

# **ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN EL RÍO CARRIÓN (PALENCIA) AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DE COMPUERTO, EMPLEANDO LA METODOLOGÍA IFIM ("Instream Flow Incremental Methodology")**

DÍEZ HERNÁNDEZ, JUAN MANUEL. Ingeniero de Montes. Profesor de la Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología. Universidad de Valladolid. [jmdiez@iaf.uva.es](mailto:jmdiez@iaf.uva.es)

## **RESUMEN**

Tradicionalmente el río Carrión, se ha caracterizado por la excelente calidad de su hábitat fluvial, tanto en su cauce como en el ecosistema de ribera asociado. Sin embargo, en los últimos años ha sufrido una notable degradación debido a la regulación de sus caudales, desaparición y sobrepastoreo de la vegetación riparia, plantaciones monoespecíficas en las márgenes, construcción de escolleras, instalación de graveras, vertidos tóxicos y furtivismo. La acción antrópica más impactante es la regulación de caudales por las presas (Camporredondo, Compuerto y Velilla) y las minicentrales (Acera de la Vega y Villalba de Guardo), ya que varían el funcionamiento hidráulico y biológico natural en el río y modifican la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema acuático (figuras 1 y 2).



Figura 1. Presa de Compuerto en Guardo (Palencia).



Figura 2. Minicentral de Acera de la Vega (Palencia).

Han desaparecido refugios de orilla y cauce para los adultos, se ha alterado el medio intersticial (sellándose potenciales frezaderos y lugares de enraizamiento de macrófitos), se ha variado el régimen natural de caudales y se ha alterado el aporte de nutrientes procedente de la ribera. Consecuentemente, se ha reducido dramáticamente la disponibilidad de refugio, alimento y lugares de puesta para las especies ícticas, fundamentalmente salmónidos. De hecho, la estructura poblacional actual de la trucha padece una preocupante escasez de ejemplares adultos.

La restauración de este río debe acometerse con tres tipos de actuaciones: mejorar el hábitat fluvial, restaurar la ribera y fijar un régimen de caudales ecológicos. Al ser el caudal una variable de primer orden en el funcionamiento hidrobiológico de un río (junto con la carga de sedimentos), la actuación más prioritaria es el establecimiento de un régimen de caudales que recupere y mantenga la capacidad biogénica potencial del ecosistema acuático. En esta línea surge el término “caudales ecológicos” refiriéndose a un régimen de caudales que permite el aprovechamiento del recurso hídrico por el hombre, pero conserva un estado aceptable del ecosistema acuático. Esta idea se formalizó jurídicamente en la legislación Estatal (Ley de Aguas 29/1985, del 2 de agosto) y Autonómica (Ley 6/1992, de 18 de diciembre de Protección de los Ecosistemas Acuáticos y Regulación de la Pesca en Castilla y León). Aunque es la medida restauradora más eficaz en un río regulado, hasta el momento no se había contemplado. Por esta razón pensamos que ya era el momento de realizar este trabajo.

## **1.- SITUACIÓN ACTUAL DEL TRAMO**

El río Carrión pertenece a la cuenca hidrográfica del Duero y discurre íntegramente de norte a sur en la provincia de Palencia. El tramo se encuentra en el noroeste de la provincia, aguas abajo del embalse de Compuerto y aguas arriba del importante coto de Pino del Río, a la altura de la localidad de Barrios de la Vega. La altitud media es de 934 m, la longitud aproximada es de 1 km y discurre con orientación Norte – Sur entre 42° 34' 02" N – 4° 46' 20" O y 42° 34' 28" N – 4° 26' 28" O.

El clima es Submediterráneo con una temperatura media anual de 8,6 °C y una precipitación media anual de 572 mm. Se caracteriza por inviernos fríos y húmedos y veranos templados.

La pendiente media del tramo es del 0,038 % y el trazado es de tipo sinuoso (Church, 1992). La zonación longitudinal corresponde al metarhithron (Illies y Botosaneanu, 1963) y a la zona de la trucha (Huet, 1954), siendo la trucha común (*Salmo trutta fario*) la especie íctica representativa. El sustrato más abundante son las gravas, característico de un típico tramo de frezaderos. La relación entre el número de pozas y rápidos es de 0,96 que indica un déficit en la proporción de pozas ya que el valor aconsejable ronda el 0,4 (Platts et al., 1983). El proceso natural de erosión – sedimentación se ha modificado por la regulación de caudales, reduciendo el hábitat disponible y su potencial biogénico. El refugio disponible para la ictiofauna es muy reducido. El índice de refugio (Mayo Rustarazo, 1995) es de 3,20 que corresponde a un nivel bajo. Los refugios de alimentación para adultos en el cauce (grandes bolos y obstáculos) son infrecuentes y la profundidad en las pocas pozas existentes es insuficiente. Los refugios de protección también son escasos, la vegetación de ribera proporciona poco cobijo y la subacuática es casi inexistente. En las orillas apenas hay cuevas y cornisas, sobre todo en la margen derecha donde existe una escollera (figura 3).

El bosque de ribera propio de esta zona es la aliseda. La vegetación riparia se encuentra muy degradada. En los mejores lugares subsisten bosquetes con algunos pies aislados de *Alnus glutinosa* y distintos tipos de sauces (*Salix fragilis*, *S. Atrocinerea*, *S. Salviifolia* y *S. Eleagnus subsp angustifolia*), un estrato arbustivo básicamente de *Crataegus monogyna*,



Figura 3. Modificación de la sección con por una escollera.

*Rubus ulmifolius* y *Genista florida* y un estrato herbáceo en el que predominan *Phragmites australis* y *Althaea officinalis*.

Los análisis de calidad de aguas (estación nº 134 en Velilla de Guardo) señalan un índice de calidad global (I.C.G) de 89,5 que corresponde a una calidad buena (cercano al límite con calidad excelente).

El índice biológico B.M.W.P. es de grado I (Alba-Tercedor y Sánchez, 1987), que corresponde a "aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible". De hecho, esta zona ha sido declarada como de "aguas trucheras" por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León. El régimen de temperaturas oscila entre los 5 °C y 18 °C. El nivel de sólidos en suspensión (<10 mg/l), corresponde a la clase 1, con situación muy buena. El oxígeno disuelto ( $\approx$  9,72 mg/l) es superior a los 7 mg/l que se consideran limitantes para la trucha (García de Jalón, 1993). Los valores de otros parámetros químicos como el pH ( $\approx$  8), conductividad ( $\approx$  160 uS/cm), alcalinidad ( $\approx$  61), cloruros ( $\approx$  2,5 mg/l), sulfatos ( $\approx$  10 mg/l), DQO ( $\approx$  1,13), DBO<sub>5</sub> ( $\approx$  1,26) y compuestos nitrogenados, alcanzan niveles tolerables para la trucha.

El régimen actual de caudales (tabla 1) viene determinado por el funcionamiento de la presa de Compuerto y en menor medida por las minicentrales. Se define por tres características:

**Tabla 1.** Caudales medios mensuales (estación de aforos CHD nº 134 en Guardo, n = 15 años).

MES	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
Qmedio (m <sup>3</sup> /s)	5,69	5,32	5,27	6,93	5,07	5,87	7,98	13,10	10,20	11,30	9,80	7,44

**1.- Caudales reducidos.** Correspondiente a la época de lluvias en la que las compuertas permanecen cerradas almacenando agua para la siguiente campaña de riego. Las especies arbóreas y arbustivas invaden el cauce y desplazan a las herbáceas de ribera que están más adaptadas a las fluctuaciones naturales de caudal. Varía el aporte de materia orgánica y se modifica la composición del macrobentos (Ward, 1984). Generalmente, esta problemática no se presenta, aunque aparece en años secos (como el presente) afectando a los frezaderos y adultos.

**2.- Caudales elevados.** Coincide con la época de riego. La alta tensión tractiva de las aguas erosiona el lecho y las márgenes. El medio intersticial es arrastrado aguas abajo aumentando la turbidez. Desaparecen los refugios de orilla, los macrófitos, aumentan las algas epilíticas (Petts, 1984) y en el lecho se forma la típica "coraza" poco adecuada para las comunidades de macroinvertebrados y la freza de los salmónidos (Milhous, 1982). El aumento de turbidez disminuye la entrada de radiación solar (disminuyendo la actividad fotosintética), provoca heridas en la

epidermis (facilitando la entrada de patógenos y parásitos) y puede obstruir las branquias. Cuando la capacidad de transporte disminuye, las partículas más finas se depositan en tramos aguas abajo. La sedimentación homogeneiza el medio intersticial y reduce su capacidad biogénica al eliminar especies del macrobentos (en favor de los oligoquetos y quironómidos), ubicaciones de frezaderos para los adultos y lugares de refugio y criadero para larvas y alevines (García de Jalón, 1995).

En consecuencia, desaparece un buen número de pozas, se incrementa el de tablas y la estructura poblacional se modifica reduciéndose el número de adultos (Otaola-Urrutxi y Navarro, 1998).

**3.- Oscilaciones bruscas de caudal.** El funcionamiento de las minicentrales origina un régimen bimodal de caudales al que apenas hay organismos adaptados. El impacto sobre las comunidades acuáticas no es tan severo como en el caso de la presa de Compuerto, aunque se modifica la composición del ecosistema acuático que queda reducido a unas pocas especies que toleran frecuentes y rápidas variaciones caudal.

En resumen, la situación actual se caracteriza por una escasa disponibilidad de refugio para los adultos durante todo el año, una vegetación riparia muy degradada que altera el funcionamiento biológico e hidráulico del río y un régimen de caudales que reduce el hábitat potencial útil para todos los estadios de la trucha. Si a estos factores se une la sobrepesca y furtivismo, el resultado es una estructura poblacional desequilibrada con escasez de adultos. Las actuaciones para restaurar el río deben ir encaminadas en estas tres direcciones:

1.- Mejora del hábitat fluvial mediante técnicas de bioingeniería, estabilizando las orillas (empalizadas trenzadas), creando refugios artificiales para los adultos (deflectores, bolos en el cauce) y mejorando los frezaderos. Algunos de estos métodos se han llevado a cabo en el río Carrión(en el coto de Pino del Río) durante los últimos cinco años con gran éxito (Otaola-Urrutxi y Navarro, 1998).

2.- Recuperación del bosque de galería mediante el control estricto del pastoreo y repoblación.

3.- Estimación de un régimen de caudales ecológicos que recupere y mantenga el potencial biológico del río, y que permita otros usos consuntivos. Esta es la medida restauradora más eficaz en un río regulado y es la que se aborda en este artículo.

## **2.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA I.F.I.M. (Instream Flow Incremental Methodology)**

Al referirse a IFIM, debe hablarse de una “metodología” que engloba varios “métodos” propios de diferentes disciplinas, que solucionan un problema múltiple. Se trata de una metodología incremental que simula el comportamiento hidrobiológico del río para diferentes caudales circulantes evaluando el hábitat disponible en cada estadio de la especie considerada (en este caso la trucha). A partir de este modelo se elige la alternativa de gestión que satisfaga los intereses de todos los colectivos implicados en el manejo del agua.

### **2.1.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA IFIM**

IFIM utiliza el modelo de simulación hidrobiológica PHABSIM (Bovee, 1982) que consta de las siguientes fases.

#### **2.1.1- Levantamiento de transectos**

En esta fase se estructura el tramo de río en transectos que representan los diferentes macro, meso y microhábitats. El transecto se divide en celdas elementales de características homogéneas en las que se miden las variables físicas que condicionan el comportamiento de la trucha (en este caso la velocidad, el calado y el tipo de sustrato).

#### **2.1.2.- Simulación hidráulica**

Con los datos de campo se utilizan diferentes modelos hidráulicos con los que se calculan, para distintos caudales circulantes, estas dos variables (figura 4):

- Superficie libre del agua: se utilizan modelos basados en la ecuación de Manning para régimen permanente y uniforme (MANSQ) o en el método numérico de tramos fijos para régimen permanente gradualmente variado (WSP y HEC-RAS).
- Distribución de velocidades en cada transecto: se emplea el modelo MANSQ que asigna a cada celda un coeficiente de rugosidad de Manning constante para cualquier flujo circulante.

#### **2.1.3.- Simulación biológica**

La información disponible sobre el comportamiento de la trucha en los distintos estadios se expresa gráficamente en las "curvas de preferencia" que representan la predilección que tiene cada estadio

respecto a los valores que pueden tomar los parámetros físicos (figura 5). El grado de predilección se valora de cero a uno mediante un coeficiente de uniformidad. A partir de las mediciones de campo se calcula el coeficiente de conformidad de cada celda en todos los transectos.

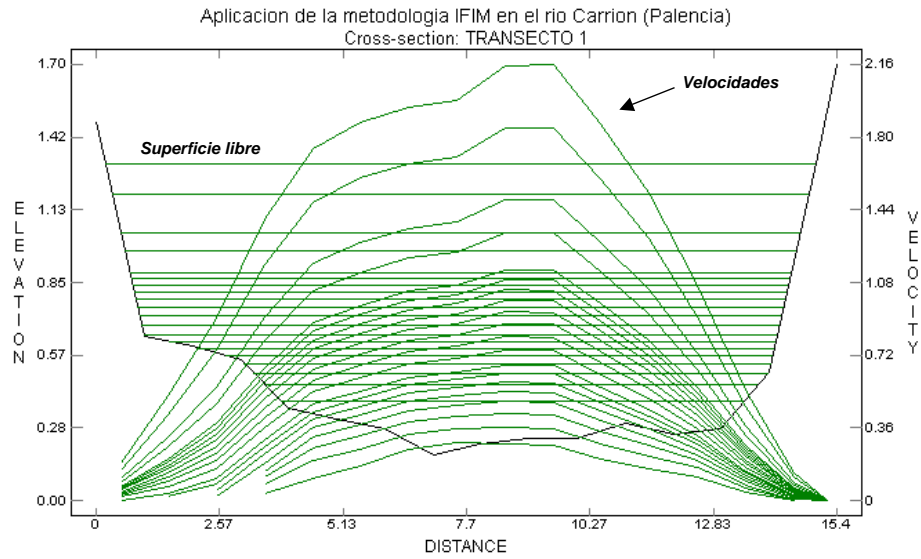


Figura 4 . Simulación hidráulica de superficies libres y velocidades en un transecto.

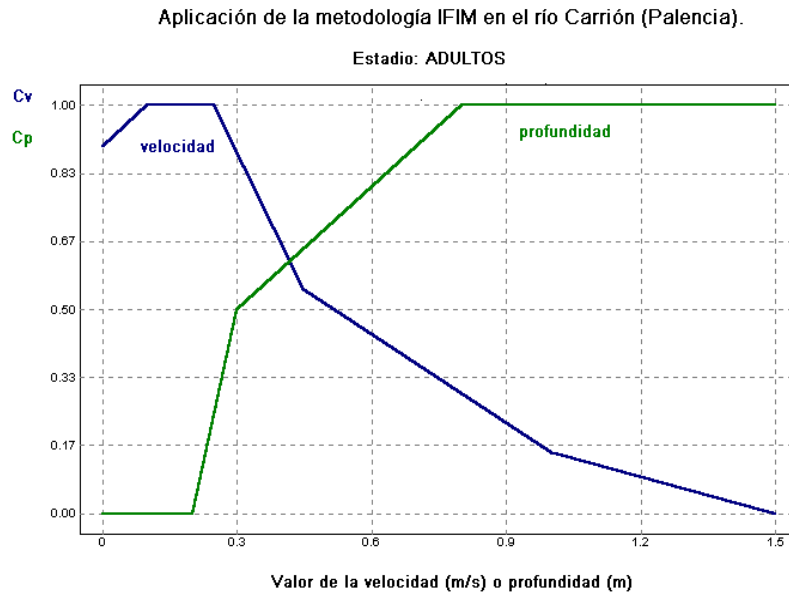


Figura 5. Curvas de preferencia del adulto de la trucha común (*Salmo trutta fario*).

### 2.1.4.- Simulación hidrobiológica

En esta fase se aplican las dos simulaciones anteriores simultáneamente. En cada transecto se determina el hábitat potencial que genera cada caudal circulante para cada estadio de la trucha, y se expresa como Anchura Potencial Útil (APU). El proceso de cálculo es el siguiente:

- Se calcula el coeficiente de conformidad  $C_i$  en cada celda (i) mediante la media ponderada de los tres coeficientes de uniformidad considerados:

$$C_i = (Cv_i \cdot Cp_i \cdot Cs_i)^{1/3}$$

donde  $Cv_i$ ,  $Cp_i$  y  $Cs_i$  son los coeficientes de velocidad, profundidad y sustrato, respectivamente.

- La APU para el transecto (j) se calcula como el sumatorio del producto de la anchura de cada celda ( $A_i$ ) por su índice de conformidad ( $C_i$ ).

$$APU_j = \sum_1^k A_i \cdot C_i$$

siendo "k" es el número de celdas en cada transecto.

- La APU total, para un caudal y estadio considerado, es la suma de las APU's de todos los transectos ponderadas según la longitud de tramo que representan ( $L_j$ ) respecto al total ( $L_t$ ).

$$APU_t = \sum_{j=1}^n APU_j \cdot \frac{L_j}{L_t}$$

Siendo "n" el número de transectos en el tramo estudiado. Estos cálculos se han realizado con el programa informático RHABSIM 1.18 (Payne, 1996)

### 3.- RESULTADOS

Se han calculado las curvas  $APU_t$  – Caudal (figura 6) para los cuatro estadios de la trucha. Estas relaciones permiten fijar el régimen de caudales ecológicos atendiendo a diferentes criterios tales como el caudal mínimo absoluto (aquél que genera una  $APU_t$  igual a 1 m ó al 10% de la anchura del cauce en estiaje) o el del caudal mínimo de estiaje (aquél que genera una  $APU_t$  equivalente al 30% de la anchura media del río en estiaje).



Aplicación de la metodología IFIM en el río Carrión (Palencia)

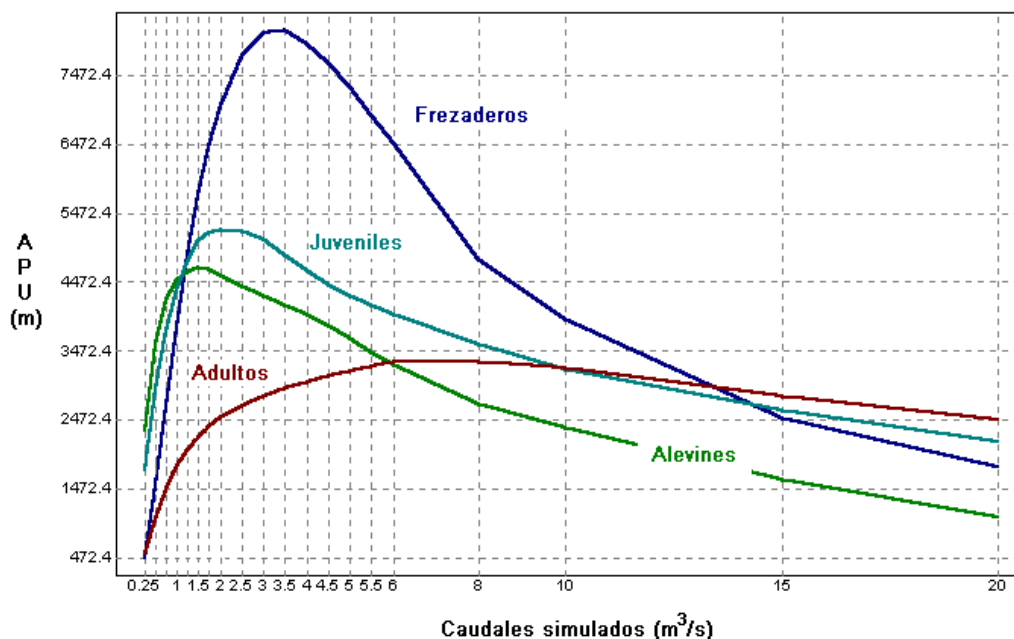


Figura 6 . Curvas APU – Caudal del río Carrión aguas abajo del embalse de Compuerto.

Ambos criterios no son los más convenientes en este río que tiene una elevada capacidad biogénica potencial y unos cotos de pesca de excelente calidad. Más acertado es el criterio del **caudal mínimo óptimo** (tabla 2) que es aquel a partir del cual la pendiente de la curva APU-Caudal disminuye sensiblemente y, por lo tanto, mayores caudales no incrementarían apreciablemente el hábitat útil (González del Tánago y García de Jalón, 1995).

Tabla 2 . Caudales mínimos óptimos para los cuatro estadios.

Estadio	Adulto	Juvenil	Alevín	Frezadero
Caudal (m³/s)	8,00	1,75	1,50	3,50

Finalmente, el régimen de caudales ecológicos debe contemplar unas crecidas extraordinarias artificiales necesarias desde el punto de vista geomorfológico, hidráulico y biológico.

#### 4.- DISCUSIÓN

La utilización de la metodología IFIM en el río Carrión es complicada ya que existen numerosos intereses en torno a la gestión del agua (riego, hidroelectricidad, abastecimiento, pesca, etc) que no siempre son compatibles. Es necesario realizar un buen análisis legal e institucional para conocer los intereses de todas las partes implicadas y sostener una negociación que encuentre una solución

técnica que respete todos esos objetivos. El régimen de caudales ecológicos propuesto (tabla 3) es de vital importancia en dicha negociación ya que define, con rigor, un nuevo régimen hidrológico que debe ser respetado para mantener la potencialidad del río (segunda prioridad definida en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Duero).

**Tabla 3 . Régimen de caudales ecológicos propuesto.**

<b>Periodo</b>	<b>Dic.- Mar.</b>	<b>Abr.- Jun.</b>	<b>Jul.- Sept.</b>	<b>Oct.- Nov.</b>
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	3,50	1,50 - 3,50	3,50 - 8,00	1,50 - 8,00

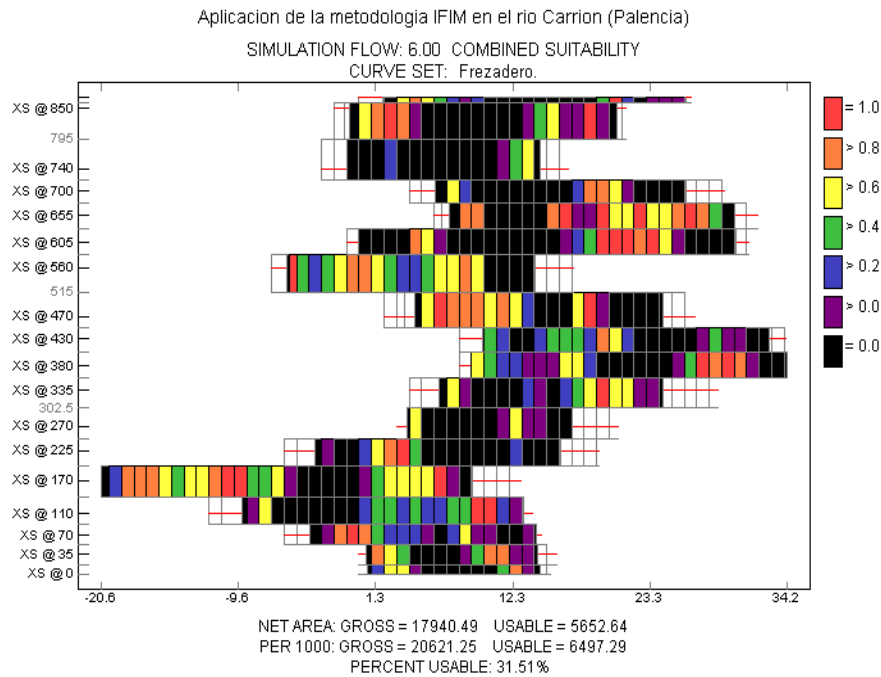
Durante el periodo de freza el caudal medio actual (6,11 m<sup>3</sup>/s) es superior al propuesto (3,50 m<sup>3</sup>/s), aunque no se detectan problemas graves en el tramo. Tan sólo en los años muy secos se presentan los efectos originados por los caudales reducidos.

En la etapa de alevinaje y juveniles el caudal actual (10,42 m<sup>3</sup>/s) es muy superior al máximo valor del intervalo propuesto (3,5 m<sup>3</sup>/s) debido al inicio de la campaña de riego, por lo que se detectan problemas originados por caudales elevados. El régimen de caudales ecológicos propuesto supone una reducción drástica de las aportaciones para riego. Esta época es la más conflictiva y la de mayor complejidad en la gestión del agua.

Durante el periodo de juveniles y adultos el caudal actual (9,51 m<sup>3</sup>/s) es ligeramente superior al máximo propuesto (8,00 m<sup>3</sup>/s) ya que coincide en plena campaña de riego. El régimen propuesto reduce la dotación de agua para riego, aunque no tan severamente como en el caso anterior.

En la etapa de adultos el caudal actual (5,05 m<sup>3</sup>/s) es menor que el óptimo propuesto (8,00 m<sup>3</sup>/s). A este problema se une la escasa disponibilidad de refugios.

Es necesaria la realización de proyectos de restauración de riberas y mejora del hábitat fluvial en el tramo. Aunque esto sería positivo para todos los estadios de la trucha, los frezaderos y adultos serían los más beneficiados. Aunque la época de freza no actúa como "cuello de botella", se recomienda la instalación de nuevos frezaderos artificiales y la limpieza de los existentes. Es en la época de adultos reside el "cuello de botella", por lo que se aconseja la creación de refugios. Para ubicar estas acciones en el cauce, es de gran ayuda la simulación hidrobiológica en planta (figura 7).



**Figura 7.** Simulación hidrobiológica del río en planta utilizando el programa informático RHABSIM 1.18 (Payne, 1996).

La aplicación del régimen de caudales ecológicos propuesto crea un serio conflicto de difícil solución. En un extremo se encuentran los regantes y "turbineros" interesados en mantener el "status quo" amparados en una deficiente legislación y remisos a aceptar cualquier modificación de caudales que afecte directamente sus intereses. Por otro lado están los partidarios de aprovechar el recurso hídrico de forma sostenible, empeñados en modificar ese "status quo" en defensa de las maltrechas comunidades acuáticas. La clave del éxito reside en una buena negociación que adopte una solución intermedia que respete los intereses de todos los grupos afectados. Este estudio es una contribución que mejorará la información técnica disponible en dicha negociación.

A priori, la reducción de caudal propuesta podría parecer descabellada. No obstante, si se asume que el problema del riego no es cuestión de oferta de agua sino de eficiencia en su uso, la propuesta no resulta tan irracional.

Quizás el régimen de caudales ecológicos propuesto no pueda aplicarse estrictamente debido a las decisiones adoptadas durante la negociación. En cualquier caso, la metodología IFIM es la más apropiada para estimar caudales ecológicos actualmente. Además, las curvas APU-Caudal que se

presentan son una herramienta básica en cualquier negociación sobre la gestión del agua, ya que permiten analizar los efectos de distintas alternativas sobre los ecosistemas acuáticos en el río Carrión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA – TERCEDOR, J. & SÁNCHEZ, A. 1987. *Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawel 1978*. *Limnética*, 4, pp. 51-56.

BOVEE, K. D. 1982. *A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. Instream Flow Information Paper 12. U.S. Fish and Wildlife Service FWS/OBS-82/26. USA. 248 pg.

CHURCH, M. 1992. *Channel Morphology and Typology*. En: *The Rivers Handbook*, Vol. I. Calow & Petts (eds.), pp. 126-143. John Wiley & Sons. Chichester. Reino Unido.

GARCÍA DE JALÓN, D. & MAYO, M. & HERVELLA, F. & BARCELÓ, E. & FERNÁNDEZ COUTO, T. 1993. *Principios y Técnicas de Gestión de la pesca en Aguas Continentales*, ed: Mundi Prensa. Madrid.

GARCÍA DE JALÓN, D. 1995. *Problemática general de ríos y riberas*. Curso sobre principios y técnicas para la restauración de ríos y riberas. CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), ed. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid. España.

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. & GARCÍA DE JALÓN, D. 1995. *Restauración de ríos y riberas*; ed: Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S.I.M. Madrid.

HUET, M. 1954. *Biologie, profils en long et en travers des eaux courantes*. *Bulletin Francaise de Pisciculture*, 175:41-53.

ILLIES, J. Y I. BOTOSANEANU. 1963. *Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique*. *Mitt. Int. Verein. theor. angew. Limnol.* 12.

MAYO RUSTARAZO, M. 1995. *Determinación del caudales ecológicos*. Curso sobre "Gestión de la pesca en aguas continentales". E.T.S.I.M. Madrid.

MILHOUS, R.T. 1982. *Effect of sediment transport and flow regulation on the ecology of gravel-bed rivers*, en HEY, R.D., BATHURST, J.C & THORNE, C.R. *Gravel-bed rivers*, ed: J. Wiley & Sons. Chichester. Reino Unido.

OTAOLA-URRUTXI, M & NAVARRO HEVIA, J. 1998. *Primeras experiencias en la restauración de la ribera del río Carrión a su paso por Pino del Río (Palencia) mediante técnicas de bioingeniería*, en Actas del II CONGRESO DE INGENIERÍA DEL PAISAJE. 1998, pp. 63-71. A Coruña.

PAYNE, T.R. & ASSOCIATES, 1996: *RHABSIM 1.17. Riverine Habitat Simulation Software*. Arcata. California. USA.

PETTS, G. E. 1984. *Impounded Rivers. Perspectives for Ecological Management*, ed: J. Wiley & Sons. Chichester. Reino Unido.

PLATTS, W.S., W.F.MEGAHAN & G.W. MINSHALL. 1983. *Methods for Evaluating Stream, Riparian and Biotic Conditions*, en GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. & GARCÍA DE JALÓN, D. 1995. *Restauración de ríos y riberas*; ed: Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S.I.M. Madrid.

WARD, J.V. 1984. *Ecological perspective in the management of aquatic insect habitat*, en RESH, V.H y ROSENBERG, V.R. *The ecology of aquatic insects*. Praeger Publishers. Nueva York. USA. 625 pg.