

Iber: herramienta de simulación numérica para la evaluación de la habitabilidad para peces (HPU)

M. Sanz-Ramos¹, E. Bladé¹, A. Palau^{2,3}



¹Instituto Flumen. Universitat Politècnica de Catalunya - CIMNE, Barcelona, España

²Universitat de Lleida - Lleida, España

³Departamento de medioambiente y desarrollo sostenible de ENDESA, España

INTRODUCCION

La **caracterización y cuantificación del Hábitat Potencial Útil (HPU)** para peces en base a **modelos numéricos de simulación hidráulica** diseñados *ad hoc*, es una herramienta de amplio uso en la gestión ambiental de ríos, utilizada, entre otras aplicaciones, para el establecimiento de Régimen de Caudales Ecológicos (RQE). El cálculo del HPU se fundamenta en la disponibilidad de unas **curvas de preferencia o idoneidad** adecuadas para la especie de pez y estadio de desarrollo considerados, así como en el uso de modelos de simulación hidráulica robustos, preferentemente bidimensionales, capaces de incorporar y operar de forma combinada variables hidráulicas e hidrobiológicas.

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no-permanente y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. Este modelo **permite obtener valores de variables hidráulicas** (calados, velocidades, etc.) e **hidrobiológicas** (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto etc.) para diferentes escenarios de cálculo.

Se presenta el desarrollo y aplicación, mediante un caso de estudio, del nuevo módulo de Iber, denominado **Idoneidad del Hábitat Físico (IHF)**, que permite incorporar curvas de preferencia de cualquier especie acuática y estadio de desarrollo para el **cálculo de la distribución espacial y temporal del HPU** correspondiente. En el caso de estudio se ha evaluado el hábitat físico disponible de la trucha común (alevín, juvenil y adulto) en función del calado y la velocidad del agua en un tramo del río Eume (Galicia, España).

MODELO NUMÉRICO: IBER

El modelo matemático de simulación hidráulica Iber resuelve las ecuaciones de aguas poco profundas en dos dimensiones, o ecuaciones de Saint Venant bidimensionales, sobre una malla de volúmenes finitos, que puede ser irregular y no estructurada, formada por triángulos, cuadriláteros o combinaciones de ambos. Para su resolución Iber utiliza el método de los volúmenes finitos con el esquema de Roe.

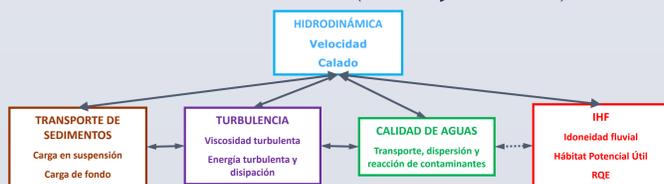
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (q_x q_y) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - \frac{\partial}{\partial x} (h u_x u_x) - \frac{\partial}{\partial y} (h u_x u_y)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (q_x q_y) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} - \frac{\partial}{\partial x} (h u_x u_y) - \frac{\partial}{\partial y} (h u_y u_y)$$

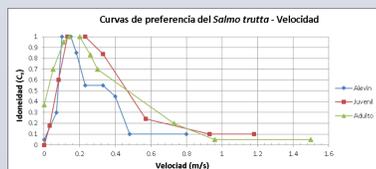
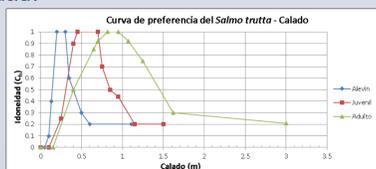
El modelo Iber consta actualmente de 4 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia, un módulo de transporte de sedimentos y un módulo de calidad de aguas.

Atendiendo a la mejora sustancial que supone un modelo bidimensional respecto a un modelo unidimensional, y aprovechando el potente motor de cálculo de Iber, se ha creado un nuevo módulo (IHF) para obtener los mapas de idoneidad y el Hábitat Potencial Útil (HPU) a partir de las variables hidrodinámicas (calado y velocidad).



IDONEIDAD Y HÁBITAT POTENCIAL ÚTIL

Las **curvas de idoneidad** son relaciones entre las variables hidráulicas (calados, velocidades, etc.), hidrobiológicas, geomorfológicas y/o fisicoquímicas del agua (granulometría, turbidez, cobertura arbórea, pendiente del lecho, presencia de *E. coli*, temperatura, salinidad, etc.), y el grado de adecuación de la fauna acuática a dichas condiciones. La idoneidad (C_i), para cada una de las variables, se evalúa entre cero y uno, siendo valores cercanos a la unidad un alto grado de idoneidad o adecuación y, por el contrario, un bajo grado de idoneidad para valores cercanos a cero. Cada especie cuenta con un óptimo para cada una de las variables, y dentro de cada especie se pueden considerar los estadios de desarrollo para los cuales también se pueden definir curvas idoneidad.



En el ámbito de los estudios sobre peces, se define el **Hábitat Potencial Útil (HPU)** como la superficie o porcentaje del hábitat, expresado en función de la superficie de cauce inundado, que puede ser potencialmente utilizado por la población de una especie de pez de referencia. El valor de la idoneidad de cada variable considerada es, *per se*, un indicador primario de la habitabilidad del tramo fluvial estudiado para la especie evaluada. Pero para obtener el HPU es necesario establecer una combinación de los valores de idoneidad de las distintas variables hidráulicas y tener en cuenta su distribución espacial, bajo distintas condiciones hidrológicas (diferentes caudales) para así, mediante un análisis comparado, poder discernir cuáles son las características hidráulicas, y por extensión los caudales correspondientes, que representan los criterios óptimos para que se den las mejores condiciones de hábitat para cada especie y estadio de desarrollo.

En el caso de estudio que se presenta a continuación se ha optado por evaluar la idoneidad como producto de idoneidades de la trucha común (*Salmo trutta*) y el HPU como el porcentaje de área idónea respecto al área total inundada.

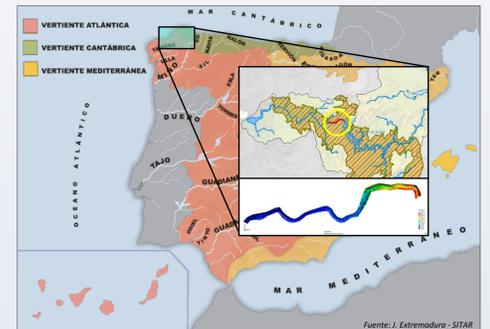
$$C_i = \prod_{k=1}^n C_k$$

$$HPU = \frac{1}{\sum_{i=1}^m A_i} \sum_{i=1}^m \left(\prod_{k=1}^n C_k \cdot A_i \right)$$

CASO DE ESTUDIO: río Eume

El tramo de río Eume estudiado tiene unos 3 Km de longitud y se sitúa aguas abajo de la presa del mismo nombre. Este se caracteriza por tener una pendiente elevada en el tramo inicial (<5% de media, con pozas y saltos) y moderada en el tramo final (<2%).

El modelo numérico se caracteriza por tener más de 72000 elementos que permiten discretizar adecuadamente la geometría del lecho gracias al MDT.



Escenarios de cálculo

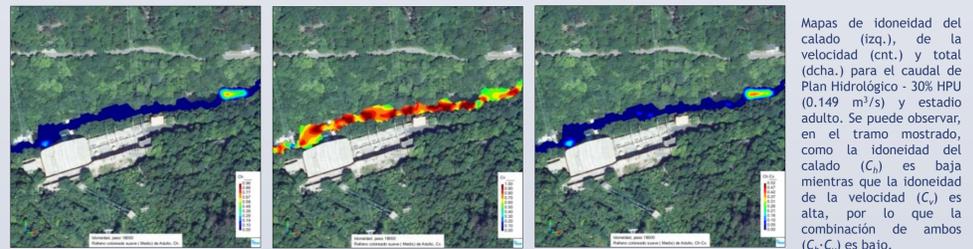
Los caudales empleados van desde los mínimos exigidos por el Plan Hidrológico (0.149 m³/s) hasta el caudal medio (11.350 m³/s).

Curvas de idoneidad

Dos variables hidráulicas han sido tenidas en cuenta para evaluar el HPU: calado y velocidad. Las curvas de preferencia o idoneidad obtenidas son para el *Salmo trutta* en los estadios de desarrollo de alevín, juvenil y freza (CHE-ACA, 2008).

RESULTADOS

Mapas de idoneidad



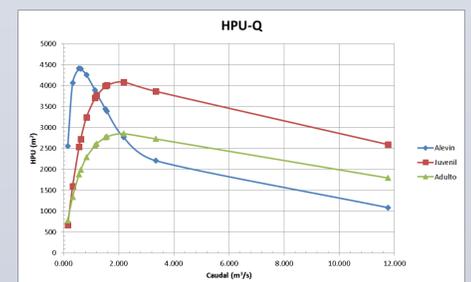
Mapas de idoneidad del calado (izq.), de la velocidad (cnt.) y total (dcha.) para el caudal de Plan Hidrológico - 30% HPU (0.149 m³/s) y estadio adulto. Se puede observar, en el tramo mostrado, como la idoneidad del calado (C_h) es baja mientras que la idoneidad de la velocidad (C_v) es alta, por lo que la combinación de ambos (C_i) es bajo.

Evaluación del HPU

Metodología desarrollada

- Obtención de los índices de idoneidad del calado (C_h) y de la velocidad (C_v).
- Aplicación del criterio de idoneidad: $C_i = C_h \cdot C_v$
- Definición intervalos de calidad de hábitat:

Índice C_i	Criterio
0,0 - 0,3	Condiciones insuficientes
0,3 - 0,5	Condiciones mínimas exigibles
0,5 - 0,8	Condiciones óptimas
0,8 - 1,0	Condiciones excelentes



Curvas HPU-Q para el total del tramo de río estudiado y los tres estadios de desarrollo de la trucha considerados. Los máximos valores de HPU se concentran para valores reducidos de caudal (<2 m³/s).

- Evaluación del área correspondiente a cada intervalo de C_i considerado.

CONCLUSIONES

- El **modelo numérico bidimensional Iber**, permite caracterizar la hidrodinámica de manera más completa que un modelo unidimensional, lo cual resulta de particular relevancia en el caso de estudio si se tiene en cuenta la complejidad del tramo de río Eume estudiado (pozas, saltos, cauce trenzado, etc.) en el que se producen cambios de régimen, la lámina de agua no es horizontal en una misma sección del río y la velocidad no tiene por qué tener la misma dirección que el río.
- El nuevo **módulo de Idoneidad del Hábitat Físico** de Iber, que incorpora curvas de idoneidad de referencia, permite caracterizar y evaluar satisfactoriamente, de manera ágil y eficaz:
 - La **distribución espacial de la disponibilidad y calidad del hábitat físico**.
 - La **cuantificación del Hábitat Potencial Útil**.
- Mediante el caso de estudio ha sido posible obtener mapas de idoneidad y evaluar el HPU. Debido a las características geomorfológicas del tramo de río (muy heterogéneas) se puede concluir que:
 - La **distribución espacial de la idoneidad se concentra en puntos concretos**, y es altamente variable en función de los caudales y estadio de desarrollo.
 - En general, el HPU total para la trucha no supera en ninguno de los estadios y caudales evaluados el 15 % del área total mojada.

REFERENCIAS

- Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuellar, P., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Mellado, A., Ortega, M., Prado, I., Prat, N., Rieradevall, M., Robles, S., Sáinz-Cantero, C., Sánchez, A., Suárez, M. L., Toro, M., Vidal-Abarca, M. R., Vivas, S. y Zamora-Muñoz, C. (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP). *Limnética*, 21(3-4): 175-185.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., y Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya), 30(1), 1-10.
- CHE-ACA, 2008. Cálculo de caudales ambientales y validación biológica en tramos significativos de la red fluvial de Cataluña. Confederación Hidrográfica del Ebro (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino) y Agencia Catalana de l'Aigua (Generalitat de Catalunya). Documento inédito. Memoria (133 pp) y Anejo 8 (14 pp). Barcelona.
- Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario en el ámbito de la política de aguas.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se engloba dentro del proyecto "Propuesta de un régimen de caudal ecológico para el río Eume aguas abajo de la presa Eume (A Coruña)" realizado por el Instituto Flumen a petición de Endesa.