



**Interreg**  
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



  
**MIGRAMIÑO MINHO**



**INFORME DEL PROCESO DE DISEÑO Y  
TESTEO DE NUEVOS DISPOSITIVOS DE  
FRANQUEO PARA FAVORECER EL PASO DE  
PECES MIGRADORES**

**2017**



# INFORME DEL PROCESO DE DISEÑO Y TESTEO DE NUEVOS DISPOSITIVOS DE FRANQUEO PARA FAVORECER EL PASO DE PECES MIGRADORES

2017

## **COORDINADOR**

Fernando Cobo Gradín

## **AUTORES**

Sergio Silva Bautista  
Rufino Vieira Lanero  
Sandra Barca Bravo  
Lorena Lago Meijide  
Pablo Gómez Sande  
Javier Sánchez Hernández  
M<sup>a</sup> Carmen Cobo Llovo  
Elba Silva García



ESTACIÓN DE HIDROBIOLOGÍA  
"ENCORO DO CON"



Interreg  
España - Portugal  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



MIGRAMiño  
minho



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Diseño y fabricación del dispositivo modular a escala .</b>	<b>12</b>
2.1	Información preliminar.....	12
2.2	Primeros diseños mediante modelización informática .....	14
2.3	Fabricación y testeo del prototipo a escala.....	15
2.4	Consideraciones para el diseño final .....	15
<b>3</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>20</b>



**Interreg**  
España - Portugal  
Fondo Europeo de Desarrollo Regional



**MIGRAMiNO**  
miño  
miño



# 1 Introducción

La biodiversidad global está decreciendo en la actualidad a un ritmo sin precedentes debido a la acción humana, siendo los hábitats dulceacuícolas y la comunidad de peces que albergan los más afectados (Clavero *et al.*, 2004; WWF, 2016). En la actualidad, la presencia generalizada a nivel global de construcciones como presas o azudes, destinados a la producción hidroeléctrica, regulación de caudales, protección contra inundaciones, abstracción de agua, navegación, etc. constituye uno de los principales impactos sobre los ecosistemas fluviales (Jungwirth *et al.*, 1998; Nilsson, 2005). Además de otros efectos, estas construcciones obstaculizan el movimiento de las especies entre los hábitats requeridos en diferentes fases del ciclo vital, lo que se ha vinculado con la pérdida de poblaciones de peces e incluso con la desaparición de especies (Lucas and Baras, 2001; Nilsson, 2005; Vieira-Lanero *et al.*, 2010).



Figura 1. Izquierda: presa de Frieira, primer obstáculo insalvable para las especies migradoras en el canal principal del Baixo Miño. Derecha: azud de mediano porte situado cerca de la desembocadura del río Deva, afluente del río Miño, y considerado como difícilmente franqueable para la mayoría de las especies de peces.

El impacto de las barreras es especialmente relevante para las especies que desarrollan migraciones entre el medio fluvial y el marino (diádromas), siendo prioritario para su conservación la mejora de la conectividad longitudinal de ríos y estuarios. De hecho, a causa de la presencia de barreras y a otros factores de presión, la mayoría de las especies diádromas del Norte Atlántico han sufrido un dramático declive poblacional durante el siglo pasado. No obstante, las especies diádromas son relevantes por su



contribución a la biodiversidad europea, por su papel clave en el funcionamiento de los ecosistemas

fluviales, y por su elevado interés pesquero, turístico, deportivo y cultural, que las convierten a su vez en una fuente de recursos económicos de primer orden (Close *et al.*, 2002; Dekker, 2003; Lassalle *et al.*, 2008; Limburg and Waldman, 2009; Antunes *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016). El salmón del Atlántico (*Salmo salar*) se encuentra bajo una fuerte presión; ha desaparecido de más de 300 ríos y está a punto de desaparecer de muchos más. Otras especies migradoras presentes en la Península Ibérica incluyen las dos especies de lampreas (*Petromyzon marinus* y *Lampetra fluviatilis*) y dos especies de alosa (*Alosa alosa* y *A. fallax*). La forma anádroma de la trucha común (*Salmo trutta*), el reo o trucha de mar, es muy importante a nivel local para la pesca deportiva. La anguila europea (*Anguilla anguilla*) es una especie catádroma que se encuentra fuera de los límites poblacionales de supervivencia, y el otrora abundante esturión del Atlántico (*Acipenser sturio*) ya está casi extinguido a causa de las barreras artificiales, la contaminación y la sobrepesca.



Como consecuencia de lo anterior, existe numerosa legislación a nivel global; como las normativas de Naciones Unidas, dirigidas a proteger las poblaciones de peces migradores, como las Listas Rojas de la IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) en las que se han incluido recientemente varias especies de peces migradores. La *Convención de Bonn (Convention on Conservation of Migratory Species of Wild Animals)*, *UNCLOS III (United Nations Convention on the Law of the Sea)* y la *OSPAR (Convention for the Protection of the Marine Environment of the North East Atlantic)* dedican también atención a la conservación de peces migradores. Las normativas ambientales actuales son cada vez más frecuentes en la Comunidad Europea. Así, la *Directiva Marco del Agua (Water Framework Directive, EC 2000)*, la norma *92/43/EEC* sobre la conservación de los hábitats para la flora y la fauna (“*Directiva Hábitats*”), la *Convención de Berna (Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats)* o el *Treaty of the Committee of ministers of the Benelux Economical Union* persiguen la conservación de hábitats y especies, entre los que se encuentran los peces migradores. Asimismo, la legislación es cada vez más exigente con la permeabilización de obstáculos para el paso de las especies migradoras (European Community, 2000; Brown *et al.*, 2013). Finalmente, la norma *EC/1100/2007* que establece las medidas para la recuperación de los stocks de anguila europea, exige a los países miembros diseñar e implementar los *Planes de Gestión de la Anguila (Eel Management Plans, EMP's)* con el objetivo de alcanzar un nivel global de recuperación de los stocks. La Comisión Europea, siguiendo las recomendaciones de los informes elaborados por el ICES (*International Council for the Exploration of the Seas*) ha adoptado estos planes.



Figura 2. Algunas de las especies diádromas presentes en el Baixo Miño. De izquierda a derecha y de arriba abajo: Anguila europea *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), reo *Salmo trutta* Linnaeus, 1758, sábalo *Alosa Alosa* (Linnaeus, 1758) y lamprea marina *Petromyzon marinus* Linnaeus, 1758.

Dada la situación actual de las especies migradoras en Europa se hace imprescindible incrementar la accesibilidad de los ríos de la región. Se deben conservar libres y sin restricciones los corredores ecológicos que constituyen los ríos en las rutas de migración hacia y desde el mar. La mayor exigencia legislativa ha favorecido el desarrollo e instalación de pasos para peces en los principales obstáculos para la migración de estas especies diádromas. Sin embargo, aún existe un amplio número de azudes que presentan deficiencias importantes en sus dispositivos de franqueo, pues o bien no los tienen, están deteriorados, colmatados o destruidos, o muestran defectos de diseño.

Los dispositivos de franqueo se pueden definir, de una forma sencilla y breve, como aquellas infraestructuras con la finalidad de facilitar el paso de los peces aguas arriba y abajo de un obstáculo existente en el curso fluvial. El principio general de los dispositivos de franqueo consiste en atraer a los migradores a un punto determinado del río a un lado del obstáculo a franquear e incitarlos a pasar por medio de la apertura de una vía de agua, o concentrándolos para atraparlos y más tarde liberarlos al otro lado del obstáculo, normalmente aguas arriba del mismo.



La efectividad de las escalas de peces depende de una gran variedad de factores como: las especies presentes en el sistema, su comportamiento y capacidad natatoria (tamaño, condición, etc.); las condiciones hidráulicas, tales como turbulencia y velocidad de corriente, tanto en la escala como en las inmediaciones de la entrada a la misma (determinantes en la atracción de los peces), dimensiones y características de la estructura, posición y orientación, etc.

La rigurosidad en el estudio previo a la selección y colocación de una escala de peces es variable y tiene un importante efecto en la posterior efectividad del dispositivo pero debido a la diversidad de factores que afectan a la efectividad de un dispositivo de franqueo, incluso un riguroso estudio previo no asegura el adecuado funcionamiento de la escala una vez instalada. De hecho, son muy habituales los estudios que muestran un deficitario funcionamiento de este tipo de estructuras, sobre todo para las especies de menor capacidad natatoria (Noonan *et al.*, 2012; Bunt *et al.*, 2016). Para alcanzar una conectividad adecuada los dispositivos de franqueo deberían permitir, idealmente, el paso de al menos el 90% de los individuos en migración (Lucas y Baras, 2001). Sin embargo, los valores registrados están normalmente lejos de este umbral. Así, Noonan *et al.* (2012) revisaron 65 artículos publicados entre 1960 y 2011 en los que se investigaba la eficiencia de paso de diversas especies de peces en diferentes tipos de escalas. Por término medio, la eficiencia de paso fue del 41.7% y el 68.5% de los individuos en migración aguas arriba y aguas abajo respectivamente. Las especies de salmónidos utilizaron estos pasos con mayor éxito que las de no salmónidos, tanto en migración aguas arriba (61.7 vs. 21.1%) como aguas abajo (74.6 vs. 39.6%). En otro trabajo de metaanálisis similar, Bunt *et al.* (2016) analizaron los datos de evaluación de escalas procedentes de 17 estudios y referidos a 26 especies. La eficiencia total media (porcentaje de individuos que pasan la escala del total en migración) de las escalas estudiadas fue del 31% (28% para escalas de artesas, 29% para escalas de hendiduras verticales, 62% para escalas tipo Denil y 48% para “pasos naturalizados”).

Los obstáculos de pequeño y mediano tamaño limitan o impiden el acceso a hábitats críticos y dada su abundancia pueden a tener un efecto acumulado muy significativo, reduciendo la densidad de efectivos a lo largo del eje fluvial, aumentando el gasto energético y tiempo de migración, que no estará disponible para la reproducción, aumentando la mortalidad por depredación y pesca, etc. (Lucas *et al.*, 2009; Quintella *et al.*, 2009; Kemp y O’Hanley, 2010; Vieira-Lanero *et al.*, 2010; Piper *et al.*, 2013; Thiem *et al.*, 2016). Por lo tanto, se hace fundamental el estudio y desarrollo de nuevas medidas de mejora de la conectividad en estructuras de pequeño y mediano tamaño.

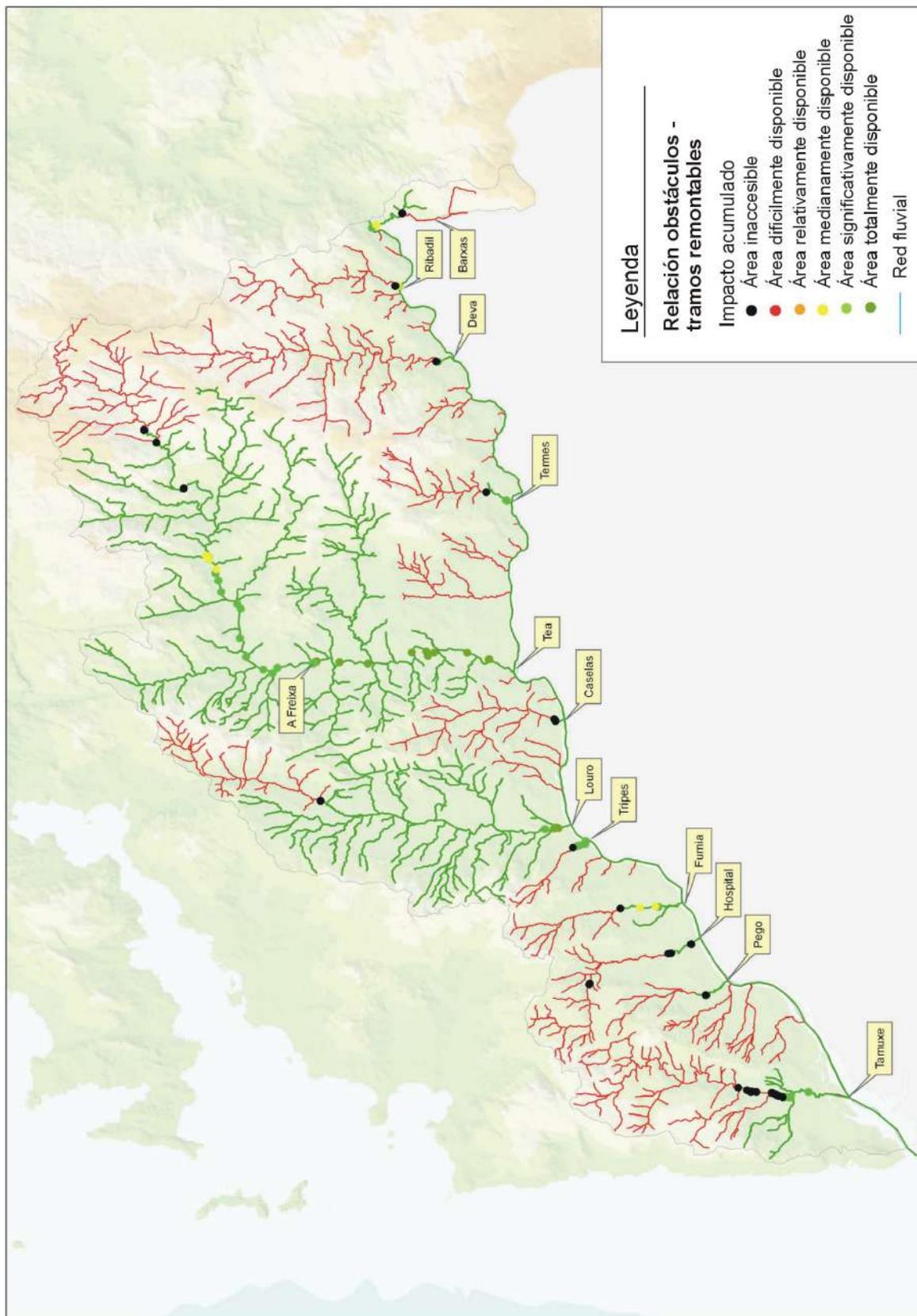


Figura 3. Relación de obstáculos presentes en los afluentes de la margen española del Baixo Miño (modificado de Vieira-Lanero *et al.*, 2010).

Las escalas de peces son tradicionalmente construcciones de considerable envergadura, que implican unos costes económicos y de tiempo elevados y que dificultan su posterior modificación o sustitución. Por ello, en las pocas ocasiones en las que se evalúa *in situ* su funcionamiento, es muy complicado y costoso el realizar las medidas necesarias para corregir los potenciales déficits encontrados. Asimismo, normalmente es difícil determinar la causa específica de la baja efectividad de un dispositivo y la efectividad de las posibles soluciones, dada la inviabilidad de hacer modificaciones relevantes en la estructura para comparar resultados. También es muy común que las medidas de restauración, ya sea la eliminación de barreras o la colocación de dispositivos de franqueo, choquen con otros usos del agua como el agrícola, consumo humano, recreativo, etc. Sin embargo, las mayores limitaciones de agua para otros usos se concentran en los meses de verano, período que queda fuera de los picos de migración de las especies diádromas y por lo tanto en los que las necesidades de permeabilización son menores.

De acuerdo con esto, uno de los objetivos del proyecto Migra Miño-Minho consiste en el diseño y testeo de nuevos dispositivos de franqueo para favorecer la migración de las especies diádromas en los afluentes del Baixo Miño. El diseño se dirigirá, como aspecto totalmente novedoso en la construcción de estas infraestructuras, hacia dispositivos modulares, removibles y reutilizables con el fin de eliminar el problema medioambiental derivado de la falta de previsión y de conservación de los dispositivos construidos mediante obra tradicional y materiales ambientalmente poco adecuados. El bajo coste y tiempo de preparación-construcción-modificación de esta estructura permitirá una mayor y más eficiente actuación de restauración de la conectividad fluvial, ampliando la viabilidad de las actuaciones a un número significativamente mayor de obstáculos, y permitiendo la adaptación del dispositivo para maximizar su efectividad. El uso de escalas convertibles y portátiles tiene un gran potencial para la evaluación en el campo, ya que permite el testeo de diferentes tipos de escalas, diseños (pendientes, tamaño, caídas entre vasos, velocidades de corriente...), localizaciones, épocas del año, caudales, etc. con inversiones mucho más bajas que con las escalas tradicionales, lo que permitirá identificar y seleccionar la mejor opción para cada caso, así como facilitar el progreso en la investigación en este campo.

## 2 Diseño y fabricación del dispositivo modular a escala

### 2.1 Información preliminar

El diseño de la escala parte de un concepto inicial, desarrollado por miembros de la Estación de Hidrobiología “Encoro do Con” de la Universidad de Santiago de Compostela, de una escala modular, ligera, de bajo coste, portátil y versátil. Se trata de dar una solución asequible que sea viable para la gran cantidad de obstáculos de pequeño y mediano tamaño presentes en las cuencas fluviales. Los materiales a utilizar deben ser ligeros, fáciles de trabajar y resistentes a temperaturas y condiciones habituales en los ríos de Galicia. Por ello, se optó por la utilización de polietileno SIMONA® PE 100 negro, de alta resistencia y rigidez, además de gran versatilidad. Tanto para la modulación digital del diseño de la escala como para la posterior fabricación en polietileno se colaboró con una empresa especializada.

En esta fase preliminar del estudio se realizaron una serie de diseños mediante modelización informática que se fueron modificando hasta seleccionar el que se consideró más adecuado. Todo el proceso se apoyó en el conocimiento existente hasta la fecha sobre los diversos diseños de pasos para peces desarrollados e implementados durante las últimas décadas (revisados en Beach, 1984; Jungwirth *et al.*, 1998; Larinier, 2000; FAO, 2002; Armstrong *et al.*, 2010; Williams *et al.*, 2012 entre otros), así como la información sobre su eficacia (revisado en Bunt *et al.* 2012, 2016 y Noonan *et al.* 2012 entre otras). También se realizaron visitas de a diferentes obstáculos y escalas para la revisión *in situ* del potencial y desafíos del desarrollo de la escala innovadora propuesta (figs. 4-7).



Figura 4. Visita al capturadero de Ximonde (río Ulla), gestionado por la Xunta de Galicia y dotado con una escala de artesas y una escala de deflectores laterales.



Figura 5. Visita al coto de pesca de Couso (río Ulla), en cuyo límite superior se instaló una escala de peces de hendiduras verticales y un paso “naturalizado”.



Figura 6. Escala de tipo Denil fuera de uso en la localidad de Pontearnelas, río Umia.



Figura 7. Visita a obstáculos de pequeño y mediano porte en el río Umia.

## 2.2 Primeros diseños mediante modelización informática

Durante la primera fase de modelización informática se realizó el desarrollo y modificación de bocetos de escala hasta obtener los diseños deseados. El objetivo final fue el de desarrollar y seleccionar el diseño más adecuado para la posterior fabricación de un modelo a escala y testeo de su funcionamiento.

El primer diseño contó con módulos de 1.9 m de largo y 0.9 m de ancho. Además de los módulos o estructura principal del dispositivo, que podría ser el mismo para varios tipos de escalas, se realizaron planos para compuertas de diferentes tipos de escalas (Denil, de una hendidura o de doble hendidura vertical). En cada uno de los módulos se incluyeron ranuras para alojar las compuertas. Todo el módulo se reforzó por la parte exterior con “costillas” que permiten soportar las fuerzas laterales, así como el peso del agua. En uno de los extremos del módulo se instaló una lengüeta que permite un fácil acople entre módulos.

Por último, se hizo una modelización de la escala instalada en uno de los obstáculos presentes en el Baixo Miño (fig. 8). En concreto en el obstáculo más cercano a la desembocadura del río Caselas y que podría ser utilizado para el testeo del dispositivo en el campo.

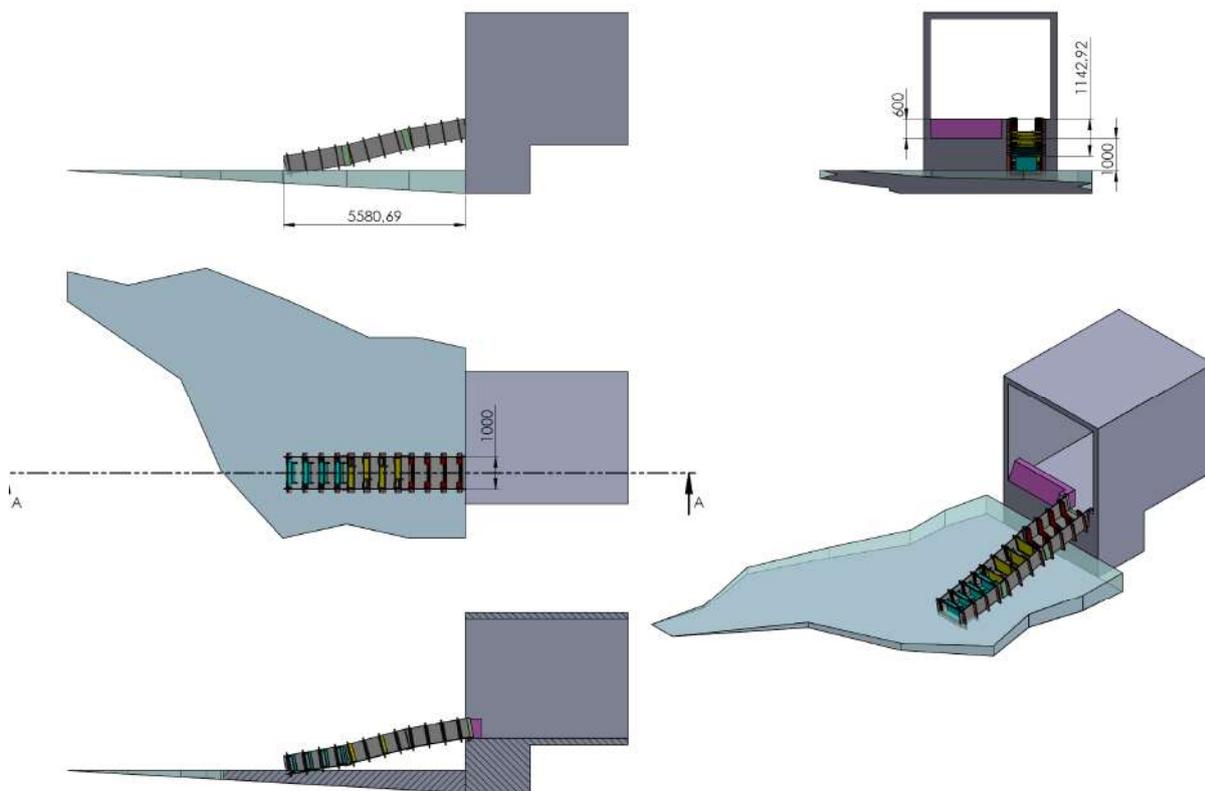


Figura 8. Representación de posible escala modular para el obstáculo más cercano a la desembocadura del río Caselas.

A partir del desarrollo del primer diseño preliminar, se decidieron una serie de pasos a realizar antes de la fabricación de los primeros módulos a escala. Por un lado se decidió el tamaño o escala con la que se fabricarían y se ajustó el diseño a estas medidas: 20 cm de ancho por 33 cm de largo para cada módulo. Se puede observar que la relación longitud-anchura varía con respecto al primer diseño, con una menor longitud por unidad de anchura (relación de 1.7 cm de largo por cm de ancho, frente a 2.1:1 original). Además, se incluyó un diseño alternativo, de módulos trapezoidales, para determinar cuál de los dos esquemas sería el más adecuado para el objetivo propuesto. El nuevo diseño se desarrolló principalmente con la finalidad de examinar si este podría permitir un mejor acople entre módulos, con mayor flexibilidad para adaptarse a cambios de inclinación vertical o lateral entre módulos.

### **2.3 Fabricación y testeo del prototipo a escala**

Para un mejor análisis e interpretación de las potencialidades y limitaciones ambos diseños (de módulo rectangular o trapezoidal) se decidió la fabricación inicial de dos módulos de cada uno, además de varias compuertas de cada tipo (Denil, una hendidura o doble hendidura vertical).

Finalmente se seleccionó el diseño rectangular como más adecuado debido a sus mejores condiciones de acople, siendo similar el potencial de ambos diseños para la adaptación a variaciones de inclinación vertical o lateral entre módulos. Asimismo, el modelo rectangular se adapta de forma más precisa a los estándares desarrollados para los diferentes diseños de escalas, lo que facilita la determinación de características técnicas e hidráulicas del dispositivo para su adecuación a las condiciones bióticas y abióticas en cada caso, es decir, especies y fases del ciclo vital presentes en el curso fluvial y por lo tanto su capacidad natatoria, condiciones de caudal, altura del obstáculo, etc.

Una vez decidido el diseño, se procedió a la fabricación de otros tres módulos y de un total de 5 compuertas de cada tipo para su testeo en las instalaciones de la Estación de Hidrobiología “Encoro do Con”. Las pruebas fueron realizadas con diferentes compuertas, pendientes y caudales.

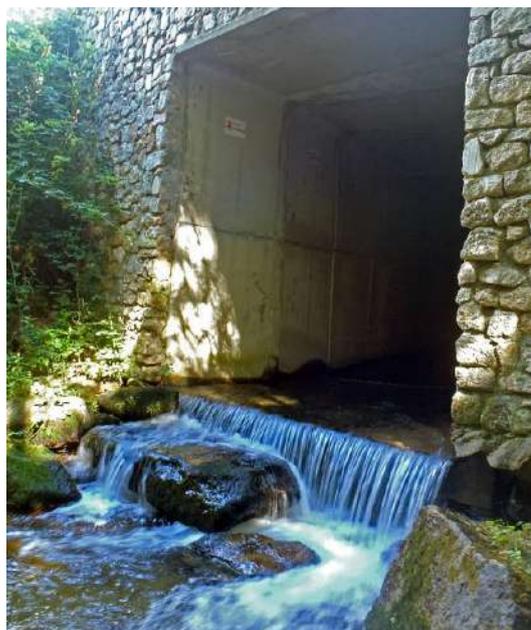
### **2.4 Consideraciones para el diseño final**

Además de las pruebas realizadas con el prototipo a escala se realizaron reuniones posteriores de los miembros del grupo de investigación de la Estación de Hidrobiología “Encoro do Con”, para debatir sobre las consideraciones y potenciales mejoras a tener en cuenta para el desarrollo del diseño final de la escala, que se testeará en alguno de los afluentes del Baixo Miño. En parte de estas reuniones se contó con la participación de responsables de la empresa encargada de la fabricación de los dispositivos. Con todo ello se establecieron las directrices a seguir en el diseño final de la escala modular, su fabricación y posterior colocación en el campo.

Como diseño final se seleccionó la escala tipo Denil, debido a que permite su utilización con pendientes mayores (de hasta un 20%) y por lo tanto con una longitud de la estructura mucho más reducida que otros diseños (FAO, 2002). Además, aunque existen estudios científicos con resultados contradictorios, la escala tipo Denil ha sido descrita como efectiva para la permeabilización de obstáculos para la migración de diferentes especies de peces (Bunt *et al.*, 2016).

Con toda la información obtenida durante las pruebas y la procedente de la bibliografía (vease por ejemplo Beach 1984, Jungwirth *et al.* 1998, Larinier 2000, FAO 2002, Armstrong *et al.* 2010, Williams *et al.* 2012), se desarrolló una aplicación informática que permite calcular de forma automática todos los parámetros caracterizadores de la escala a construir. Para ello se introducen en la aplicación los valores de altura del obstáculo a salvar y los de anchura y pendiente de la escala. Estos tres parámetros determinan las demás características técnicas del dispositivo, desde parámetros biométricos de los módulos a caudal circulante y velocidad de corriente en la misma (Anexos 1 y 2). De esta manera, las características de la escala se pueden modificar, variando los valores anchura y pendiente de la escala, según los requerimientos de las especies y condiciones de caudal de cada río y localidad.

En nuestro caso se seleccionó un ancho de escala de 60 cm con pendiente del 20%, considerado como más adecuado para el tamaño de los ríos afluentes del Baixo Miño y las especies que albergan (FAO, 2002; Nachón *et al.*, 2010; Vieira-Lanero *et al.*, 2010). En concreto, el obstáculo preseleccionado para la colocación y testeo del primer dispositivo modular en el campo se sitúa en el río Caselas (UTM: 29T 536678 4656247). Se trata del obstáculo más cercano a la desembocadura de este río y que además, dependiendo de la especie, constituye una barrera infranqueable o con una dificultad de paso muy elevada. La altura del obstáculo es de un metro en



condiciones de estiaje y el túnel que se forma continúa durante cerca de 50 m con pendiente suave pero una columna de agua menor de 10 cm en las zonas más profundas, lo cual dificulta en gran medida el desplazamiento de los peces. Por ello, la altura final a salvar será de aproximadamente 1.5 m, ya que será necesario añadir altura al obstáculo para aumentar la profundidad aguas arriba y para el desvío de caudal hacia la escala. En el anexo 1 se presentan las características del dispositivo calculadas para los valores preseleccionados de altura del obstáculo y de ancho y pendiente de la escala (1.5 m, 0.6 m y 20% respectivamente).

### 3 Bibliografía

- Antunes C, Cobo F, Araújo MJ. 2015. Iberian inland fisheries. In *Freshwater Fisheries Ecology*, Craig JF (ed). John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester; 268–282.
- Araújo MJ, Silva S, Stratoudakis Y, Gonçalves M, Lopez R, Carneiro M, Martins R, Cobo F, Antunes C. 2016. Sea lamprey fisheries in the Iberian Peninsula. In *Jawless Fishes of the World*, Orlov A, , Beamish R (eds). Cambridge Scholars Publishing: Newcastle upon Tyne; 115–148.
- Armstrong G, Aprahamian MW, Fewings GA, Gough PJ, Reader NA, Varallo P V. 2010. Environment Agency fish pass manual: guidance notes on the legislation, selection and approval of fish passes in England and Wales., Bristol.
- Beach MH. 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. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food., Lowestoft, UK.
- Brown JJ, Limburg KE, Waldman JR, Stephenson K, Glenn EP, Juanes F, Jordaan A. 2013. Fish and hydropower on the U.S. Atlantic coast: failed fisheries policies from half-way technologies. *Conservation Letters* **6**: 280–286.
- Bunt CM, Castro-Santos T, Haro A. 2012. Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and Applications* **28**: 457–478.
- Bunt CM, Castro-Santos T, Haro A. 2016. Reinforcement and validation of the analyses and conclusions related to fishway evaluation data from Bunt *et al.*: ‘Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration’. *River Research and Applications* **32**: 2125–2137.
- Clavero M, Blanco-Garrido F, Prenda J. 2004. Fish fauna in Iberian Mediterranean river basins: Biodiversity, introduced species and damming impacts. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **14**: 575–585.
- Close D, Fitzpatrick MS, Li HW. 2002. The ecological and cultural importance of a species at risk of extinction, Pacific lamprey. *Fisheries* **27**: 19–25.
- Dekker W. 2003. Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla*

*anguilla?* *Fisheries Management and Ecology* **10**: 365–376.

European Community. 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Parliament* **L327**: 1–82.

FAO. 2002. *Fish Passes: Design, Dimensions and Monitoring (DE)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome.

Jungwirth M, Schmutz S, Weiss S. 1998. *Fish migration and fish bypasses*. Fishing News Books: Oxford.

Kemp PS, O’Hanley JR. 2010. Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: A synthesis. *Fisheries Management and Ecology* **17**: 297–322.

Larinier M. 2000. Dams and Fish Migration. World Commission on Dams.

Lassalle G, Béguer M, Beaulaton L, Rochard E. 2008. Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues: An approach using biogeographical models. *Biological Conservation* **141**: 1105–1118.

Limburg KE, Waldman JR. 2009. Dramatic declines in north atlantic diadromous fishes. *BioScience* **59**: 955–965.

Lucas MC, Baras E. 2001. *Migration of freshwater fishes*. Blackwell Science: Oxford.

Lucas MC, Bubb DH, Jang MH, Ha K, Masters JEG. 2009. Availability of and access to critical habitats in regulated rivers: Effects of low-head barriers on threatened lampreys. *Freshwater Biology* **54**: 621–634.

Nachón D, Vieira-Lanero R, Servia MJ, Barca S, Couto MT, Rivas S, Sánchez J, Silva S, Gómez-Sande P, Morquecho C, et al. 2010. Composición de la ictiocenosis de los afluentes de la margen española del Baixo Miño. *Actas del V Simpósio Ibérico Sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Minho* Vilanova da Cerveira; 150–156.

Nilsson C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the World’s large river systems. *Science* **308**: 405–408.

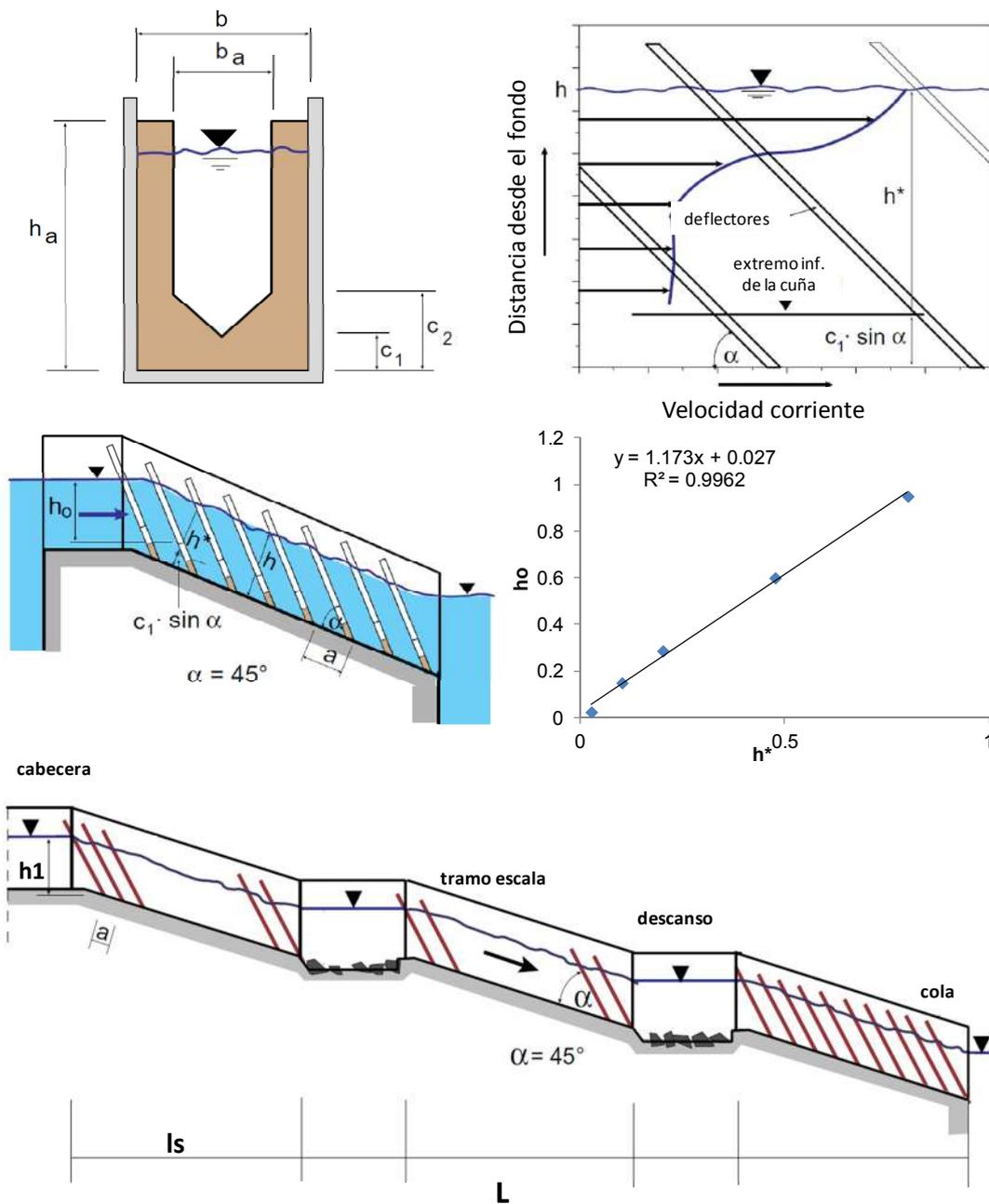
Noonan MJ, Grant JWA, Jackson CD. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries* **13**: 450–464.

- Piper AT, Wright RM, Walker AM, Kemp PS. 2013. Escapement, route choice, barrier passage and entrainment of seaward migrating European eel, *Anguilla anguilla*, within a highly regulated lowland river. *Ecological Engineering* **57**: 88–96.
- Quintella BR, Póvoa I, Almeida PR. 2009. Swimming behaviour of upriver migrating sea lamprey assessed by electromyogram telemetry. *Journal of Applied Ichthyology* **25**: 46–54.
- Silva S, Vieira-Lanero R, Barca S, Cobo F. 2016. Densities and biomass of larval sea lamprey populations (*Petromyzon marinus* Linnaeus, 1758) in north-western Spain and data comparisons with other European regions. *Marine and Freshwater Research* **68**: 116–122.
- Thiem JD, Dawson JW, Hatin D, Danylchuk AJ, Dumont P, Gleiss AC, Wilson RP, Cooke SJ. 2016. Swimming activity and energetic costs of adult lake sturgeon during fishway passage. *The Journal of Experimental Biology* **219**: 2534–2544.
- Vieira-Lanero R, Servia M, Barca S, Couto M, Rivas S, Sánchez J, Nachón D, Silva S, Gómez-Sande P, Morquecho C, et al. 2010. Implicaciones de la fragmentación del hábitat fluvial en la distribución de la ictiofauna en los afluentes de la margen española del Baixo Miño. *Actas del V Simposio Ibérico sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Minho* 138–145.
- Williams JG, Armstrong G, Katopodis C, Larinier M, Travade F. 2012. Thinking like a fish: A key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions. *River Research and Applications* **28**: 407–417.
- WWF. 2016. *Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era*. WWF International: Gland, Switzerland.

## 4 Anexos

Anexo 1. Parámetros técnicos caracterizadores de la escala Denil propuesta calculados mediante la aplicación informática desarrollada.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>ENTRADA DE DATOS</b>	
Anchura del canal de la escala (b) (m)	0.60
Pendiente de la escala (%)	20
Altura del azud (m)	1.5
<b>CÁLCULOS</b>	
<b>Escala</b>	
Longitud total escala (L) (m)	7.5
Nº tramos de escala	1.5
Nº de descansos	1
Longitud de los tramos (ls) (m)	4.733
<b>Dimensiones de los módulos</b>	
Longitud de los módulos (m)	1.584
Altura de los módulos (m)	1.065
Anchura interior de los módulos (m)	0.600
Volumen modulo (m <sup>3</sup> )	0.726
Superficie modulo (m <sup>2</sup> )	0.950
Distancia entre deflectores (a) (m)	0.396
<b>Dimensiones de los deflectores</b>	
Anchura del deflector (b) (m)	0.600
Anchura escotadura deflector (ba) (m)	0.348
Altura inferior de la cuña (c1) (m)	0.150
Altura superior de la cuña (c2) (m)	0.300
Longitud del deflector (ha) (m)	0.988
<b>Dimensiones de los descansos</b>	
Alto (m)	1.065
Largo (m)	1.584
Ancho (m)	1.200
<b>Datos hidráulicos</b>	
Altura diagonal superficie hasta la cuña (h*) (m)	0.522
Relación prof. agua anchura de la hendidura (h*/ba)	1.500
Prof. hasta la cuña en la entrada (ho) (m)	0.639
Prof. hasta el fondo en la entrada (h1) (m)	0.764
Distancia diagonal cuña-fondo (m)	0.106
Altura diagonal superficie-fondo (h) (m)	0.628
Q caudal max llenado m <sup>3</sup> /s	0.257
Velocidad corriente según Qmax (m/s)	0.385
Superficie entrada para Qmax (m <sup>2</sup> )	0.667
Superficie entrada módulo (m <sup>2</sup> )	0.639
Velocidad según sección entrada y Qmax	0.402
Caudal óptimo (m <sup>3</sup> /s)	0.246
Velocidad según caudal óptimo	0.385
Ener. flujo en la escala (E)	0.556
Velocidad en descanso para 1/2 E	0.300
Superficie mínima en descanso (m <sup>2</sup> )	0.270
Superficie descanso 2 módulos (m <sup>2</sup> )	1.901



Anexo 2. Representación gráfica de los parámetros técnicos caracterizadores de una escala Denil (modificado de FAO 2002).





**Interreg**  
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



UNIÓN EUROPEA

  
**MIGRAMiño**  
MINHO

[www.migraminho.com](http://www.migraminho.com)



AGÊNCIA  
PORTUGUESA  
DO AMBIENTE



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA Y PESCA,  
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL MIÑO-SEL-GA



XUNTA  
DE GALICIA



CERVEIRA  
VILA DAS ARTES



ciimar  
Centro Interdisciplinar  
de Investigación  
Marinha e Ambiental



ICNF  
Instituto da Conservação  
da Natureza e das Florestas



USC  
UNIVERSIDADE  
DE SANTIAGO  
DE COMPOSTELA