ruiz@igme.es.

2 Grupo de Investigación FLUMEN. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

3 Departamento de Ingeniería Geológica y Minera de la Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo.

Abstract: A numerical model has been developed in order to simulate the hydrodynamics and other fluvial processes (turbulence, sediment transport, etc.) together with the woody debris transport. This model has been integrated as a new module into the IBER hydraulic two-dimensional model. Wood entrainment is considered in relation to a force balance model acting on wood in streams. Furthermore, turbulence may affect the woody debris transport. To incorporate this effect an additional resistance to fluid deformation resulting from the internal chaotic fluid motions that characterize turbulent flow has been added. The interactions between logs and channel configuration and between logs each other have been also taken into account in the model. The influence of woody debris (deposits or individual logs) in hydrodynamics has been solved with an additional drag. To verify the model presented here, flume experiments were carried out.

Palabras clave: detritos leñosos, modelización hidráulica, geomorfología fluvial, Iber.

Key words: woody debris, hydraulic simulation, fluvial geomorphology, Iber.

1. INTRODUCCIÓN

La presencia y el transporte de restos de vegetación (troncos o ramas, denominados *large woody debris* cuando tienen una longitud mayor a 1 m y un diámetro mayor a 10 cm) en los ríos tienen influencia sobre varios aspectos de la dinámica fluvial (Hupp y Bornette, 2003):

*Desde el punto de vista ecológico, las acumulaciones de *woody debris* pueden generar la formación de pequeños ecosistemas y mejorar las condiciones bióticas para el equilibrio de ciertas especies.

*Geomorfológicamente, las acumulaciones de detritos leñosos en el cauce pueden afectar al comportamiento hidrodinámico y a la capacidad de transporte de sedimentos, condicionando por tanto la tipología y distribución de las formas de fondo. Se ha demostrado que la frecuencia y tamaño de las pozas en ríos

están condicionadas por la presencia de *woody debris* (Montgomery, 2003).

Otro aspecto relevante del papel de los detritos leñosos en los ríos es sin duda desde el punto de vista de la peligrosidad, debido a su transporte durante las avenidas e inundaciones.

La eliminación de esta fracción de material de los cauces altera las condiciones hidrogeomorfológicas naturales (Brooks et al., 2003), y por tanto esta práctica está disminuyendo en los últimos años. Por ello, se hace necesario analizar el papel que esta carga leñosa juega en los ríos.

A pesar de la importancia que puede llegar a tener este tipo de carga leñosa en los ambientes fluviales, no existía hasta el momento una herramienta que permitiera simular su transporte junto con otros procesos fluviales. En este trabajo se presenta un modelo numérico con ese mismo objetivo.

2. MODELO NUMÉRICO

El modelo numérico ha sido desarrollado en lenguaje de programación Fortran e implementado como un módulo nuevo en el modelo hidrodinámico bidimensional IBER (www.iberaula.es). Actualmente IBER tiene 3 módulos: el módulo de simulación hidrodinámica, el de turbulencia y el de transporte de sedimentos (Figura 1).



Fig. 1. Esquema conceptual del modelo.

2.1. Inicio del movimiento y regímenes de transporte

El inicio del movimiento de una pieza de madera (suponiendo ésta como un cilindro) situada en un cauce, se determina mediante un análisis de las fuerzas que actúan sobre él (Figura 2; siguiendo los métodos propuestos por Braudrick y Grant, 2000 y Mazzorana et al., 2011). Por un lado, la fuerza gravitacional y la fuerza de arrastre que facilitan el movimiento (F_g y F_d), y por otro lado la fuerza de rozamiento o fricción que se opone al movimiento (F_f). Estas fuerzas dependen de parámetros como la densidad de la madera (ρ_w), su longitud (L_w) y diámetro (D_w), el ángulo que forma con respecto al flujo (Θ), las condiciones hidrodinámicas del flujo (calado (h) y campo de velocidades) y unos coeficientes de fricción con el lecho y de arrastre.

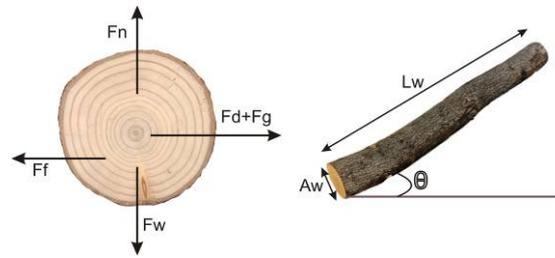


Fig. 2. Balance de fuerzas sobre una pieza leñosa (términos definidos en el texto). (Modificado de Ruiz-Villanueva et al., en revisión).

Así una pieza de madera iniciará su movimiento y se desplazará, bien por flotación (a una velocidad similar a la del agua) o por rodadura o arrastre de fondo (a una velocidad diferente a la del agua; Figura 3).

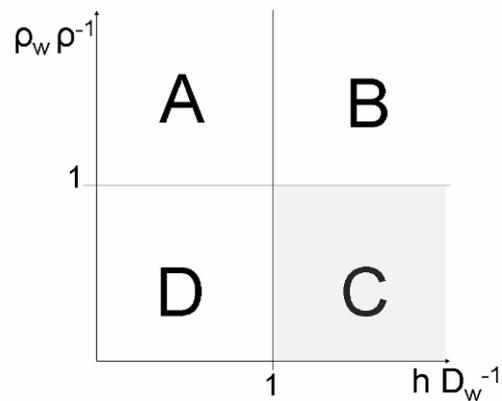


Fig. 3. Regímenes de transporte de una pieza leñosa en función de su densidad y del calado: A, B, C: rodadura o arrastre por el fondo; C: flotación. (Modificado de Ruiz-Villanueva et al., en revisión).

Además de la traslación, se produce una rotación por la distribución no uniforme de velocidad a lo ancho de la sección. Esto hace que un extremo se mueva más rápido que el otro, y la pieza se vaya orientando en la dirección del flujo (Figura 4). Naturalmente, si el flujo no es uniforme y el canal no es prismático, el proceso deriva en un movimiento giratorio de los troncos a lo largo del tiempo. Para simular el cambio de orientación de los troncos, se calcula la vorticidad del flujo a partir del valor de la velocidad del agua en los extremos.

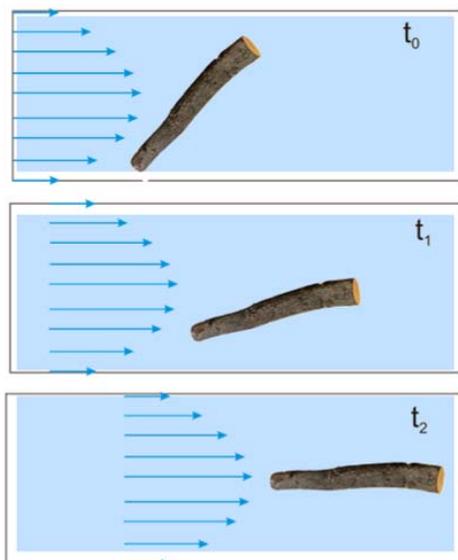


Fig. 4. Debido a la distribución no uniforme de velocidad a lo ancho de la sección, un extremo se mueve más rápido que el otro, y la pieza se va orientando en la dirección del flujo (Modificado de Ruiz-Villanueva et al., en revisión).

La presencia de *woody debris* ejerce sobre el flujo una resistencia adicional, que no está presente en las ecuaciones de St. Venant (2D) y que ha sido incorporada en el modelo.

2.2. Turbulencia

El flujo en los ríos puede ser turbulento (especialmente en cauces de alta energía) y esta turbulencia puede ser tenida en cuenta en el modelo. En ese caso, se recalcula la velocidad de las piezas de madera empleando un coeficiente de restitución en función de la energía cinética turbulenta. De esta manera se añade un cierto factor de aleatoriedad en el movimiento de los troncos que permite que su movimiento se asemeje más a la realidad.

Esto significa que una pieza colocada en la misma posición, con iguales características pero teniendo en cuenta la turbulencia, puede trazar una trayectoria algo diferente y terminar en una posición distinta en cada simulación.

2.3. Interacciones entre los *woody debris* y con el cauce.

El modelo tiene en cuenta la interacción (choques) entre varios *woody debris* (Figura 5), y entre éstos y el cauce, así

como que la posibilidad de que una parte del tronco quede en fondo seco. En este último caso, las fuerzas de arrastre se ven modificadas actuando tan solo en la longitud de tronco mojada.



Fig. 5. Interacción entre *woody debris* (Modificado de Ruiz-Villanueva et al., en revisión).

2.4. Condiciones iniciales y de contorno

Es posible asignar las condiciones iniciales mediante la posición inicial de cada pieza en el tramo de río a modelizar, su longitud, diámetro, densidad y el ángulo con respecto al flujo.

También existe la posibilidad de asignar condiciones de contorno de entrada. Mediante unos rangos de los parámetros anteriores (longitud, diámetro, densidad y el ángulo con respecto al flujo) el modelo realiza simulación estocástica de éstos para caracterizar cada pieza de madera que entra en la simulación.

3. VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación del modelo se ha realizado mediante ensayos de laboratorio en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto FLUMEN de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC).

El canal empleado mide 0,6 m de ancho y 10 m de largo, con una sección transversal rectangular y paredes laterales lisas (ver Figura 6). La geometría del canal recto fue modificada con varios obstáculos para formar un fuerte campo de velocidades bi-dimensional y la turbulencia.

Dos caudales (12 y 18 l/s) fueron utilizados, con diferentes condiciones de contorno de vertedero (5 cm y 9,7cm de altura).

Cilindros redondos de madera de haya de diferentes dimensiones se emplearon para representar los *woody debris*.

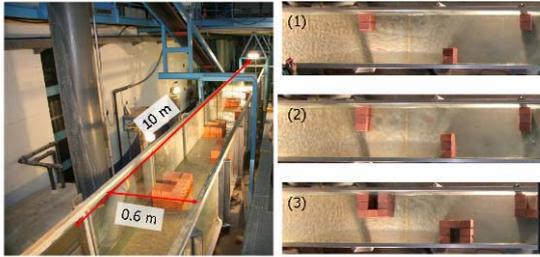


Fig. 6 Canal de experimentación hidráulica del Instituto FLUMEN (UPC) (Modificado de Ruiz-Villanueva et al., en revisión).

Todos los ensayos se grabaron con una cámara digital de gran angular instalada unos metros por encima del canal.

Los videos fueron procesados mediante un código desarrollado en Matlab para determinar la trayectoria de cada pieza en el canal. Así se pudieron comparar los resultados del modelo matemático con los ensayos en el modelo físico (ver una de las validaciones en la figura 7).

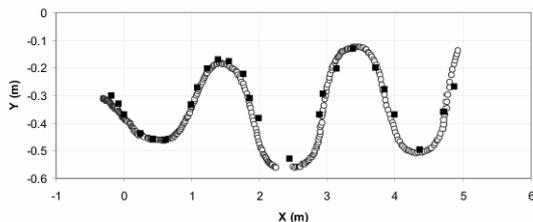


Fig. 7. Resultados de la validación del modelo matemático (círculos blancos) y el modelo físico (cuadros negros) (Modificado de Ruiz-Villanueva et al., en revisión).

4. CONCLUSIONES

Se presenta un modelo numérico que permite simular junto con la hidrodinámica el transporte de *woody debris*.

El modelo ha sido validado mediante ensayos de laboratorio, aunque está siendo probado actualmente en una zona piloto.

Este modelo puede ser de gran utilidad en el análisis de inundaciones con abundante carga leñosa, que pueda resultar en un incremento de la peligrosidad. Así como en dimensionamiento de obras hidráulicas (puentes, aliviaderos...).

También puede ser una herramienta para estudios de restauración de ecosistemas fluviales.

Agradecimientos

La elaboración de este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación MAS Dendro-Avenidas (CGL2010-19274) del Ministerio de Economía y Competitividad. La primera firmante desea agradecer al Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación de una estancia breve de 3 meses de investigación en el Instituto FLUMEN de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), y la colaboración de todos los miembros del Instituto.

REFERENCIAS

Braudrick C, Grant GE. 2000. When do logs move in rivers? *Water Resources Research* 36: 571.

[Brooks AP, Brierley GJ, Millar RG. 2003. The long - term control of vegetation and woody debris on channel and flood - plain evolution: insights from a paired catchment study in southeastern Australia. *Geomorphology* 51:7-29.](#)

Hupp CR, Bornette G. 2003. Vegetation and fluvial processes and forms in temperate areas. In: *Tools in Fluvial Geomorphology*. Kondolf GM, Piegay H. (eds.). Chichester. J. Wiley & Sons: 269-288.

[Mazzorana B, Hübl J, Zischg A, Lurgiader A. 2011. Modelling woody material transport and deposition in alpine rivers. *Natural Hazards* 425-449.](#)

[Montgomery, D. \(2003\). Wood in rivers: interactions with channel morphology and processes. *Geomorphology*, 51, 1-5.](#)

Ruiz Villanueva, V.; Bladé Castellet, E.; Sánchez Juny, M.; Martí, B.; Bodoque, JM; Díez Herrero, A. 2012. "2D Modelling of Woody Debris transport in rivers". *Journal of Hydrology* (en revisión).