



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1311

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Altura de barreras transversales que puede remontar el barbo ibérico en zonas de la cuenca media del Duero (España)

GARCÍA DÍAZ, R. (1), MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, V (2). ALONSO GONZÁLEZ, C. (2) y SOLANA GUTIÉRREZ J. (1)

(1) Departamento de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. UPM.

(2) Departamento de Sistemas y Recursos Ambientales. UPM.

Resumen

La integridad de muchas poblaciones de peces, como el barbo ibérico (*Luciobarbus bocagei* Steindachner), requieren que un porcentaje mínimo de las hembras maduras pueda remontar las barreras transversales en los ríos. El presente trabajo tiene como objetivo determinar las alturas de barreras transversales que pueden remontar las hembras maduras de barbo ibérico en relación con su tamaño, con la temperatura y las condiciones hidrodinámicas del obstáculo. Este estudio está basado en las investigaciones realizadas sobre la velocidad sprint que pueden desarrollar esta especie, particularizándolos para los tamaños de los peces existentes en la zona. Las condiciones hidráulicas del vertido de la barrera, que configuran el ángulo de ataque que toma el pez para salvarla, son determinantes en la calificación del obstáculo como franqueable o infranqueable para un barbo de una determinada longitud. La temperatura del agua en la época de la migración reproductiva influirá también, pero en mucha menor medida.

Palabras clave.

Restauración de ríos, migración de peces, ecosistemas acuáticos

1. **Introducción** Dependiendo del ciclo biológico de cada especie, el daño producido por la presencia de barreras es de mayor o menor cuantía. Los peces diádromos necesitan completar su ciclo vital permaneciendo durante parte de su vida en el mar y en los ríos, por lo tanto, la existencia de barreras infranqueables que impidan completar su ciclo biológico provocará en pocos años la desaparición de la especie. Los ciprínidos, aunque son potamodromos, también realizan migraciones, especialmente aquellas especies que requieren microhábitats de características muy específicas para frezar. Si el río se encuentra fragmentado, entonces sólo se mantendrán poblaciones de estas especies en los tramos con continuidad longitudinal en los que existan tales microhábitats. El protocolo de hidromorfología del MITECO (2019) valora las necesidades de migración de los peces en cinco categorías, el nivel más bajo con el valor 1 corresponde a los peces menos necesitados de realizar migraciones. El valor más alto es el 5, con necesidad vital para realizar la migración, propia de los peces diádromos. El valor 4 comprende los peces potamodromos con fuerte



exigencia migratoria, concretamente la trucha común *Salmo trutta* y el género *Luciobarbus sp*, dentro del grupo potamodromos. Las presas, azudes, diques y pasarelas y demás barreras transversales son estructuras que causan un gran impacto a la migración de los peces, de manera más intensa en las cuencas hidrográficas donde existen ríos más caudalosos (O’Hanley, 2011; Birnie-Gauvin et al., 2018) y pueden afectar a todos los componentes del ecosistema. Las barreras pequeñas son las más numerosas, azudes de poca altura pueden afectar a la capacidad de algunas especies de conectar las de alimentación con las de reproducción. En Europa se han documentado al menos 1,2 millones de barreras fluviales a la continuidad fluvial, lo que supone un promedio de 0,74 barreras por kilómetro de río, de las que alrededor de 200.000 se consideran obsoletas (Belletti et al. 2020). El caso de España es similar, con más de 171.000 barreras de diferentes tipos, casi una por kilómetro de río (Amber Consortium, 2020). Cuando la velocidad del flujo es alta, superior a la máxima que puede desarrollar el pez, entonces se formará una “barrera de velocidad” (Haro et al., 2004) que impiden que los peces puedan remontar el río. El presente trabajo se ha basado en el trabajo de Ruiz-Legazpi *et al* (2005), en el que se estimaron las velocidades que pueden desarrollar los peces en la migración reproductora en canales de nado voluntario para reproducir la velocidad de nado en condiciones naturales. Esto aporta realismo por su gran similitud con la migración real que realizan los peces en los ríos. Encontraron que la velocidad que puede desarrollar el barbo ibérico (*Luciobarbus bocagei*) es de 15 veces la longitud del cuerpo (BL) por segundo. La altura que pueden alcanzar los peces para remontar la barrera dependerá de la velocidad del pez y del ángulo de ataque que adquiere al emprender el salto. García *et al* (2022) analizaron las condiciones del salto que determinan el ángulo de ataque. Este ángulo de ataque depende de las condiciones de vertido en cada barrera. El protocolo de caracterización hidromorfológica de masas de agua en la categoría de ríos MITECO (2019) clasifica las especies de peces según su capacidad de salto en cuatro grupos; el grupo 1º, especies con gran capacidad de natación y salto (salmónidos) pudiendo ascender hasta la altura 1 m. Grupo 2º corresponde a los peces con moderada capacidad de natación y de salto donde se incluye a los barbos, en este caso la altura máxima es 0.5 m. Este protocolo precisa que estas alturas la podrán alcanzar los peces cuando se cumpla que la profundidad mínima de la poza sea 1,25 la altura de la barrera para los salmónidos y de 1,40 para los ciprínidos, como también que la altura mínima de la lámina de agua en coronación sea mayor a 0,15 m. El mantenimiento de la población dependerá fundamentalmente de las hembras maduras que puedan reproducirse, porque un macho puede fecundar los huevos puestos por varias hembras. Para evaluar el impacto que una barrera produce en la integridad de la dinámica de una población, es fundamental conocer el porcentaje de la población de hembras maduras que son capaces de remontarla. La capacidad de franqueo de una barrera por una hembra depende directamente de su longitud corporal. Si conocemos con precisión esta relación, el tamaño de la primera reproducción, y la estructura de tamaños de las hembras de una población real, se podrá determinar el porcentaje de hembras reproductoras de la población que son afectadas por una barrera.

2. Objetivos

Determinar las alturas de barreras transversales que pueden remontar las hembras maduras de barbo ibérico en zonas concretas de la cuenca media del río Duero en relación con su tamaño y con la temperatura.

3. Metodología

Los resultados de la investigación de Ruiz-Legazpi *et al* (2018) dan el valor de la velocidad sprint de 15 BL/s, para la temperatura de 18,5 ° C. Las temperaturas con las que se realizaron los ensayos de la investigación de Ruiz-Legazpi *et al* (2018) son 18,5 y 13,5 ° C, siendo el valor medio 16 ° C, de los datos obtenidos. La velocidad sprint se incrementa un 10% entre 13,5°C y 18,5°C. Esto determina un gradiente de 2% de incremento de la velocidad con cada grado de temperatura que aumente el agua; o 0,02 longitudes de cuerpo (BL) por cada grado.

El periodo de migración del barbo ibérico es el mes de mayo. La temperatura media del mes de mayo para el periodo de años entre 2020 y 2023 es 17,4 ° C en un tramo del río Duero, representativo de los tramos habitados por esta especie.

Aplicando este gradiente a la diferencia de temperatura media de los ensayos de Ruiz-Legazpi *et al* (2018), 16°C, y la de la época de reproducción, 17,4°C, la velocidad de sprint que desarrolla un barbo en época de reproducción es de 14.97 LB/s, una diferencia insignificante.

De las dos componentes en las que se descompone la velocidad del pez cuando remonta una barrera (figura 1).

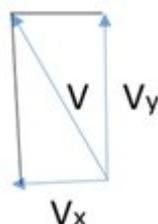


Figura 1. esquema de las componentes ortogonales de la velocidad

Es la componente vertical (V_y) ($V_y = V \sin(\alpha)$) la que consigue elevar al pez en su migración y es en función de esta velocidad vertical la altura que podrá alcanzar el pez por medio de la expresión (1).

$$h = \frac{V_y^2}{2 * g}$$

La velocidad vertical es, a su vez, función del ángulo de ataque con que el pez intentará salvar el obstáculo (α) (figura 2). Si el pez salva el obstáculo nadando, el ángulo de ataque coincide con el ángulo de vertido de la corriente.

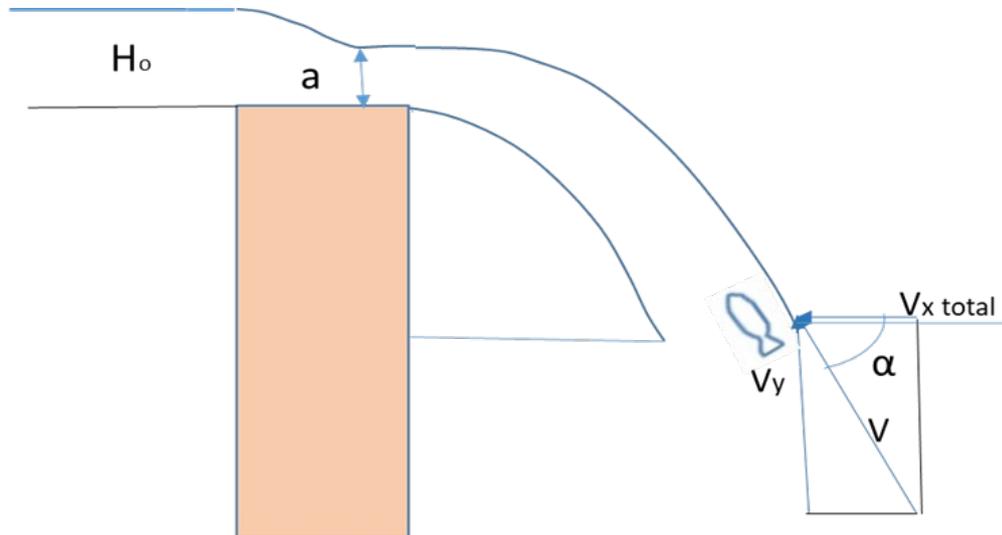


Figura 2. Esquema de la altura de la barrera y el ángulo de ataque.

donde:

V , es la velocidad del pez.

V_y es la componente de la velocidad en el eje “y”.

V_x es la componente de la velocidad en el eje “x”;

α es el ángulo de ataque (el ángulo que forma V con el eje horizontal).

H_o es la altura de vertido; y

“a” es la profundidad del flujo sobre el vertedero.

El ángulo de vertido está determinado por las condiciones hidráulicas del vertedero, según la ecuación.

$$\tan \alpha = \frac{\sqrt{2 * g * h}}{V_o + \sqrt{g * a} + V_{xinf}}$$

donde

V_o es la velocidad inicial por encima de la barrera.

V_{xinf} , es la velocidad del río aguas debajo de la barrera

g , es la aceleración de la gravedad.

h es la altura de la barrera

El ángulo aumentará cuando el denominador disminuya (la profundidad de la lámina de agua en el vertedero (a) aumenta con el caudal y disminuye con la



anchura del vertedero); y cuando las velocidades del flujo (V_o) superior o inferior ($V_{x \text{ inf}}$) sean pequeñas o nulas. Y el numerador aumenta cuando la altura de la barrera (h) sea grande.

Las condiciones contrarias provocarán un ángulo de ataque menor; por ejemplo, cuando la profundidad de la poza aguas abajo de la barrera es escasa. Se considera que la profundidad óptima debe ser superior a 1,4 veces la altura de la barrera (Miteco, 2017), si se cumple esta condición y si además la altura de vertido en coronación (“a”) es superior a 0.15 m se puede considerar el ángulo máximo. Si no se cumplen estas condiciones, entonces el ángulo de ataque deberá disminuir.

Según lo anteriormente expuesto, para cada barrera habrá unas condiciones de vertido concretas que determinarán el ángulo de ataque que se deberá aplicar.

Siendo $V_y = V \cdot \text{sen}(\alpha)$ (Figura 1), y $V = 14,97 \text{ BL/s}$ se puede expresar la altura máxima que puede salvar un barbo en función de su longitud corporal y el ángulo de ataque:

$$h_{max} = \frac{(14,97BL \text{ sen}(\alpha))^2}{2 * g}$$

4 Resultados

La Figura 3 muestra las alturas que pueden remontar los barbos en función de su longitud corporal para varios ángulos de ataque.

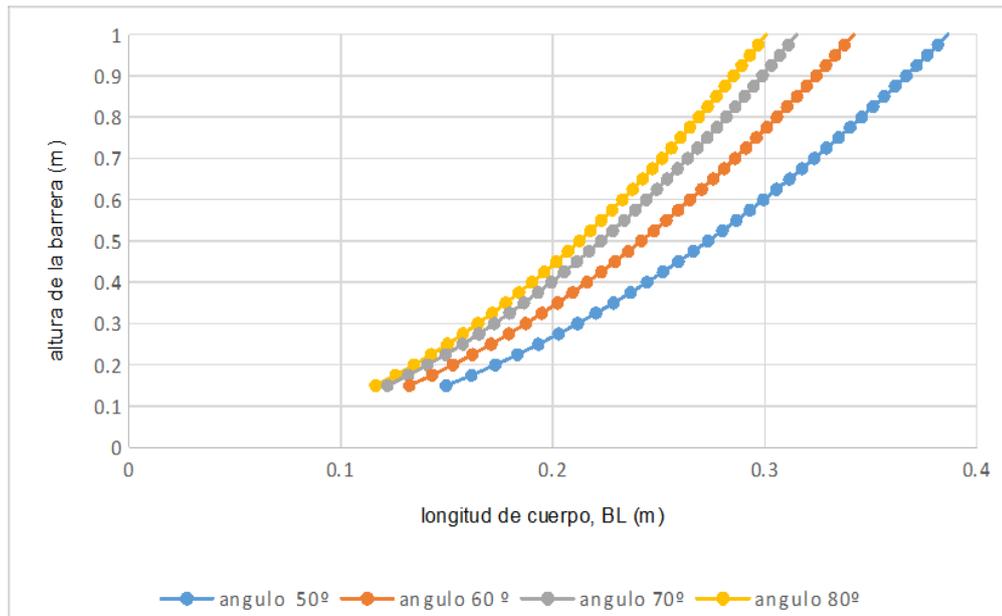


Figura 3. Gráficas de la altura de la barrera en relación con la longitud del pez para distintos ángulos de ataque

4. Discusión y Conclusiones

La altura que es capaz de superar un barbo en las condiciones de temperatura que se dan habitualmente en la migración reproductiva puede variar hasta un 30% en función del ángulo de ataque. Un barbo de 30 cm puede superar una barrera de 1 m si el ángulo de ataque es de 80°, mientras que un obstáculo de 70 puede ser infranqueable para el mismo barbo si el ángulo de ataque que es obligado a tomar es de 50°.

Las condiciones hidráulicas del vertido de la barrera son determinantes, por tanto, en la calificación de un obstáculo como franqueable o infranqueable para un barbo de una longitud dada.

La longitud del animal en su primera maduración determina si la barrera de una altura determinada, y que genera un vertido de un ángulo determinado, afecta a la población o no. Por lo tanto, el grado de afectación de la barrera sobre la integridad de la dinámica de las poblaciones será muy dependiente de la estructura de tallas de las hembras de la población afectada y de las condiciones hidráulicas del vertedero, además de la altura del obstáculo. La temperatura del agua en la época de la migración reproductiva influirá también, pero en mucha menor medida.

El carácter multifactorial de la franqueabilidad de un obstáculo por los peces, contrasta con la simplicidad de los valores dados por el protocolo de Hidromorfología del MITECO para los peces del grupo 2º de capacidad de natación, porque para este grupo en el que se encuentra el barbo la altura que pone como límite es de 0,5 m.



5. Bibliografía

AMBER CONSORTIUM; 2020. The AMBER Barrier Atlas. A Pan-European database of artificial instream barriers. Version 1.0 June 29th 2020.

BELLETTI, B.; GARCIA DE LEANIZ, C.; JONES, J.; BIZZI, S.; BÖRGER, L.; SEGURA, G.; CASTELLETTI, A.; VAN DE BUND, W.; AARESTRUP, K.; BARRY, J.; BELKA, K.; 2020. More than one million barriers fragment Europe's rivers. *Nature*, 588(7838) 436-441.

BIRNIE-GAUVIN, K.; CANDEE, M.M.; BAKTOFT, H.; LARSEN, M.H.; KOED, A.; AARESTRUP, K.; 2018. River connectivity reestablished: Effects and implications of six weir removals on brown trout smolt migration. *River Research and Applications*, 34 (6) 548-554.

GARCÍA-DÍAZ, R.; MANZANO-RODRIGUEZ, A.; GARCÍA DE JALÓN, D.G.; 2022. Transversal barrier heights that brown trout are able to overcome during migrations: Application to three mountain rivers of the Iberian peninsula. *Ecological Engineering*, 181, p.106686.

O'HANLEY, J. R.; 2011. Open rivers: barrier removal planning and the restoration of free-flowing rivers. *Journal of Environmental Management*, 92 (12) 3112-3120.

HARO, A.; CASTRO-SANTOS, T.; NOREIKA, J.; ODEH, M.; 2004. Swimming performance of upstream migrant fishes in open-channel flow: A new approach to predicting passage through velocity barriers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61 1590–1601.

MITECO; 2019. Protocolo para la caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos. CÓDIGO: M-R-HMF-2019. Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España. Madrid.

RUIZ-LEGAZPI J.; SANZ-RONDA, F.J.; BRAVO-CÓRDOBA, F.J.; FUENTES-PÉREZ, J.F.; CASTRO-SANTOS, T.; 2018. Influencia de factores ambientales y biométricos en la capacidad de nado del barbo ibérico (*Luciobarbus bocagei* Steindachner, 1864), un ciprínido potamódromo endémico de la Península Ibérica. *Limnetica*, 37(2) 251-265 (2018).