

Estaciones de aforo V-flat y peces migradores de la Península Ibérica: problemas y soluciones

FRANCISCO JAVIER SANZ RONDA (*), FRANCISCO JAVIER BRAVO CÓRDOBA (**)
y ANDRÉS MARTÍNEZ DE AZAGRA (*)

RESUMEN Las estaciones de aforo V-flat consisten en un pequeño azud (entre 0,5 y 1 m de altura), con cresta en forma de “V-tendida”. La principal ventaja frente a otros sistemas de aforo es la precisión que ofrecen para caudales bajos. Sin embargo, el rigor hidráulico contrasta con el impacto ambiental que provocan, pues resultan un obstáculo insalvable para la gran mayoría de las especies migradoras ibéricas. Ello es debido a la elevada velocidad de la corriente sobre el paramento de aguas abajo con caudales medios y altos (mayor de 3,7 m/s) y a la escasa profundidad (normalmente entre 0,05-0,25 m dependiendo del valor del caudal y la distancia desde la cresta) lo que anula la posibilidad de los peces de superar el aforador. En este artículo se pretende analizar la problemática y se proponen soluciones basadas en experiencias propias y ajenas.

FLAT-V GAUGING WEIRS AND IBERIAN MIGRATORY FISHES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

ABSTRACT *Flat-V gauging weirs are small structures (currently 0.5-1 m) which have a triangular longitudinal profile and a crest in the form of shallow “V”. The main advantage over other gauging systems is the accuracy offered to low flows. However, the hydraulic precision contrasts with the environmental impact they cause: the vast majority of the Iberian migratory fish species can't pass these obstacles. This is due to the high current velocity on the downstream face during high and medium flows (up to 3.7 m/s and over) and shallow depth (normally between 0.05-0.25 m depending on flow magnitude and distance from the crest) that limits the swimming ability of fishes. This article aims to analyse the problem and proposes solutions based on own experiences and literature reviews.*

Palabras clave: V-flat, Estaciones de aforo, Migración piscícola, Peces ibéricos.

Keywords: Flat-V, Gauging weirs, Fish migration, Iberian fishes.

1. INTRODUCCIÓN

Las estaciones de aforo V-flat consisten en un pequeño azud dentro del cauce del río, con cresta en forma de “V-tendida” (V-flat), que provoca un vertido crítico ($Fr=1$), sencillo de medir en cualquier situación (figura 1). La principal ventaja de esta estructura, frente a otros sistemas de medición continua de ríos, es que permite mediciones precisas también para caudales bajos, por lo que su empleo se ha ido generalizando y se ha convertido en uno de los sistemas de aforo más valorados por los expertos (White & Woods-Ballard, 2003).

Este sistema de aforos es empleado con frecuencia, en nuestro país, por las Demarcaciones Hidrográficas del Miño-

Limia, Cantábrico, Cuencas Internas del País Vasco, Duero y Tajo. De hecho, prácticamente todas las cuencas cuentan con alguna estación V-flat.

Sin embargo, estas estructuras pueden suponer un serio problema ambiental al impedir el tránsito de la fauna piscícola del río donde se instalan. Muchos de los peces ibéricos realizan migraciones reproductoras o de otra índole (búsqueda de alimento, de refugio, de territorios propios, etc.) a lo largo de los ríos. Cuando se encuentran un obstáculo en el cauce que no pueden superar, las poblaciones ven mermada su potencialidad biológica (al no poderse reproducir en las zonas adecuadas, al no existir intercambio genético, al no poder colonizar nuevos territorios,...).

La ictiodiversidad en la Península Ibérica no es muy abundante (71 especies autóctonas y 28 introducidas) si la comparamos con los países del centro y norte de Europa (Kottelat & Freyhof, 2007). Sin embargo, el número de géneros y especies endémicas es relativamente alto –40 especies– debido a las características hidrológicas de nuestros ríos (fluctuaciones estacionales de refugio) y al aislamiento geográfico que han supuesto los Pirineos (Doadrio, 1988; Elvira, 1990). El 65% de

(*) Profesores. Doctores Ingenieros de Montes. Dpto. Ingeniería Agrícola y Forestal, E.T.S.II.AA. de Palencia, Univ. de Valladolid. Avda. de Madrid, 44. 34004 Palencia.

(**) Becario. Ingeniero Forestal. Dpto. Ingeniería Agrícola y Forestal, E.T.S.II.AA. de Palencia, Univ. de Valladolid. Avda. de Madrid, 44. 34004 Palencia.

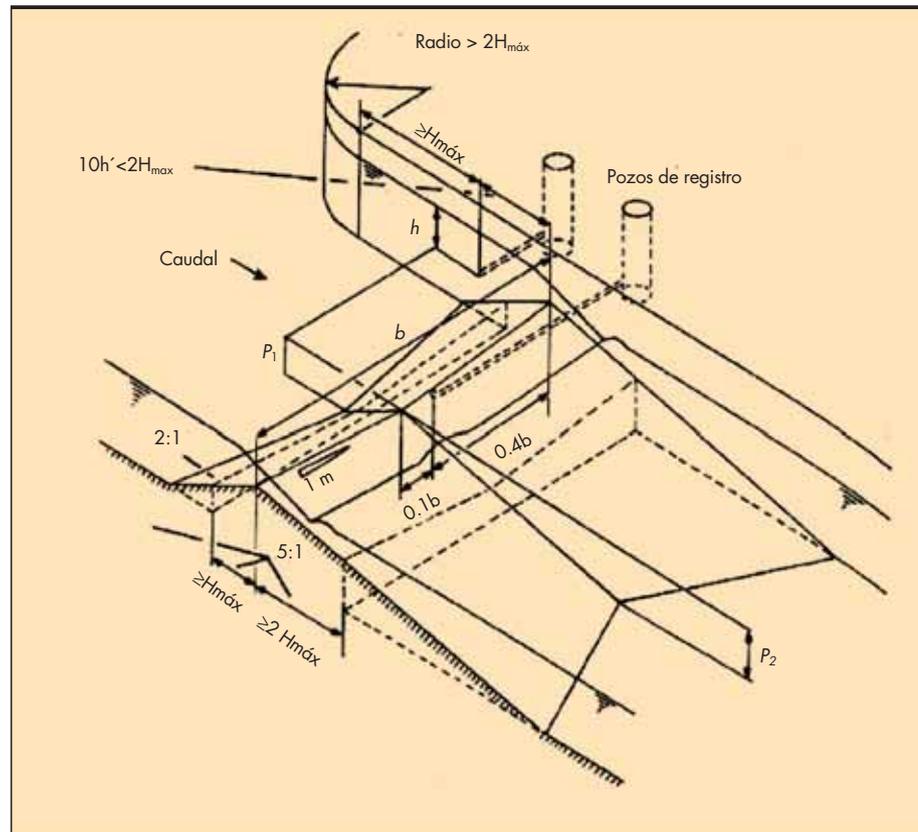


FIGURA 1. Estación de aforos de tipo V-flat.

las especies oriundas realizan movimientos migratorios de mayor (cientos de km: anguila, salmón, reo, esturión, sábalos, sabogas, lampreas ...) o menor entidad (pocos km: barbos, bogas, cachos, gobios, ...). Este porcentaje aumenta hasta un 80 % en el caso de los endemismos (Sanz Ronda *et al.*, 2007). Debido a las obras transversales en los ríos, las especies migratorias han disminuido su área de distribución (anguila *-Anguilla anguilla-*, sábalos *-Alosa alosa-*, saboga *-Alosa fallax-*), están amenazadas seriamente por los obstáculos (salmón *-Salmo salar-*) y otras ya se dan por desaparecidas (sollo o esturión *-Acipenser sturio-*, lamprea de río *-Lamprolaima fluviatilis-*) (Elvira *et al.*, 1998; Martínez de Azagra, 1999; Algarín, 2002).

Históricamente, las estaciones de aforo no han sido consideradas un obstáculo importante a la migración, pues sus primeras tipologías no alteraban el cauce y por tanto, no suponían impedimento alguno para los peces. Los primeros análisis, sobre el problema ambiental que ocasionaban este tipo de presas en la migración de los peces, se remontan a White & Hartley (1970) y Hartley (1974). Ha de transcurrir una década más para que las estaciones de aforo vuelvan a centrar el interés de los ictiólogos. Así, Beach (1984) recoge su importancia como obstáculo para el movimiento de los peces. Posteriormente, Lucas & Frear (1997) realizan el primer estudio poblacional de los efectos de las estaciones de aforo sobre la comunidad piscícola centrándose en ciprínidos. Walters (1996) desarrolla un sistema de paso a través de deflectores adosados en el paramento de aguas abajo *-Hurn baffles-* específico para estaciones V-flat, que funciona en el laboratorio pero que da problemas a escala real. Hoy en día, encontramos diferentes experiencias al respecto relativas todas ellas a autores británicos relacionados con la

Environment Agency: Lucas *et al.* (2000, 2005); Rhodes *et al.* (2001, 2004, 2006), etc.

Beach (1984), White & Woods-Ballard (2003) y Sanz Ronda *et al.*, (2008) enumeran las causas más frecuentes de la problemática suscitada (véase la figura 2), que podemos resumirlas en:

- Velocidades excesivas en el paramento de aguas abajo (3,5–4 m/s) que sólo superan los ejemplares más atléticos de contadas especies de peces.
- Profundidades escasas para la natación con caudales medios y bajos (< 0,1 m).
- Desnivel elevado entre la cota del agua arriba y abajo del aforador (> 0,5 m), lo que imposibilita el salto y aumenta la distancia a recorrer por el paramento.
- Descalce de la estructura aguas abajo, provocado por la erosión del flujo acelerado sobre el cauce (común en pendientes > 1%).
- Escasa profundidad en la losa de aguas abajo (y velocidades fuertes), que dificultan la aproximación al obstáculo –cuando hay descalce–.
- Existencia de fuertes torbellinos a ambos lados del resalto hidráulico formado en la base (cuando la losa no está anegada) o de la inmersión del chorro del agua, es decir: del cachón (si lo está), que provocan turbulencias excesivas y desorientan al pez.

Nuestro trabajo analiza las limitaciones de los peces ibéricos a la migración por este tipo de estaciones de aforo y propone una serie de recomendaciones constructivas de sencilla aplicación para que sean consideradas en el diseño de estas estructuras.



FIGURA 2. Ejemplo de estación de aforos de tipo V-flat donde son patentes muchos de los problemas descritos en el texto (río Carrión en Triollo, Palencia).



FIGURA 3. Medición de la velocidad en una estación de aforos de tipo V-flat con molinete hidráulico.

2. METODOLOGÍA

Para conocer la problemática de este tipo de estación sobre los peces ibéricos nos hemos basado en la aplicación de un modelo biocinético sencillo, para lo cual necesitamos conocer el funcionamiento hidrodinámico de las V-flat y las capacidades natatorias de los peces.

El estudio hidráulico se ha realizado en diferentes estaciones de aforo de la provincia de Palencia (C-1: río Cardaño en Cardaño de Abajo; C-4: río Carrión en Triollo; C-6 río Carrión en Palencia y P-1: río Pisuerga en San Salvador de Cantamuda). Para ello hemos medido in situ las características del flujo (caudal, velocidad, profundidad) sobre el paramento de aguas abajo (figura 3). Los valores más representativos se muestran a continuación (figura 4).

Por otro lado, en el análisis de la velocidad de nado de los peces se han utilizado las curvas genéricas de Beach (1984), basadas en los estudios de Wardle (1975, 1980) y Zhou (1982). También se han examinado otros trabajos que se centran en especies concretas (Clough *et al.*, 2004, Tudorache *et al.*, 2008) o en grupos de especies (Katopodis, 1992). En general, la información para los migradores más conocidos (salmón, trucha, alosas, anguila) ha sido sencilla de conseguir. Sin embargo, existe un vacío bibliográfico sobre las aptitudes natatorias de las especies de peces endémicas de la Península Ibérica, básicamente barbos, bogas y cachos (*Luciobarbus*, *Barbus*, *Parachondrostoma*, *Pseudochondrostoma*, *Squalius*, etc.).

Una vez conocida la velocidad de la corriente sobre la V-flat y las capacidades natatorias de los peces, es posible determinar de manera aproximada la distancia que puede recorrer un pez nadando sobre el paramento de la estación. Dicha distancia viene dada por la siguiente expresión biocinética (Katopodis *et al.*, 1978):

$$D_{pez} = (v_{pez} - u_{agua}) \cdot t$$

Donde v_{pez} y t se corresponden con la velocidad máxima del pez y el tiempo de resistencia a dicha velocidad, respectivamente y u_{agua} con la velocidad de la corriente (véase la figura 5). Hay que considerar que la velocidad del pez disminuye un 30-50% cuando la profundidad del agua es menor que la anchura del cuerpo (Webb *et al.*, 1991). Si D_{pez} es superior a la longitud del paramento (D), el obstáculo es superado. Si D_{pez} es inferior a la longitud del paramento (D), el obstáculo es infranqueable.

Como la simulación anterior sólo puede hacerse en individuos con aptitudes de nado conocidas, se ha completado el trabajo con observaciones directas en diferentes estaciones de aforo y con encuestas a pescadores y vigilantes de pesca. De esta manera, conocemos directamente si los peces consiguen ascender y las especies y tamaños relativos que lo intentan. También efectuamos una pesca eléctrica en el río Cardaño, que desagua en el embalse de Camporredondo (Palencia), para muestrear clases de edad aguas arriba y aguas abajo del obstáculo, situado a escasos metros de la desembocadura. Así, se puede estudiar si los reproductores que habitan el embalse remontan el curso del río y logran frezar encima de la estación de aforos. Por último, se ha realizado una búsqueda bibliográfica donde se documenten experiencias similares sobre la migración en las V-flat.

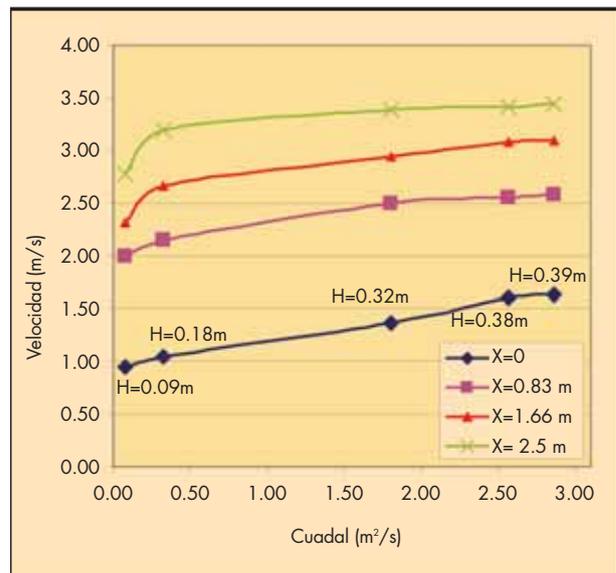


FIGURA 4. Velocidad del flujo en la zona central del paramento de aguas abajo para distintos caudales (0,08 / 0,32 / 1,80 / 2,57 y 2,86 m³/s) a diferentes distancias horizontales desde la cresta (X). H se corresponde con la cota de lámina de agua respecto de la cresta. Estos valores han sido medidos en una estación de 12 m de anchura y 0,5 m de altura de cresta.

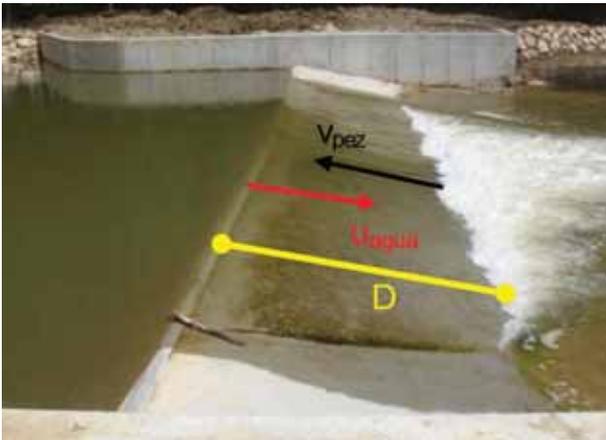


FIGURA 5. Modelo biocinético en una estación de aforos V-flat. La distancia que recorre el pez $-D_{pez}-$ es una función de la velocidad punta del pez $-v_{pez}-$, del tiempo que es capaz de mantenerla $-t-$ y de la velocidad de la corriente $-u_{agua}-$: $D_{pez}=(v_{pez}-u_{agua})\cdot t$ y ha de ser mayor que D para superar el obstáculo.

3. RESULTADOS Y SOLUCIONES

La aplicación del modelo biocinético, en condiciones de caudal y temperatura de la época migratoria, muestra que si no existe un estanque de descanso ningún pez es capaz de superar un obstáculo V-flat de 0,5 m de altura, puesto que las velocidades en el paramento (2,5- 3 m/s de velocidad media " u_{agua} " y 2,5-3,5 m de longitud " D ") y en la losa (2,5 m/s de velocidad media y 5 m de longitud) son muy elevadas. Por lo tanto, cualquier solución pasa por crear un estanque de descanso aguas abajo (figura 6), que:

- Elimine el efecto agotador de las velocidades en la losa.
- Reduzca la distancia de paramento a recorrer por los peces.
- Disminuya la velocidad media del agua en el paramento, al estar anegadas las zonas de menor cota donde se producen velocidades máximas.
- Rebaje el desnivel entre la cota del agua arriba y abajo del aforador.
- Ahogue el resalto hidráulico, formando un remolino vertical que favorezca la impulsión de los peces y su salto, llegado el caso (esto se mejora mucho con el truncado del paramento, contemplado en la norma ISO 4377:2002, relativa a la medición de caudales en estaciones de aforo tipo V-flat).

Por ejemplo, creando una estructura aguas abajo que alcance un nivel equivalente a la mitad de la altura de la cresta, la distancia a recorrer sobre el paramento se reduce un 50% y la velocidad media disminuye un 25% (Sanz Ronda, et al., 2008). En estas circunstancias es posible la ascensión

de la gran mayoría de los individuos reproductores de trucha ($l > 0,2$ m), de alosas y de todos los salmones. Para ello, la profundidad del agua en la cresta ha de ser superior a 0,15 m y sobre el paramento mayor de 0,1 m, evitando que los peces den coletazos en el aire. En el caso de anguilas y lampreas, peores nadadoras que las especies anteriores, la ascensión no se consigue luchando contra la corriente, sino que escalan o reptan por los bordes del agua (frontera entre el agua y el hormigón) cuando los caudales son bajos (la lámina de agua no inunda la totalidad de la sección transversal del azud).

Para la mayoría de especies migradoras ibéricas no existe información que permita aplicar el modelo biocinético, por lo que hemos realizado observaciones directas y encuestas a pescadores y vigilantes de pesca. De ellas se desprende que algunos individuos de talla superior a 0,4 m del género *Luciobarbus* (barbos) son capaces de superar estas estructuras nadando contra la corriente, en estaciones donde la losa de aguas abajo estaba inundada. Al contrario ocurre con individuos más pequeños y con el género *Pseudochondrostoma* (bogas).

En las encuestas realizadas en coordinación con el Servicio de Pesca de León durante 2008, observamos que de las seis estaciones V-flat analizadas, cinco han impedido el remonte de la trucha autóctona. Cuando esto sucede, los peces adultos se ven obligados a frezar en lugares poco adecuados y el éxito reproductor se ve mermado o anulado.

También se ha constatado que los ejemplares hembra de trucha, justo antes de la freza, están más limitados en su ascensión por la profundidad del agua en el paramento, existiendo una selección en función de las condiciones hidrológicas del año. Este hecho también ha sido comentado por Lucas & Frear (1997) en *Barbus barbus*. En algunas ocasiones, hemos observado a pequeños ejemplares de peces, únicamente gobios (*Gobio lozanoi*), ascender por el obstáculo nadando cerca de la orilla existente entre el agua y el paramento, haciendo pequeños descansos apoyándose con las aletas pectorales y retomando su nado (figura 7). Sólo unos pocos lo consiguen de los muchos que lo intentan en su afán reproductor.

En la misma línea, a partir de un muestreo de pesca eléctrica que realizamos en mayo de 2008 aguas arriba y abajo de una estación de aforos V-flat en el río Cardaño (montaña palentina, próxima al embalse de Camporredondo), hemos podido concluir que desde la ejecución de la obra no han acontecido frezas importantes de trucha aguas arriba. Además, la productividad piscícola global se ha visto muy afectada, pues las truchas remontan el río desde el embalse para reproducirse y esta migración queda impedida por el aforador.

Analizando trabajos de temática similar, encontramos un estudio interesante de Lucas & Frear (1997) donde se indica que el 40% de un grupo de ejemplares de *Barbus barbus* entre 1,16 y 3,21 kg de peso eran capaces de superar una V-flat de 0,4 m de altura de cresta. En un trabajo posterior, Lucas & Bubb (2005) indican que el 84% de un grupo de truchas de tamaño comprendido entre 0,18 y 0,28 m remontaban una V-flat de 0,5 m de altura.

FIGURA 6. Esquema de paramento truncado y estanque de descanso, señalando el remolino favorable para el ascenso de los peces.

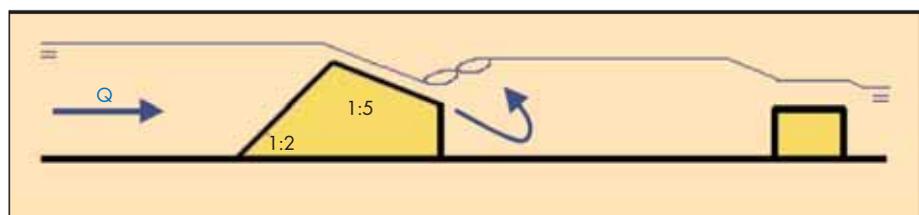




FIGURA 7. Gobio (*Gobio lozano*) intentando ascender por una V-flat en la frontera del agua con el hormigón, descansando sobre sus aletas pectorales.

En vista de los datos y experiencias anteriores, podemos indicar una serie de criterios de diseño imprescindibles (los cinco primeros) y muy aconsejables (los cinco restantes) para compaginar las estaciones de aforo V-flat con la migración de la ictiofauna. Todos los valores están referidos a condiciones de caudal durante la época de migración de las especies de peces existentes en el río (pues el diseño y dimensionado de una estación de aforos debe contemplar esta importante situación de referencia):

1. El desnivel máximo entre la cresta de la V-flat y la cota de lámina de agua a pie de obra no debe superar los 0,30 m (JNHFGP, 2001).
2. La profundidad en el estanque de aguas abajo (o sobre la losa, en caso de no existir éste) ha de ser mayor a 0,30 m (JNHFGP, 2001) o a 1,25 veces el desnivel máximo (Gallagher, 1999).
3. El calado en el paramento de aguas abajo de la V-flat ha de ser superior a 0,10 m y ha de superar los 0,15 m sobre la cresta (Sanz Ronda *et al.*, 2008).
4. La velocidad máxima en el paramento de aguas abajo debe ser inferior a 3-3,5 m/s (Beach, 1984).
5. La potencia por unidad de volumen que ha de disiparse aguas abajo de la estación de aforo Vflat conviene que sea inferior a 200 W/m³ para los salmónidos y de 150 W/m³ para el resto de peces (Larinier *et al.*, 2002), dato que sirve para dimensionar el estanque al

pie del aforador. Cuando no fuera posible, habrá de reducirse al máximo su valor.

6. La velocidad media en el estanque de aguas abajo (o sobre la losa, en caso de no existir éste) no ha de superar los 0,7 m/s para salmónidos y los 0,3 m/s para ciprínidos (JNHFGP, 2001).
7. La sección de control hidráulico del estanque de aguas abajo –natural o artificial– ha de situarse a más de 3 m desde la base de la estación de aforo (JNHFGP, 2001).
8. El cachón (ondas producidas por la inmersión del chorro en el estanque) debe formarse sobre el paramento de aguas abajo, no sobre la losa o el estanque (Beach, 1984).
9. La zona de aguas turbulentas que forma el cachón ha de ser menor a 1/3 de la altura total del obstáculo (Gallagher, 1999).
10. Resulta preferible truncar el paramento de aguas abajo para que el remolino del chorro favorezca la ascensión de los peces (Beach, 1984) y para que la potencia hidráulica disipada por unidad de volumen sea menor (Sanz Ronda *et al.*, 2008). En cualquier caso, el truncado siempre ha de quedar bajo el nivel de agua (figura 8).

En cualquier caso, el pez debe ser capaz de nadar frente a la corriente del paramento de aguas abajo la distancia que lo separa desde el cachón hasta la cresta de la V-flat (modelo biocinético comentado con antelación).

Todos estos criterios son sencillos de respetar, incluso una vez ejecutada la estación de aforos. Si la estructura ya ha sufrido un descalce (figura 2), junto con los criterios anteriores, hay que conseguir que los peces alcancen la losa y el estanque de descanso. Para ello, las alternativas pasan por la construcción de una “rampa de piedras” para desniveles pequeños (0,5 m) o de “prepresas” para alturas mayores. La figura 8 describe una solución propuesta en una estación de aforos de 12 m de anchura, 0,5 m de altura de cresta y 1 m de descalce entre la lámina de agua de la losa y del río. Consiste en la construcción de 3 “prepresas” de escollera con hormigón, la fijación de bloques de piedra embebidos en hormigón en la losa (para favorecer el descanso de los peces) y en el truncado del paramento de aguas abajo de la estación de aforos, según la norma ISO. El presupuesto de ejecución material de todo ello ronda los 21.000 €.

A la hora de seleccionar el tipo de vertedero de las prepresas hay que considerar los siguientes objetivos:

- Que no inunde la cresta de la V-flat para flujos ordinarios.
- Que concentre el agua en caudales bajos.



FIGURA 8. Izquierda: modelo reducido en el que se observa un salto en el truncado y el resalto tras el paramento de aguas abajo. Derecha: paramento con el truncado anegado y el cachón formado sobre éste (situación preferible para los peces).

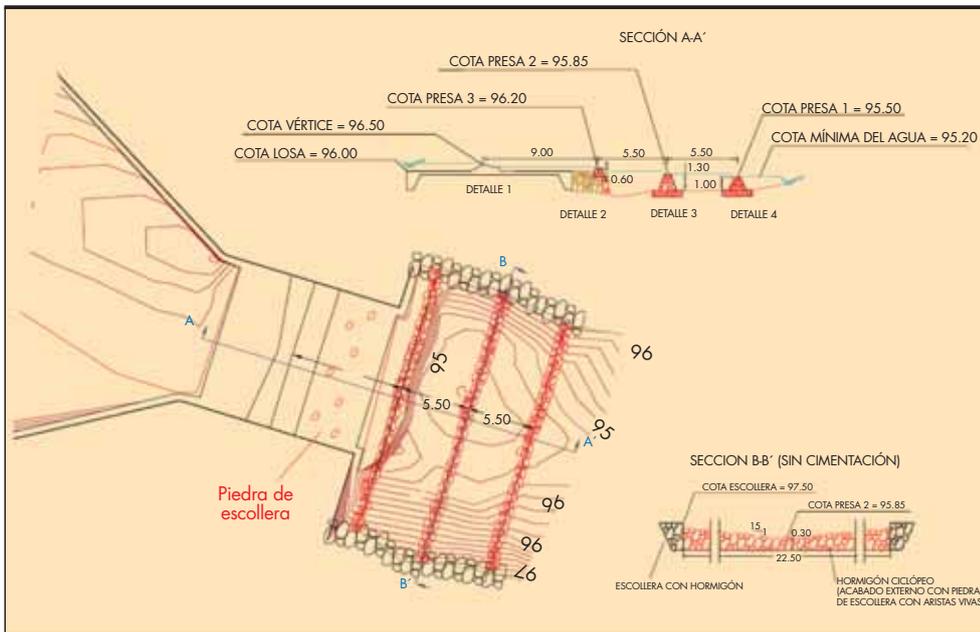


FIGURA 9. Solución propuesta para la estación de aforos de Cardaño de Abajo (río Cardaño, Palencia).

- Que en la curva de gasto, el cociente entre el caudal $-Q-$ y la carga de vertido $-H-$ (figura 10) sea ligeramente superior al existente en la V-flat. De esta manera, el desnivel entre la lámina de agua arriba y abajo de la estación no aumenta con el caudal y así no se incrementa la energía disipada en las presas.
- Que la carga de vertido para los caudales de los meses de migración sea superior a 0,15 m.

Del análisis de diferentes morfologías de vertedero (figura 10), se ha concluido que el que mejor responde a los objetivos fijados es un vertedero triangular de pendiente 15H:1V.

Si la estación de aforos no cuenta con un limnógrafo aguas abajo, la medición del caudal se ve alterada por las presas para caudales altos (vertido anegado), una vez cada 10-20 años, según los casos (régimen hídrico, estructura del estanque de descanso). De todos modos, resulta sencillo calibrar una nueva curva, con lo que puede disminuirse ese pequeño desajuste fácilmente (figura 11).

La solución de las presas resulta eficaz para la migración de los peces, a la vez que no merma ni la precisión ni el rango de caudales que pueden medirse en el aforador. Pero para ello, estas estructuras han de estar a distancias adecuadas -en función de la potencia disipada por unidad de volu-

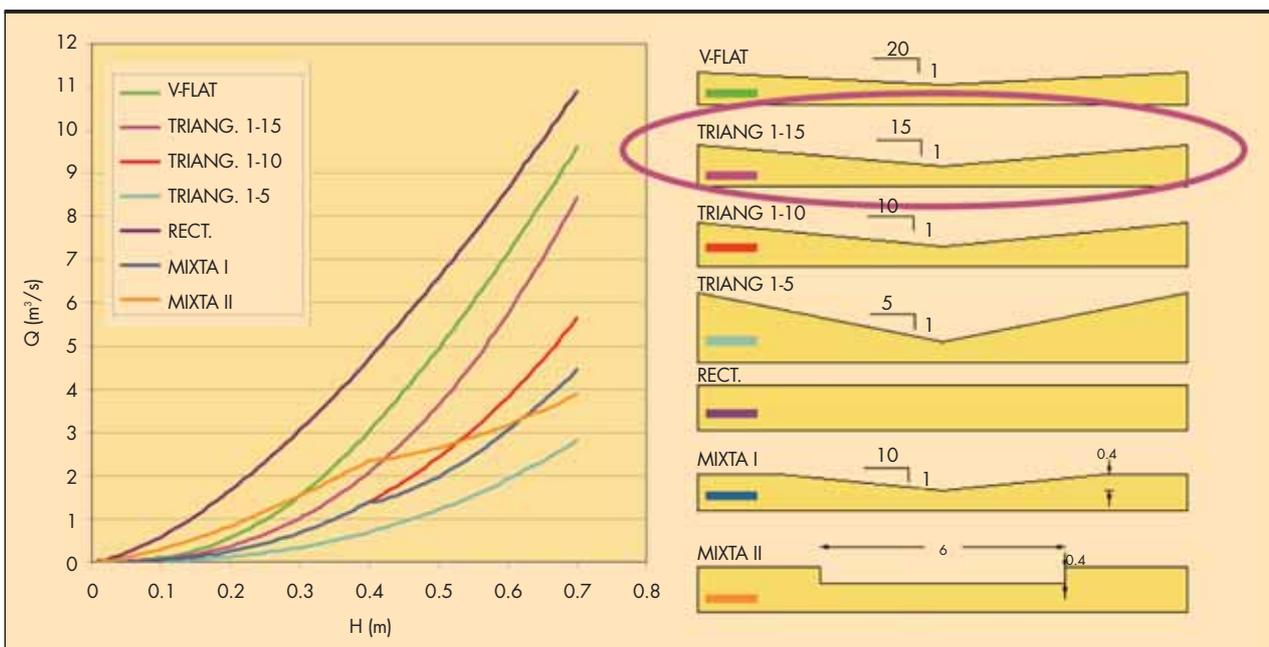


FIGURA 10. Curvas de gasto de los diferentes vertederos barajados para las presas, en la estación de aforos de Cardaño de Abajo (río Cardaño, Palencia).

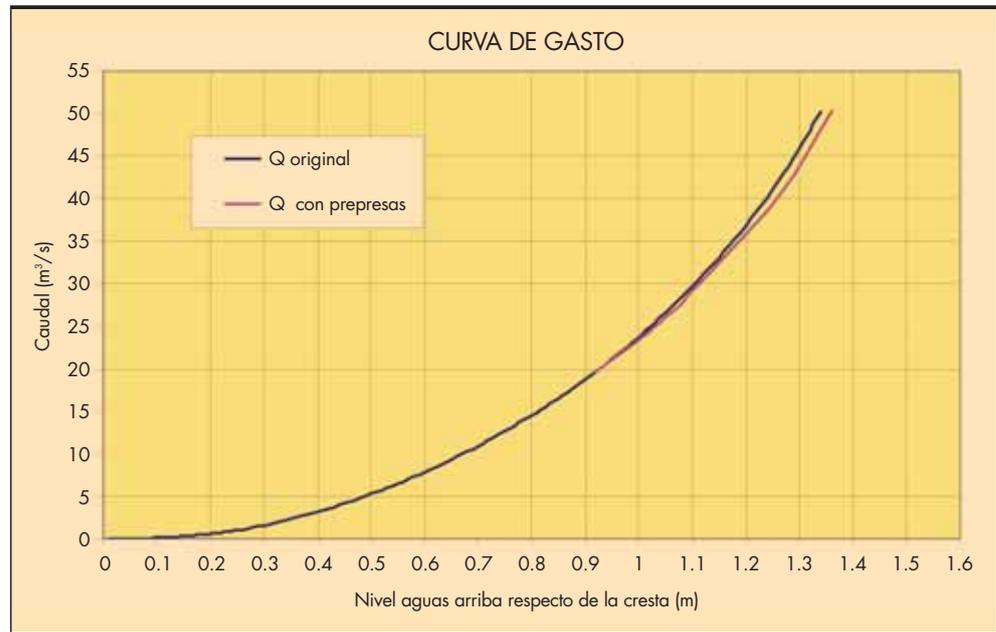


FIGURA 11. Curvas de gasto de la estación de aforos de Cardaño de Abajo (río Cardaño, Palencia) actualmente –azul– y con la modificación propuesta –rosa–.

men acorde a las especies migradoras– y deben poseer un vertedero bien proyectado, ejecutado y calado al centímetro.

Las Demarcaciones Hidrográficas han optado por soluciones diferentes (figura 12) cuando se han presentado problemas serios de dificultad en el remonte: cambio del modelo de estación de aforo (Duero, Cantábrico), instalación de deflecto-

res (Tajo, Duero), creación de estanques de descanso de diversa índole (País Vasco, Miño-Limia). En cualquier caso, la viabilidad de estas soluciones en cuanto a la migración de peces está todavía por evaluar y en algunos casos, como con los deflectores, se altera la curva de gasto de la norma ISO (Walters, 1996; Rhodes & Servais, 2004).

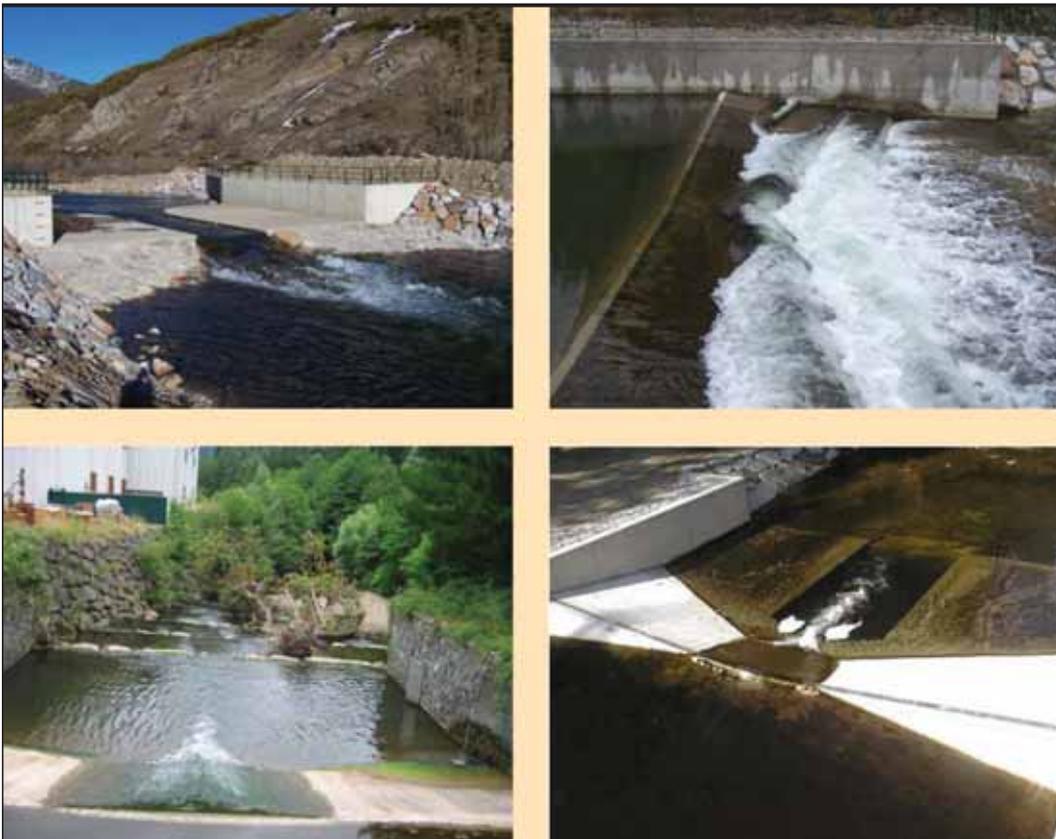


FIGURA 12. Arriba, izquierda: cambio de modelo de estación en el río Carrión, en Triollo (Palencia). Arriba, derecha: deflectores en el paramento de aguas abajo, en el río Carrión en Guardo (Palencia). Abajo, izquierda: conjunto de presapas en la zona de aguas abajo en el río Oñati (Guipúzcoa). Abajo, derecha: estanque excavado en la losa de aguas abajo, en el río Azumara en Beguntillo (Lugo).



FIGURA 13. Modelo reducido de estación de aforos construido para evaluar la capacidad natatoria de los peces ibéricos.

Actualmente, nuestro grupo de trabajo, se centra en investigar las aptitudes natatorias de peces ibéricos sobre un modelo reducido de estación de aforos (figura 13). Con todas las experiencias acumuladas, esperamos que en breve los resultados obtenidos permitan el desarrollo de estaciones de aforo plenamente compatibles con la migración de toda nuestra sufrida ictiofauna.

4. CONCLUSIONES

Las estaciones de aforo V-flat suponen un importante problema para la mayoría de los peces ibéricos, pues éstos necesitan realizar migraciones a lo largo de su vida. Para las especies que realizan movimientos migratorios de gran envergadura y que son buenos nadadores (salmón, trucha, alosas), asegurando un estanque de permanencia aguas abajo y un calado mínimo, se consigue el remonte de casi todos los individuos. En el caso de los ciprínidos de mayor tamaño (barbos: *Luciobarbus*, *Barbus*), algunos de los ejemplares de gran talla consiguen el remonte en las mismas condiciones que las especies anteriores. Es de suponer que los barbos más pequeños y otros géneros de menor tamaño (bogas, loinas y cachos: *Parachondrostoma*, *Iberochondrostoma*, *Pseudochondrostoma*, *Squalius*, etc.) tengan más problemas para sortear el obstáculo, aunque hacen falta estudios concretos para conocer la situación real. En general, los ciprínidos se ven muy afectados con las aguas turbulentas, desorientándose al acometer el obstáculo, circunstancia que no afecta a los salmónidos (Larrier *et al.*, 2002).

En el caso de anguilas y lampreas, el ascenso lo consiguen cuando el vertido sobre la estación no abarca la "V" en su totalidad, reptando y escalando por el borde del agua. Lo mismo puede ocurrir con especies de pequeño tamaño como el gobio.

En definitiva, hoy en día es posible mitigar en gran medida los efectos perjudiciales de las estaciones de aforo V-flat siguiendo las recomendaciones indicadas en párrafos precedentes, aunque todavía se hacen necesarios estudios concretos más precisos para muchas de nuestras valiosas especies de peces, pues sus aptitudes natatorias se desconocen.

5. AGRADECIMIENTOS

A Greg Armstrong de la Agencia Medioambiental británica, que orientó a los autores en la realización de este trabajo. A Pedro Matía, José Manuel Lorente -CHD-, Jesús Larrea

-UTE Cuenca Duero- y *Qualitas Instruments*, que han apoyado este proyecto. Al Servicio de Pesca de León y todos los pescadores y vigilantes de pesca que colaboraron con nosotros. A todos ellos, va nuestro más sincero agradecimiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Algarín, S. 2002. *La historia última de los esturiones del Guadalquivir*. Azotea, 13-14: 19-88.
- Beach, M. H. 1984. *Fish pass design criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers*. MAFF Fisheries Technical Report, 78.
- Clough, S.C., Lee-Elliott, I.E., Turnpenny, A.W.H., Holden, S.D.J. & Hinks, C. 2004. *Swimming speeds in fish: phase 2*. Environment Agency, Technical Report: W2-049/TR1.
- Doadrio, I. 1988. *Delimitation of areas in the Iberian Peninsula on the basis of freshwater fishes*. Bonner Zoologische Beiträge 39: 113-128.
- Elvira, B. 1990. *Iberian endemic freshwater fishes and their conservation status in Spain*. Journal of Fish Biology, 37 (A): 231-232.
- Elvira, B., Nicola, G.G. & Almodovar, A. 1998. *Sistemas de paso para peces en presas*. Ed. CEDEX. Madrid. 113 pp.
- Gallagher, A. S. 1999. *Barriers*. In Bain, M. B. and N. J. Stevenson, eds. *Aquatic habitat assessment: Common methods*, 135-147. American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Hartley. 1974. *Electronic methods (Automatic counters)*. Symposium on Methodology for the Survey, Monitoring and Appraisal of Fishery Resources in Lakes and Large Rivers. Aviemore Scotland, 2-4 May 1974. EIFAC Technical Paper No. 23.
- JNHFP. 2001. *Joint National Hydrometry and Fish Pass Group. Guidance on the design and construction of Crump and Flat-V gauging weirs in relation to fish passage*. Environment Agency Memo.
- Katopodis, C., Robinson, P.R. & Sutherland, B.G. 1978. *A study of model and prototype culvert baffling for fish passage*. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 828: v + 78 p.
- Katopodis, C. 1992. *Introduction to fishway design*. Freshwater Institute, Dept. of Fisheries and Oceans, Winnipeg, Canadá.
- Kottelat, M. & Freyhof, J. 2007. *Handbook of European freshwater fishes*. Ed. Kottelat. Suiza. 646 pp.
- Larrier, M., Travade, F., & Porcher, J. 2002. *Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels*. In Bunch F. & Fournier M.S., editors, *Fishways: biological basis, design criteria and monitoring*, volume Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, No 364 supplement: 54-82.
- Lucas, M.C. & Frear, P.A. 1997. *Effects of a flow-gauging weir on the migratory behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid*. Journal of Fish Biology, 50: 382-396.
- Lucas, M.C. & Baras, E. 2000. *Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment*. Fish and Fisheries, 1: 283-316.
- Lucas, M.C. & Bubb, D.H. 2005. *Seasonal movements and habitat use of grayling in the UK*. Environment agency, Science Report : SC030210/SR.
- Martínez de Azagra, A. 1999. *Diseño de escalas para peces*. Universidad de Valladolid. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia.
- Rhodes, D. 2001. *Low cost modifications to the Crump weir in order to facilitate fish passage*. Case for Support to EPSRC.

Rhodes, D. & Servais, S. 2004. *Hydrometric effect of fish pass modifications to the Crump weir*. In García J.L. & Martínez P.V., editors, Fifth International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats : Analysis and Restoration, II : 969-972, Madrid.

Rhodes, D. & Servais, S. 2006. *Guidelines: Low cost modifications to the Crump weir to improve fish passage*. Technical Report, Draft Document to be presented to the Environment Agency.

Sanz Ronda, F. J.; Navarro, J.; Saiz Rojo, A. & Martínez de Azagra, A. 2007. *Soluciones al problema de la migración de los peces*. Infonáyade, 65: 16-19.

Sanz Ronda, F.J., Bravo Córdoba, F.J., Martínez de Azagra, A., Navarro Hevia, J. & Saiz Rojo, A. 2008. *Estudio para la adaptación a la migración de la ictiofauna de las estaciones de aforo V-Flat: Fase I*. Informe técnico. Universidad de Valladolid. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia.

Tudorache C., Viaene P., Blusa R, Vereeck H. & De Boeck, G. 2008. *A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species*. Ecology of freshwater Fish, 17: 284-291.

Walters, G. 1996. *Hydraulic model tests on the proposed fish pass structure for Hurn Gauging Weir, Dorset*. Technical report, Exeter Enterprises, Exeter.

Wardle C. S. 1975. *Limit of fish swimming speed*. Nature, 255: 725-727.

Wardle, C. S. 1980. *Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes*. Environmental Physiology of Fishes. NATO Advanced Study Institute Series (A),35: 519-531.

Webb, P.W., D. Sims & W.W. Schultz. 1991. *The effects of an air/water surface on the faststart performance of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*. Journal Experimental Biology, 155 : 219-226.

White, W. & Hartley, W. 1970. *Experiments to compare the passage of fish over two triangular profile flat-vee weirs*. Environment Agency, technical Report INT 67.

White, W.R. & Woods-Ballard, B.A. 2003. *The investigation and specification of flow measurement structure design features that aid the migration of fish without significantly compromising flow measurement accuracy, with the potential to influence the production of suitable British Standards*. Environment Agency, Technical Report: W6-084/TR1.

Zhou, Y. 1982. *The swimming behaviour of fish in towed gears: a re-examination of the principles*. Scottish Fisheries Working Paper, Department of Agriculture and Fisheries, Scotland.



- Electrificación
- Subestaciones
- Iluminación
- Ventilación
- Control
- Comunicaciones
- Mantenimiento

**Cobra en el Metro de Madrid,
una historia de éxito
compartida**



Creemos junto a nuestros Clientes

C/ Cardenal Marcelo Spínola, 10
28016- Madrid
central@grupocobra.com