

Metodología “AEPS” aplicada a la evaluación de escalas para peces en la cuenca hidrográfica del río Duero

Methodology “AEPS” applied for the assessment of fishways in the Duero river basin

Valbuena-Castro, J.^{1*}; Sanz-Ronda, F.J.¹; García-Vega, A.¹; Fuentes-Pérez, J.F.¹; Bravo-Córdoba, F.J.¹; Ruiz-Legazpi, J.¹; Navas-Pariente, A.¹; Martínez de Azagra Paredes, A.¹

¹*U.D. de Hidráulica e Hidrología. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. Madrid, 44; 34004 Palencia*

Autor para correspondencia: jvalbuena@forest.uva.es

Resumen

La construcción de obras transversales en los cursos de agua causa, entre otros aspectos, un gran impacto en la continuidad longitudinal de los ecosistemas fluviales. Para paliarlo y permitir el libre desplazamiento de la fauna (especialmente peces) es frecuente la construcción de pasos piscícolas. Sin embargo, a pesar de haberse construido en gran número durante las últimas décadas, son pocos los casos en los que se ha evaluado su funcionalidad. Así, la Confederación Hidrográfica del Duero, el Grupo de Ecohidráulica Aplicada (GEA) de la Universidad de Valladolid e Itagra.ct han desarrollado una nueva metodología de evaluación del funcionamiento de pasos para peces de estanques sucesivos (Metodología AEPS) que ha sido aplicada en más de 50 de estas estructuras. La metodología analiza la idoneidad de los pasos piscícolas para una serie de especies objetivo atendiendo a múltiples parámetros de diseño y factores eco-hidráulicos, pudiendo ser utilizada con pequeños ajustes en diversas áreas y para diferentes especies. Por otro lado, su aplicación ha permitido conocer la situación actual de los pasos para peces en la cuenca del río Duero, identificar sus problemas y cómo solucionarlos.

Palabras clave: pasos piscícolas, artesas, estanques sucesivos, ecohidráulica, continuidad longitudinal fluvial, restauración fluvial.

Abstract

Cross-sectional barriers in rivers cause, among others, an impact on the longitudinal connectivity of river ecosystems. It is frequent to build fish passes to palliate this impact and to enable free movements of the fauna (especially fish). However, even though they have been massively built during the last decades, their functionality has been scarcely assessed. Duero River Authority (Confederación Hidrográfica del Duero), Ecohydraulic Applied Group (GEA) of the University of Valladolid and Itagra.ct have developed a new assessment methodology of the functionality of stepped fish passes (Methodology AEPS). This methodology has been tested in 50 of these structures. It analyzes the suitability of the fish passes for target species attending to design parameters and eco-hydraulic aspects. It can be used in different areas and for different species with minor modifications. Its implementation has allowed to know the current situation of the fish passes in the Duero River basin, identifying their problems and how to solve them.

Keywords: fish passes, stepped, pool, ecohydraulic, river longitudinal connectivity, river restoration.

1. Introducción

A lo largo de la historia el ser humano ha construido multitud de obstáculos en los cursos de agua de todo el planeta (Nilsson *et al.*, 2005). Entre esos obstáculos, son muy frecuentes las presas y azudes que provocan la discontinuidad longitudinal de los ríos. Dicha discontinuidad dificulta o impide que las poblaciones piscícolas desarrollen los desplazamientos que necesitan en sus ciclos biológicos, causando la disminución y desaparición de la ictiofauna (Porcher & Travade, 2002).

Frente a éste y otros problemas a los que se enfrentan los ecosistemas acuáticos, la Comisión Europea implantó la llamada Directiva Marco del Agua (2000/60/CE) que, entre otros aspectos, obliga a los Estados miembros de la Unión Europea a recuperar la continuidad longitudinal de los cursos de agua (CE, 2000). Para ello, existen diversas alternativas, pero la más frecuente de ellas es la construcción de pasos para peces. Entre los diferentes tipos de pasos para peces, los más comunes son las escalas de estanques sucesivos que consisten en una sucesión escalonada de estanques conectados entre sí por hendiduras, vertederos, orificios, etc. A través de esas conexiones, los peces nadan o saltan desde un estanque hacia el inmediatamente superior hasta llegar a la parte más alta de la escala.

La construcción de un paso para peces no asegura que la fauna piscícola pueda utilizarlo satisfactoriamente (Noonan *et al.*, 2012). Por tanto, siempre debe evaluarse la efectividad de todas y cada una de estas estructuras (Roscoe & Hinch, 2010); entendiéndose por efectividad la capacidad de una escala para ser localizada y superada por las especies objetivo (Larinier, 2001). Para llevar a cabo estas evaluaciones existen múltiples y muy diversos sistemas (Bunt *et al.*, 2012). Estos sistemas pueden clasificarse como directos, si estudian la efectividad de una escala atendiendo a los peces (pit-telemetría, radiofrecuencia, grabación de vídeo, etc.); y como indirectos, si estiman la efectividad en base a otros aspectos como las dimensiones de la estructura y cómo se comporta el agua dentro de ella. El primer grupo permite saber si realmente los peces ascienden a través de una escala, empleando mucho tiempo y gran cantidad de recursos. Mientras que los segundos, más rápidos y económicos, estiman la efectividad de una estructura atendiendo a aspectos teóricos, a menudo poco cuantitativos y ligados a cierta subjetividad.

Ante esta situación, se ha desarrollado la metodología AEPS (por las iniciales de atracción, entrada, pasaje y salida; CHD, 2016) que, con pocos recursos y atendiendo objetiva y cuantitativamente a parámetros dimensionales, hidráulicos y biológicos, permite estimar la efectividad de escalas para peces de estanques sucesivos. Además, esta metodología analiza detalladamente múltiples aspectos que influyen en el ascenso de los peces a través de estas estructuras.

El objetivo perseguido en este trabajo es presentar la metodología AEPS y aplicarla a un número amplio de escalas para peces de estanques sucesivos en la cuenca del Duero. Con ello se pretende mostrar una herramienta práctica y sólida para la evaluación del funcionamiento de las escalas para peces y dar a conocer la

situación actual de los pasos para peces en la demarcación hidrográfica en cuestión.

2. Materiales y métodos

2.1. Metodología AEPS

La metodología AEPS se ha desarrollado como parte del acuerdo de colaboración firmado en el año 2014 entre el Grupo de Ecohidráulica Aplicada de la Universidad de Valladolid, Itagra.ct y la Confederación Hidrográfica del Duero. Esta metodología estima la efectividad de escalas para peces de estanques sucesivos en base a las características de 3 especies piscícolas que presentan capacidades de nado y comportamientos muy similares durante la época de migración reproductiva (Castro-Santos *et al.*, 2013; Sanz-Ronda *et al.*, 2015, 2016). Esas especies son: la trucha común –*Salmo trutta* (Linnaeus 1758)–, el barbo común ibérico –*Luciobarbus bocagei* (Steindachner 1864)– y la boga del Duero –*Pseudochondrostoma duricense* (Coelho 1985)–. Lógicamente, esta metodología puede ser ajustada fácilmente para su aplicación a otras especies.

La metodología considera 4 categorías o etapas (atracción, entrada, pasaje y salida), que un pez debe superar en cualquier escala y que engloban un total de 20 variables fundamentales (*Tabla 1*). Para cada caso de estudio, dichas variables son puntuadas de 0 (muy desfavorable) a 10 puntos (muy favorable), en base a experiencias de campo y recomendaciones de la literatura existente. Estas puntuaciones son

Tabla 1. Variables fundamentales consideradas por la metodología AEPS.

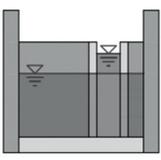
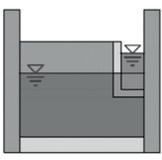
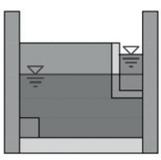
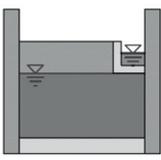
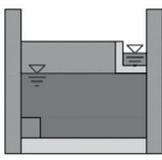
ETAPAS O CATEGORÍAS				
	ATRACCIÓN	ENTRADA	PASAJE	SALIDA
V A R I A B L E S	Caudal relativo de atracción	Desnivel entre la lámina de agua en el río y en el estanque inferior	Desnivel entre láminas de agua de estanques sucesivos	Desnivel entre la lámina de agua en el río y en el estanque superior
	Ubicación de la entrada para peces	Profundidad en la entrada	Potencia disipada por unidad de volumen	Profundidad en la salida
		Anchura de la entrada	Tirante medio en los estanques	Anchura de la salida
		Profundidad previa a la entrada	Profundidad de paso entre estanques	Profundidad posterior al vertedero de salida
		Orientación de la entrada respecto del río	Anchura de paso entre estanques	Orientación de la salida respecto del río
		Tipología de la entrada	Tipología del paso (conexión) entre estanques	Tipología de la salida

empleadas para calcular 4 medias geométricas; cada una de las cuales proporciona una puntuación, de 0 a 10, para cada una de las etapas. Finalmente, en base a las puntuaciones obtenidas, la metodología estima la efectividad de las variables y etapas por separado: muy desfavorable ($0 \leq \text{Puntuación} \leq 4$); desfavorable ($4 < \text{Puntuación} \leq 6$); favorable ($6 < \text{Puntuación} \leq 8$) y muy favorable ($8 < \text{Puntuación} \leq 10$).

2.2. Área de estudio y toma de datos

En este estudio se han evaluado 55 escalas para peces de estanques sucesivos construidas entre los años 2001 y 2017 sobre obstáculos asociados a centrales hidroeléctricas en diferentes ríos de la parte española de la cuenca hidrográfica del río Duero. Los ríos en los que se encuentran dichas escalas son el Torío, Esla, Pisuerga, Pedroso, Arlanza, Duratón, Cega, Eresma, Tormes y Duero. A su vez, las 55 escalas pueden agruparse en 5 tipos distintos según las características de los tabiques transversales que conectan sus estanques (*Tabla 2*).

Tabla 2. Escalas evaluadas y su clasificación según el tipo de tabiques transversales que conectan los estanques (donde H.V. significa hendidura vertical, V.S. es vertedero sumergido, V.S.+O. es vertedero sumergido y orificio de fondo, V.L. indica vertedero no sumergido o libre, y V.L.+O. hace referencia a vertido no sumergido o libre con orificio de fondo).

Número de escalas	H.V.	V.S.	V.S.+O.	V.L.	V.L.+O.
55 (100%)	8 (15%)	5 (9%)	27 (49%)	9 (16%)	6 (11%)
Croquis explicativo de los tabiques de las escalas evaluadas					

La toma de datos se ha realizado durante las migraciones reproductivas de las especies objetivo entre 2014 y 2017, es decir, de abril a junio en zonas de barbo común ibérico y boga del Duero, y de noviembre a enero en tramos trucheros (Dodrio *et al.*, 2011; García-Vega *et al.*, 2017). Para la medición de niveles de agua y alturas de diferentes puntos de las escalas se ha utilizado equipamiento topográfico con precisión centimétrica (estación total *Leica TC307*) y, para medir las dimensiones de la estructura, se han empleado cintas métricas de igual precisión. El caudal circulante por el río, necesario para estimar el caudal relativo de atracción, se obtuvo del SAIH Duero (CHD, n.d.).

2.3. Tratamiento de datos

A partir de los datos recogidos en campo, se han calculado los caudales circulantes por las escalas evaluadas, el tirante medio y la potencia disipada por unidad

de volumen en el interior de sus estanques (Martínez de Azagra Paredes, 1999; FAO/DVWK, 2002; García-Vega *et al.*, 2017). Posteriormente, se calcularon las puntuaciones correspondientes a las diferentes variables y etapas de dichas escalas, y se ha determinado la valoración global de cada una de esas escalas como la mínima puntuación de sus 4 etapas.

Se han calculado los porcentajes de escalas en conjunto, agrupadas por tipologías, y de las cuatro etapas evaluadas, que han sido clasificadas por la metodología como muy desfavorables, desfavorables, favorables o muy favorables.

En aquellas escalas para peces con dos ramales o cuyos estanques conectan entre sí por más de un tipo de tabiques transversales, se calculó el valor promedio de las puntuaciones de los parámetros duplicados. En estos casos se ha asumido que la tipología de dichas escalas es la del tipo de tabique transversal que conecte un mayor número de estanques.

3. Resultados y discusión

Atendiendo a las escalas en conjunto, se estima que sólo 9 (16%) de las escalas evaluadas presentan una efectividad muy favorable y, por tanto, permiten el ascenso sin dificultades de los peces. Otros 15 (27%) dispositivos cuentan con una efectividad favorable, por lo que posibilitan que los peces los superen con ciertas dificultades. Por tanto, el 43% (16% + 27%) de las escalas estudiadas son franqueables por las especies de peces más relevantes de la zona de estudio. De los restantes pasos para peces, 8 (15%) muestran una efectividad desfavorable y otros 23 (42%) una efectividad muy desfavorable; de manera que no permiten el ascenso de la mayoría de la ictiofauna, requiriendo de la realización de mejoras (Tabla 3).

Tabla 3. Efectividad estimada de las escalas evaluadas en conjunto, agrupadas en tipologías y de las categorías consideradas (donde H.V. significa hendidura vertical, V.S. es vertedero sumergido, V.S.+O. significa vertedero sumergido y orificio de fondo, V.L. indica vertedero no sumergido o libre, V.L.+O. hace referencia a vertido no sumergido o libre con orificio de fondo, A. es la categoría de atracción, E. significa entrada, Ps. indica pasaje, y S. se refiere a la salida).

	ESCALAS EN CONJUNTO	TIPOLOGÍA DE ESCALA DE ESTANQUES SUCESIVOS					CATEGORÍAS			
		H.V.	V.S.	V.S.+O.	V.L.	V.L.+O.	A.	E.	Ps.	S.
Muy favorable	9 (16%)	3 (37%)	0 (0%)	5 (19%)	0 (0%)	1 (17%)	16 (29%)	41 (75%)	32 (58%)	36 (65%)
Favorable	15 (27%)	4 (50%)	0 (0%)	10 (37%)	0 (0%)	1 (17%)	19 (34%)	4 (7%)	4 (7%)	12 (22%)
Desfavorable	8 (15%)	0 (0%)	1 (20%)	5 (19%)	1 (11%)	0 (0%)	18 (33%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (2%)
Muy desfavorable	23 (42%)	1 (13%)	4 (80%)	7 (25%)	8 (89%)	4 (66%)	2 (4%)	10 (18%)	19 (35%)	6 (11%)

Elvira *et al.* (1998) evaluaron 99 escalas en España, de las que el 59% posibilitaban los desplazamientos de los peces, mientras que Santos *et al.* (2012) observaron en ríos ciprinícolas de Portugal que el 49% de 37 escalas estudiadas permitían el ascenso de la ictiofauna. Por otro lado, Ordeix *et al.* (2011) y Solà *et al.* (2011) evaluaron cerca de 80 obstáculos con diversos tipos de pasos para peces en ríos de Cataluña obteniendo que en torno al 55% eran adecuados para el ascenso piscícola. En otro inventario, de los 131 pasos piscícolas evaluados en la cuenca hidrográfica del río Ebro, el 18% resultaron adecuados para la ictiofauna (Boné-Puyo y Langa-Sánchez, 2011).

Todas las tipologías de pasos para peces son potencialmente adecuadas para el ascenso piscícola siempre que atiendan a las recomendaciones de diseño (FAO/DVWK, 2002). No obstante, son preferibles aquéllas en las que los estanques conecten por flujos sumergidos, ya que requieren de esfuerzos menores para el ascenso de los peces, y permiten que individuos con reducidas o nulas capacidades de salto las superen (Santos *et al.*, 2012).

Considerando las escalas evaluadas en este trabajo, las que presentan únicamente vertederos, sumergidos o no, son las menos adecuadas con el 100% de sus estructuras clasificadas como desfavorables o muy desfavorables. Las tipologías con más dispositivos efectivos son las de hendiduras verticales, con 7 de 8 escalas estudiadas (87%), y las que tienen vertederos sumergidos y orificios de fondo, con 15 de 27 escalas (56%) (Tabla 3). Los peces ascienden indistintamente a través de estas dos últimas tipologías de pasos piscícolas (Bravo-Córdoba *et al.*, 2017).

En cuanto a las etapas a superar por los peces dentro de las escalas, las más problemáticas han resultado ser la atracción y el pasaje, siendo clasificadas como muy desfavorables o desfavorables en 20 (37%) y 19 (35%) de los 55 casos estudiados (Tabla 3). La atracción de los peces al sistema de paso también ha sido identificada por otros autores como el principal factor limitante de los sistemas de paso (Bunt, 2001; Bunt *et al.*, 2012).

La metodología AEPS se ha mostrado como una herramienta objetiva y cuantitativa para evaluar la efectividad de las escalas para peces. Los resultados conseguidos permiten identificar y localizar problemas en las estructuras evaluadas y cómo mejorarlas.

La evaluación de los sistemas de paso para peces nos permite conocer el nivel real de eficiencia de las obras ejecutadas y debe ser contemplada como una actuación más en la planificación hidrológica de nuestras aguas.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado dentro del proyecto “*Estudio y aplicación de una metodología para la evaluación de pasos para peces en la cuenca Duero*” financiado por la Confederación Hidrográfica del Duero. Los autores agradecen especialmente la colaboración de los siguientes miembros de dicho organismo: Arturo Prieto Blanco, Ignacio Rodríguez Muñoz, José María Rubio Polo, Juan Car-

los Bernabé de la Iglesia y Urbano Sanz Cantalejo. Asimismo, agradecen la colaboración de los miembros del Grupo de Ecohidráulica Aplicada (GEA) y de los titulares de los aprovechamientos hidroeléctricos implicados.

4. Bibliografía

- Boné-Puyo, P.; Langa-Sanchez, A.; 2011. *Evaluación de los pasos de peces en la demarcación del Ebro*. Confederación Hidrográfica del Ebro y Tecnoma. Zaragoza.
- Bravo-Córdoba, F.J.; Sanz-Ronda, F.J.; Ruiz-Legazpi, J.; Fernandes Celestino, L.; Makrakis, S.; 2017. Fishway with two entrance branches: Understanding its performance for potamodromous Mediterranean barbels. *Fish. Manag. Ecol.*, 25: 12-21. <https://doi.org/10.1111/fme.12260>
- Bunt, C.M.; 2001. Fishway entrance modifications enhance fish attraction. *Fish. Manag. Ecol.*, 8: 95–105. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2400.2001.00238.x>
- Bunt, C.M.; Castro-Santos, T.; Haro, A.; 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Res. Appl.*, 28: 457–478. <https://doi.org/10.1002/rra.1565>
- Castro-Santos, T.; Sanz-Ronda, F.J.; Ruiz-Legazpi, J.; 2013. Breaking the speed limit-comparative sprinting performance of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 70: 280–293. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0186>
- CE; 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y el Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- CHD; 2016. *Manual para la evaluación de la funcionalidad de pasos para peces de estanques sucesivos. Metodología AEPS (1.0)*. Sanz-Ronda, F.J.; Martínez de Azagra-Paredes, A. (Coord.). Confederación Hidrográfica del Duero, Grupo de Ecohidráulica Aplicada de la Universidad de Valladolid e Itagra.ct. Valladolid. Disponible en: ftp://www.chduero.es/ENLACE_A6.1/
- CHD; n.d. Sistema Automático de Información Hidrológica (S.A.I.H.) de la Confederación Hidrográfica del Duero. Disponible en: www.saihduero.es (visitada en mayo 2018).
- Doadrio, I.; Perea, S.; Garzón-Heydt, P.; González, J.L.; 2011. *Ictiofauna continental española. Bases para su seguimiento*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Elvira, B.; Nicola, G.G.; Almodóvar, A.; 1998. *Impacto de las obras hidráulicas en la ictiofauna: dispositivos de paso para peces en las presas de España*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.
- FAO/DVWK; 2002. *Fish passes: design, dimensions and monitoring*. Food and Agriculture Organization of the United Nations & Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Rome.
- García-Vega, A.; Sanz-Ronda, F.J.; Fuentes-Pérez, J.F.; 2017. Seasonal and daily upstream movements of brown trout *Salmo trutta* in an Iberian regulated river. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, 418: 9. <https://doi.org/10.1051/kmae/2016041>
- Larinier, M.; 2001. Environmental issues, dams and fish migration. In: G. Marmulla (ed.),

- Dams, Fish and Fisheries: Opportunities, Challenges and Conflict Resolution*, 419: 45–89. Food and Agriculture Organization of the United Nations Fisheries Technical Paper. Rome.
- Martínez de Azagra Paredes, A.; 1999. *Escalas para peces*. Publicaciones E.T.S.II.AA, n.º26. Universidad de Valladolid, Palencia.
- Nilsson, C.; Reidy, C.A.; Dynesius, M.; Revenga, C.; 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308: 405–408. <https://doi.org/10.1126/science.1107887>
- Noonan, M.J.; Grant, J.W.A.; Jackson, C.D.; 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish Fish.*, 13: 450–464. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00445.x>
- Ordeix, M.; Pou-Rovira, Q.; Bardina, M.; Munné, A.; Solà, C.; Casamitjana, A.; Sellarès, N.; 2011. Fish pass assessment in the rivers of Catalonia (NE Iberian Peninsula). A case study of weirs associated with hydropower plants and gauging stations. *Limnetica*, 30: 405–426.
- Porcher, J.P.; Travade, F.; 2002. Chapter 1, Fishways: Biological Basis. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 364: suplemento 9–20.
- Roscoe, D.W.; Hinch, S.G.; 2010. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: Historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish Fish.*, 11: 12–33. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2009.00333.x>
- Santos, J.M.; Silva, A.; Katopodis, C.; Pinheiro, P.; Pinheiro, A.; Bochechas, J.; Ferreira, M.T.; 2012. Ecohydraulics of pool-type fishways: Getting past the barriers. *Ecol. Eng.*, 48: 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.006>
- Sanz-Ronda, F.J.; Bravo-Córdoba, F.J.; Fuentes-Pérez, J.F.; Castro-Santos, T.; 2016. Ascent ability of brown trout, *Salmo trutta*, and two Iberian cyprinids – Iberian barbel, *Luciobarbus bocagei*, and northern straight-mouth nase, *Pseudochondrostoma duriense* – in a vertical slot fishway. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.*, 417: 10. <https://doi.org/10.1051/kmae/2015043>
- Sanz-Ronda, F.J.; Ruiz-Legazpi, J.; Bravo-Córdoba, F.J.; Makrakis, S.; Castro-Santos, T.; 2015. Sprinting performance of two Iberian fish: *Luciobarbus bocagei* and *Pseudochondrostoma duriense* in an open channel flume. *Ecol. Eng.*, 83: 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.033>
- Solà, C.; Ordeix, M.; Pou-Rovira, Q.; Sellarès, N.; Queralt, A.; Bardina, M.; Casamitjana, A.; Munné, A.; 2011. Longitudinal connectivity in hydromorphological quality assessments of rivers. The ICF index: A river connectivity index and its application to Catalan rivers. *Limnetica*, 30: 273–292.

