



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE,
Y MEDIO RURAL Y MARINO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL DUERO

DIAGNÓSTICO DE LA CONECTIVIDAD LONGITUDINAL DE LA CUENCA DEL DUERO



2010

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, RURAL Y MARINO
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL DUERO
COMISARIA DE AGUAS

DIAGNÓSTICO DE LA CONECTIVIDAD LONGITUDINAL DE LA CUENCA DEL DUERO (Clave 452-A 611.13.04/2008)

DIRECTOR DEL PROYECTO

D. Pablo Seisdedos Fidalgo, Jefe del Servicio de Estudios Medioambientales de la
Comisaria de Aguas

EQUIPO DE TRABAJO (Icthios Gestión Ambiental S.L.)

Gustavo González Fernández (1)

David Pérez Cardenal (1)

David Miguelez Carbajo (1)

Rocio Gallego García (2)

Rosalía Fernández Suárez (1)

Eva Álvarez Durango (1)

Pilar Canal Rubio (3)

Isabel Roa Alvarez (3)

Ernesto Rosa Cubo (3)

1.- Biólogo

2.- Ingeniero de Montes

2.- Ingeniero Técnico Forestal

Agosto de 2010

Índice

1.- Introducción	1
2.- Normativa	4
3.- Actualización del inventario de obstáculos transversales en la cuenca del Duero.	6
4.- Evaluación de la franqueabilidad	
4.1.- Criterios	6
4.2.- Procedimiento	12
5.- Diseño de índices.	
5.1.- Índice de franqueabilidad	15
5.2.- Índice de compartimentación	15
5.3.- Índice de continuidad longitudinal	16
5.4.- Índice de prioridad de actuación	18
6.- Ejemplo de aplicación: índice de prioridad de actuación en la cuenca del Órbigo	20
7.- Bibliografía	20
Anexo I.- Base de datos y capas GIS	Soporte digital
Anexo II.- Azudes no considerados	Soporte digital
Anexo III.- IPA cuenca del Órbigo	Soporte digital

1.- INTRODUCCIÓN

El progresivo incremento de los aprovechamientos hidráulicos para distintos usos, especialmente en los últimos 60 años, ha traído aparejada la construcción de numerosas infraestructuras transversales a lo largo de los cauces fluviales, que tienen una seria repercusión en el estado ecológico de las masas de agua en las que están instaladas.

Además de las evidentes modificaciones físicas del hábitat, estableciendo una nueva disposición de rápidos y remansos, modifican también los procesos de transporte, aumentando los tiempos de retención y, por tanto, favoreciendo la sedimentación aguas arriba de los mismos, y disminuyendo los aportes a las zonas bajas. Estas modificaciones en los procesos de transporte, que alteran los flujos de materiales (caudales sólidos, carbono y nutrientes) y energía, producen alteraciones de mayor o menor medida en la dinámica físico-química del río, lo que repercute en toda la comunidad biológica asentada a lo largo del mismo, tanto aguas arriba como aguas abajo. Así, se ha podido comprobar cómo en los últimos años son frecuentes los procesos de eutrofización en ríos muy tableados, debido a la acción conjunta del descenso en la velocidad de la corriente y la presencia de concentraciones más o menos elevadas de nutrientes procedentes de los vertidos de aguas residuales urbanas y de la contaminación agroganadera difusa, fundamentalmente, aunque también de los sedimentos orgánicos acumulados por el azud. La eutrofización de estas masas de agua repercute negativamente en su calidad, pudiendo incluso comprometer los usos posteriores del agua. Un claro ejemplo de pérdida de calidad asociada a la proliferación masiva de fitoplancton en numerosas masas de agua embalsadas es la aparición de cianofíceas, algunas de ellas potencialmente productoras de microcistinas y otras cianotoxinas, cuya aparición afecta notablemente a las condiciones de prepotabilidad y al posible uso recreativo de dichas masas de agua.

Otra de las causas de pérdida de calidad en las masas de agua retenidas por azudes es la acumulación de sedimentos provocada por la ralentización en la velocidad del agua que supone la presencia de un obstáculo transversal en un cauce. Estos sólidos pueden ser de naturaleza inorgánica (arenas, limos, arcillas) u orgánica y pueden provocar la colmatación del lecho, así como una mayor demanda de oxígeno por parte de la materia orgánica biodegradable decantada. Por otro lado, la pared del

azud provoca la retención de materias flotantes con el evidente impacto visual y sobre la calidad de las aguas que esto supone.

Pero posiblemente el efecto más importante que producen es el efecto barrera, compartimentando las cuencas, aislando poblaciones e impidiendo los desplazamientos migratorios de un buen número de especies, especialmente de peces.

Los ciclos biológicos de los peces de las aguas dulces incluyen movimientos periódicos a lo largo del río, de distinta magnitud en función de la especie de que se trate, relacionados con la búsqueda de alimento, búsqueda de refugio y, sobre todo, con la reproducción. Además, existen otros movimientos, de dispersión, que generalmente se realizan aguas abajo mediante deriva.

En la última década se ha avanzado mucho en el conocimiento de los impactos que las presas tienen en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales, por lo que en la actualidad se puede hacer un análisis objetivo de los costes ecológicos y económicos que las presas producen frente a los beneficios que suponen en relación con el control de avenidas, abastecimientos, producción hidroeléctrica, regadíos, etc.

Muchos de los objetivos para los que una presa se construye pueden obtenerse actualmente sin necesidad de las mismas, por ejemplo la capacidad de laminación de un embalse y, consecuentemente, el control de avenidas puede realizarse de manera más efectiva y más barata recuperando humedales aluviales, es decir, las llanuras de inundación que han sido irresponsablemente desconectadas de los ríos, manteniendo los bosques de ribera y favoreciendo la recolocación de actividades fuera de la llanura de inundación. La modernización de los sistemas de regadío reduce significativamente la necesidad de agua y es más económica que la construcción de una gran presa, etc ...

Como consecuencia de la revisión de los derechos de agua ó concesiones anteriores a la Ley de aguas de 1985, e incluso de algunos posteriores, se está viendo que numerosos aprovechamientos han caído en desuso o bien, sencillamente, se usan de otra manera. En el primero de los casos, la consecuencia es la extinción del derecho, al haber transcurrido más de tres años sin que tenga lugar el aprovechamiento. En este caso, las obras de toma que se encuentren en el dominio

público hidráulico revierten a los Organismos de cuenca, tal y como se establece reglamentariamente. Cientos de estas estructuras se van a encontrar sin “propietario”, de tal forma que la responsabilidad de lo que con ellas ocurra y de sus efectos recae directamente en las Confederaciones Hidrográficas (en cuencas intercomunitarias) o en los Organismos de cuenca autonómicos (en el caso de cuencas intracomunitarias).

La eliminación es la medida más rentable en el caso de presas deterioradas o abandonadas. En la mayoría de las ocasiones, los costes que supone la eliminación son inferiores a los de reparación, e incluso en aquellos casos en que son comparables, la eliminación acaba con la necesidad de futuros costes de nuevas reparaciones.

Los beneficios de la eliminación de presas innecesarias son evidentes:

- Recuperación del régimen natural, lo que favorece significativamente la biodiversidad. Existen numerosas citas en la literatura científica donde el número de especies acuáticas presentes se ha llegado a duplicar después de la eliminación de una presa.
- En función del tamaño de la presa, recuperación de la llanura de inundación y los humedales adyacentes
- Mejora la calidad del agua por reducción del tiempo de retención hidráulica, especialmente cuando el vaso de la presa eliminada estaba colmatado de sedimentos y con presencia de elevadas concentraciones de nutrientes, que producen fenómenos de eutrofización y, dependiendo del tamaño y la profundidad del embalse, incluso fenómenos de estratificación
- Redistribución de los sedimentos y favorecimiento del transporte y la deposición de caudales sólidos, mejorando la dinámica fluvial y la renovación de hábitats
- Mejora de la distribución de nutrientes y, por tanto, de la capacidad de autodepuración del río.
- Recuperación de la conectividad longitudinal, posibilitando los movimientos migratorios de peces y otros organismos.

En la actualidad, la eliminación de presas que han perdido su función es considerada como una de las herramientas más eficaces para la recuperación de la calidad ecológica de un río a medio-largo plazo y se está llevando a cabo de manera

sistemática en muchos de los países que se encuentran más avanzados en estas cuestiones. Quizá el ejemplo más paradigmático sea el de EE.UU. donde se han eliminado cientos de ellas, incluyendo grandes presas, y donde se están realizando numerosos seguimientos de las repercusiones que la eliminación de obstáculos transversales tiene en la dinámica de los ecosistemas fluviales.

2.- NORMATIVA

La Directiva 2000/60/CE, de 18 de julio, del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, más conocida como “Directiva Marco del Agua”, exige a las administraciones competentes en materia de aguas y ecosistemas acuáticos de cada Estado miembro el cumplimiento de los denominados *objetivos medioambientales* (art. 4). La transposición a nuestro ordenamiento jurídico de la citada Directiva también recoge este mandato. A continuación se resaltan algunas de las referencias normativas estatales actualmente en vigor en relación con la consecución de los objetivos medioambientales en las masas de agua superficiales:

- Prevenir el deterioro, proteger y mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos, así como de los ecosistemas terrestres y humedales que dependan de modo directo de los acuáticos en relación con sus necesidades de agua, se encuentra entre los objetivos de protección de la calidad de las aguas y del dominio público hidráulico. (*artículo 92 del Texto Refundido de la Ley de Aguas*).
- Prevenir el deterioro del estado de las masas de agua superficiales (*Art. 35.a) a’) del Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica*).
- Proteger, mejorar y regenerar todas las masas de agua superficial, con el objeto de alcanzar un buen estado de las mismas. (*Art. 35.a) b’) del Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica*)

Por otra parte, las intervenciones para la mejora de la conectividad fluvial se encuentran dentro de las funciones que corresponden a los Organismos de cuenca según establece el artículo 23.1, apartados “..b) *La administración y control del dominio público y hidráulico...*” y “...d) *El proyecto, la construcción y explotación de las*

obras realizadas con cargo a los fondos propios del Organismo, y las que les sean encomendadas por el Estado...”, del Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio (TRLA) y, en concreto, dentro del “Programa de Actuaciones de Mantenimiento y Conservación de Cauces” de la Confederación Hidrográfica del Duero, dentro del “Subprograma 3: Recuperación y mejora de la continuidad longitudinal de los cauces”, el cual se desarrolla en aplicación de lo establecido en el artículo 4.k) del R.D. 984/1989, de 28 de julio, en el que asigna a las Comisarías de Aguas, entre otras, las funciones relativas a “... las obras de mera conservación de los cauces públicos...”.

De acuerdo con lo señalado en el Art. 53.4 del TRLA “(...) Al extinguirse el derecho concesional, revertirán a la Administración competente gratuitamente y libres de cargas cuantas obras hubieran sido construidas dentro del dominio público hidráulico para la explotación del aprovechamiento, sin perjuicio del cumplimiento de las condiciones estipuladas en el documento concesional...”. También la Ley 33/2003, de Patrimonio de las Administraciones Públicas, establece en su artículo 101.1 que “cuando se extinga la concesión, las obras, construcciones e instalaciones fijas existentes sobre el bien demanial **deberán ser demolidas** por el titular de la concesión o, **por ejecución subsidiaria, por la Administración....**”. Así pues, su demolición responde a una obligación legal de la Administración.

Las barreras transversales están incluidas dentro de las presiones generadas por la actividad humana a considerar en la aplicación de la Directiva 2000/60/CE, conocida como la Directiva Marco del Agua, que señala en su artículo 8 que “la continuidad fluvial”, entendida como la “no perturbación de la migración de los organismos acuáticos”, es uno de los indicadores hidromorfológicos que deben utilizarse en los programas de seguimiento del estado de las aguas superficiales.

Por último, la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad en su artículo 20 señala que “...Las Administraciones Públicas preverán, en su planificación ambiental o en los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales, mecanismos para lograr la conectividad ecológica del territorio, estableciendo o restableciendo corredores, en particular entre los espacios protegidos Red Natura 2000 y entre aquellos espacios naturales de singular relevancia para la biodiversidad. Para ello se otorgará un papel prioritario a los cursos fluviales, las vías pecuarias, las áreas de montaña y otros elementos del territorio, lineales y continuos, o

que actúan como puntos de enlace, con independencia de que tengan la condición de espacios naturales protegidos...”.

3.- ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE OBSTÁCULOS TRANSVERSALES EN LA CUENCA DEL DUERO.

Partiendo de la base de azudes en la cuenca del Duero, realizada por la Guardería Fluvial de la Confederación Hidrográfica del Duero y digitalizada en 2008, se procedió a su revisión y actualización, completando la información contenida en la misma y efectuando las mediciones necesarias para la evaluación de la franqueabilidad. Esta revisión en el campo de los 2894 azudes incluidos en la base puso de manifiesto que faltaba en la misma un porcentaje significativo, por lo que se fijó como objetivo inicial del presente pliego completar y actualizar la citada base.

Como consecuencia de dichos trabajos de actualización, se han inventariado un total de 3539 azudes, de los cuales 556 corresponden a nuevas incorporaciones a la base, lo que supone un 19.21% más de los incluidos en la base inicial (ver anexo I, que incluye también las capas GIS correspondientes).

De los 2894 incluidos en la base inicial no se han incluido 90 (3.1%) por distintos motivos: duplicidad en la base (12), no constituir obstáculo por haber sido eliminados o ser restos de antiguos azudes que en la actualidad no constituyen obstáculos (29), por no haber sido localizados en el emplazamiento señalado (36), o por estar en el interior de fincas privadas a las que no se obtuvo acceso (12).

En el anexo II se recoge la relación de los mismos.

4.- EVALUACION DE LA FRANQUEABILIDAD

4.1.- CRITERIOS

La franqueabilidad de un obstáculo transversal a una corriente hay que analizarla de acuerdo con los requerimientos y posibilidades de paso de cada una de las especies presentes en doble sentido, y no solo aguas arriba, como comúnmente se

piensa; de ahí que convenga distinguir entre una franqueabilidad en ascenso y otra en descenso.

4.1.1 FRANQUEABILIDAD EN ASCENSO

La importancia de un obstáculo debe evaluarse por el número de peces que no consiguen franquearlo, y no por el de los que lo superan. En el caso de migraciones de reproducción, es importante garantizar el paso de todos los individuos que hayan alcanzado la madurez sexual. A este respecto hay que tener en cuenta que en algunas especies ibéricas (P.ej: barbos y bogas), los tamaños a los que se alcanza ésta pueden ser muy diferentes para cada sexo.

El tamaño del pez, dentro de una misma especie, está directamente relacionado con su velocidad máxima de natación y con su capacidad de salto, pero también con el tiempo durante el que es capaz de mantener dicha velocidad. Todas estas variables aumentan con el tamaño del pez. Este concepto resulta de la mayor importancia, puesto que un obstáculo puede ser sobrepasado por algunos de los individuos de mayor tamaño y dar la falsa impresión de ser franqueable para la especie en cuestión.

Por último, las condiciones fisiológicas del pez (enfermedades, estado reproductivo, estrés, etc.) pueden afectar significativamente a la capacidad de franqueo de obstáculos.

Para franquear un obstáculo, un pez ha de ser capaz de desarrollar una velocidad de natación superior a la del agua durante un tiempo suficiente para superar el obstáculo, o bien, en el caso de que éste no pueda ser sobrepasado nadando, ha de realizar un salto lo suficientemente alto y largo para evitarlo.

No es fácil establecer la franqueabilidad aguas arriba de un obstáculo, puesto que depende, además, de la capacidad de natación y salto de cada especie, de las características y geometría del obstáculo, del caudal y las condiciones hidrodinámicas y de la presencia de alternativas u otros sistemas de paso.

Los principales parámetros físicos que influyen en la franqueabilidad de un obstáculo (+ positivo, - negativo) son los siguientes:

Características-geométricas del obstáculo:

- altura del salto (-)
- pendiente y distancia de pie a coronación (-)
- Anchura del obstáculo en coronación (-)
- facilidad para llegar a pie de presa y llamada apropiada (+)
- presencia de cambios de pendiente (+)

Caudal y condiciones hidrodinámicas:

- caudal (+/-)
- presencia y profundidad de la poza a pie de obstáculo (+)
- turbulencias y configuración de los chorros de corriente (-)
- altura de la lámina de agua por encima de la presa (+)
- velocidad media de la corriente (+/-)
- temperatura del agua (+/-)

Ayudas al paso (escalas, cauces artificiales, ascensores ...) (+)

4.1.2 FRANQUEABILIDAD EN DESCENSO

El franqueo en descenso del obstáculo es igualmente importante, aunque tradicionalmente se le ha otorgado menor atención que al franqueo en ascenso. Además de los movimientos migratorios, también se ven afectados los movimientos de dispersión, lo que puede producir aislamiento de poblaciones y/o extinción aguas abajo de las zonas de reclutamiento.

1.- Paso por zonas embalsadas:

El problema que se presenta es la localización del obstáculo, ya que la corriente juega un importante papel de orientación del pez y, en muchas ocasiones, la corriente principal es la del canal de derivación. Mientras que en la migración en ascenso la corriente puede seguir siendo aprovechada para dirigir a los peces hacia la entrada de los dispositivos de paso (la denominada "llamada" de un paso), en el caso de la migración aguas abajo esta posibilidad desaparece con el embalse creado como consecuencia de una presa. La localización de la salida aguas abajo resulta menos difícil cuanto menor sea la capacidad de embalse y mayor la tasa de renovación del agua.

2.- Paso por aliviaderos

En ausencia de dispositivos de corrección, el paso en sí del obstáculo ha de realizarse, bien a través de vertederos en lámina libre o por orificios de fondo en el azud. En el primer caso, si la velocidad de impacto del pez sobre el plano del agua supera los 16 m/s, sea cual sea su talla, se producen daños o lesiones significativas.

3.- Paso por tomas de agua

Durante la migración de bajada pueden entrar en numerosos tipos de tomas de agua: centrales eléctricas, molinos, canales de riego, Las rejillas que se suelen instalar en las tomas de canal de derivación normalmente no evitan el acceso a las mismas a juveniles, por lo que, si es la zona de máxima velocidad, concentrará la mayor parte de la deriva.

Cualquiera de las anteriores variables puede hacer infranqueable un obstáculo, por lo que hay que realizar un análisis global de todos los factores para determinar la franqueabilidad del mismo.

Como resultado, se establecen 3 categorías de obstáculos transversales en función de la franqueabilidad, tanto para migraciones ascendentes como descendentes, y para cada uno de los grupos de especies de peces que se consideren:

- 1.- Franqueable: las características del obstáculo y condiciones hidrodinámicas permiten con facilidad el paso de peces.
- 2.- Variable: cuando, sin ser imposible su franqueo, éste depende en gran medida de condiciones de caudal muy favorables, tanto en lo referente al propio obstáculo como para otros dispositivos de franqueo (escalas, etc.)
- 3.- Infranqueable: imposible su paso

Para facilitar el análisis, las especies de peces presentes se pueden agrupar según sus requerimientos migratorios y sus posibilidades para superar obstáculos.

Se han agrupado las especies de peces presentes en la parte española de la cuenca del Duero en seis grupos, según su comportamiento a la hora de realizar movimientos migratorios y su capacidad para franquear un obstáculo. Esta última depende, como ya se ha señalado, de dos factores intrínsecos a la especie: la capacidad de natación y la capacidad de salto. Además, se hace mención al estado de conservación de las especies a nivel nacional, empleando las categorías de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN, versión 3.1 (UICN, 2001): En Peligro (EN) y Vulnerable (VU). Los endemismos ibéricos están marcados con un asterisco (*).

Grupo 1.- Salmónidos: Potamodromos. Son muy buenos nadadores y poseen una gran capacidad de salto. Pueden franquear obstáculos de hasta un metro de altura. Realizan migraciones durante fin de otoño e invierno hacia las zonas más altas de los ríos. Dispersión de alevines por deriva.

- Trucha común (*Salmo trutta*)
- Salvelino (*Salvelinus fontinalis*)
- Hucho (*Hucho hucho*)
- Salmón plateado (*Oncorhynchus kisutch*)
- Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

Excepto la trucha común, que es el único salmónido autóctono de la cuenca del Duero, la distribución del resto de especies es muy puntual.

Grupo 2.- Ciprínidos migradores: Potamodromos. Se trata de las especies de ciprínidos que efectúan migraciones prerreproductoras de mayor rango, remontando los cursos fluviales hasta tramos altos donde realizar la freza, en cardúmenes numerosos. Son buenos nadadores y con capacidad moderada de superar obstáculos, aunque ésta está muy condicionada por el tamaño del pez. En muchas ocasiones el tamaño está condicionado por el sexo del ejemplar, puesto que generalmente los machos alcanzan la madurez sexual antes que las hembras y, por lo tanto, el tamaño de los machos reproductores es menor, lo que se debe tener especialmente en cuenta a la hora de evaluar las condiciones de franqueo. Migraciones reproductivas durante fin de la primavera y verano. Descenso de adultos a zonas de invernada a mediados de otoño.

- Barbo del Duero (*Barbus bocagei*)*
- Boga del Duero (*Pseudochondrostoma duriense*)* VU
- Bordallo (*Squalius carolitertii*)* VU

Grupo 3.- Pequeños ciprínidos migradores: Potamodromos, migradores de rango corto que realizan pequeños movimientos prerreproductivos. Con una talla que rara vez supera los 15 cm, tienen grandes limitaciones para superar obstáculos, ya que su capacidad de salto es muy limitada. Migraciones durante fin de la primavera y verano.

- Gobio (*Gobio lozanoi*) (VU)
- Calandino (*Squalius alburnoides*)* (VU)
- Sarda (*Achondrostoma salmantinum*)* (EN)
- Bermejuela (*Achondrostoma arcasii*)* (VU)
- Piscardo (*Phoxinus phoxinus*), en el Duero es introducida y en expansión.

Grupo 4.- Peces de aguas lentas: en general, son especies que ocupan el centro de la cuenca del Duero, tanto los cursos fluviales y embalses como otras masas de agua como lagunas y estanques de la meseta norte, donde predominan las aguas cálidas y de corriente muy lenta. La mayoría también prefiere aguas con abundante vegetación y, además, son tolerantes a la contaminación y a bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Su capacidad de salto es, en general, prácticamente nula.

- Carpa (*Cyprinus carpio*)
- Carpín (*Carassius auratus*)
- Tenca (*Tinca tinca*)

Grupo 5.- Peces bentónicos: Se les considera sedentarios. Son especies de pequeño tamaño y muy ligadas al fondo, que no realizan movimientos prerreproductivos o, si los hacen, es a muy pequeña escala (elección de microhábitat). Su capacidad de salto es nula.

- Lamprehuela (*Cobitis calderoni*)* (VU)
- Colmilleja (*Cobitis palúdica*)* (VU)
- Colmilleja del Alagón (*Cobitis vettonica*)* (EN)
- Pez Lobo (*Barbatula quignardi*) (VU), en el Duero es introducida y en expansión.

Grupo 6.- Anguilas: única especie catádroma, No poseen capacidad de salto, pero son capaces de superar obstáculos por reptación y recorrer pequeñas distancias en suelos húmedos fuera del agua. La ausencia de sustratos rugosos y de estos ambientes húmedos provoca que las capacidades de franqueo de este pez puedan ser bloqueadas con facilidad.

- Anguila (*Anguilla anguilla*)

No se incluyen aquellas especies introducidas a las que, por su carácter invasor, no debe facilitarse su expansión. Por lo tanto, no se evaluará la permeabilidad de los obstáculos para estas especies aunque algunas, como lucios y luciopercas realizan migraciones prerreproductivas que, en ocasiones, pueden alcanzar los 20 Km.

- Lucio (*Esox lucius*)
- Alburno (*Alburnus alburnus*)
- Gambusia (*Gambusia holbrooki*)
- Pez gato (*Ameiurus melas*)
- Black bass (*Micropterus salmoides*)
- Percasol (*Lepomis gibbosus*)
- Lucioperca (*Sander lucioperca*)

4.2.- PROCEDIMIENTO

De acuerdo con los criterios expuestos, se procedió a la evaluación de la franqueabilidad para cada uno de los 6 grupos de peces considerados, tanto en ascenso como en descenso, en cada uno de los azudes inventariados

Para ello se tomaron medidas de altura total del azud (h), altura entre láminas (d.l.), profundidad de la poza de remonte (p) y distancia de pie a coronación (d.c.) (Figura 1) y se valoraron el resto de las variables que intervienen en la franqueabilidad, tanto en ascenso como en descenso para cada grupo considerado, mediante criterio de experto (Tablas 1 y 2).

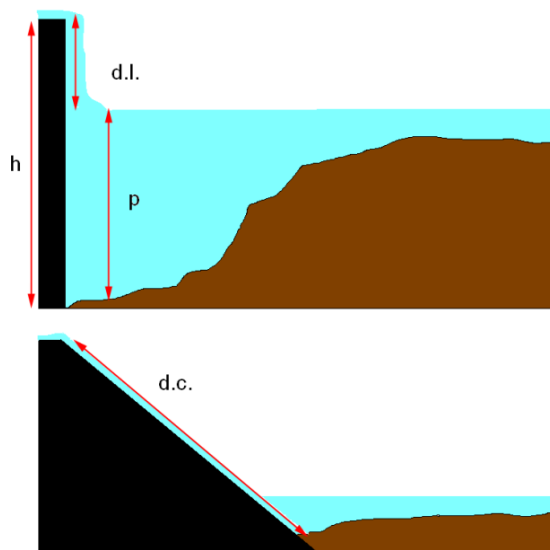


Figura 1.- Medidas tomadas en cada azud

			T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6
EN ASCENSO	Características y geometría del obstáculo	Altura del salto(h) (vertical)	1 m	0,5 m	0,2 m	0,1m	0,1 m	0,2 m
		Altura no vertical	0.5 m	0.3 m	0.2 m	0 m	0 m	cualquiera
		Facilidad acceso y llamada	+++	+++	+			
		Presencia de cambios de pendiente	+	++	+++			+
	Condiciones hidrodinámicas	Profundidad de la poza de remonte	1.25h	1.4h	1.4h			cualquiera
		Condiciones de turbulencia	-	--	---			-
		Altura lámina de agua en coronación	0,15	0,15	0.10			cualquiera
		Anchura en coronación	0.5	0.5	0.5			cualquiera
		Velocidad máxima de la corriente	2	1.2	0.4			2

Tabla 1.- Cuadro de valoración de franqueabilidad en ascenso para cada grupo de peces considerado

Como resultado se ha obtenido una matriz con doce columnas de datos, correspondientes a la franqueabilidad en ascenso y en descenso de cada uno de los grupos y tipos considerados.

FRANQUEABILIDAD

				Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
ASCENSO	Características y geometría del obstáculo	Altura del salto (distancia entre láminas) (1)	m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Distancia de pie a coronación (1)	m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Facilidad de acceso a pie de presa (1)	si/no	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Llamada (1)	si/no	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Presencia de cambios de pendiente (1)	si/no	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Condiciones hidrodinámicas	Profundidad de la poza de remonte (1)	m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Condiciones de turbulencia (1)	si/no	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Espesor lámina de agua por encima presa (1)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Velocidad media de la corriente (1)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Otros medios	Escalas, cauces artificiales, aliviaderos ... (1)	si/no	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Fracturas, grietas, ... (1)(2) ...		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Observaciones

				Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
DESCENSO	Longitud aproximada de zona embalsada (1)		m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Facilidad de identificación de salida (1)		si/no	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Tomas de agua	Rejilla (1)	si/no	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Turbinas	si/no	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Características aliviaderos y altura caída (2)			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Observaciones

- (1) Marcar si desfavorable
 (2) Especificar

		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
En ascenso	Franqueable						
	Variable						
	Infranqueable						
En descenso	Franqueable						
	Variable						
	Infranqueable						

Tabla 2.- Ficha de valoración de la franqueabilidad.

5.- DISEÑO DE ÍNDICES.

5.1.- ÍNDICE DE FRANQUEABILIDAD

La matriz resultante es poco práctica a efectos de utilización, por lo que se ha diseñado un índice de franqueabilidad que recoja esta información y permita su manejo de manera sencilla.

Para ello se ha asignado el valor 10 a la infranqueabilidad para un determinado grupo de especies, 5 cuando es variable (depende de las condiciones de caudal) y 0 en el caso de ser franqueable. El índice de franqueabilidad (IF) se define como el sumatorio de los valores de franqueabilidad en ascenso y descenso para cada uno de los grupos considerados.

Para su aplicación en la cuenca del Duero se ha desechado finalmente el grupo 6, anguilas, pues su distribución en la cuenca del Duero es muy escasa y procedente de repoblaciones y, como se verá posteriormente, distorsiona mucho los resultados de la aplicación de otros índices desarrollados.

El IF varía entre 0 y 100, siendo 0 cuando un obstáculo transversal es franqueable para todos los grupos de especies y 100 en el caso de ser infranqueable para todos ellos.

5.2.- ÍNDICE DE COMPARTIMENTACIÓN

Para analizar el grado de compartimentación o fragmentación de un curso fluvial, una cuenca, una masa de agua o un tramo determinado, el índice propuesto se relaciona el índice de franqueabilidad medio ($\sum IF/N$) del tramo analizado y la distancia media entre azudes (L_T/N). A mayor valor del índice mayor grado de compartimentación.

$$IC = \frac{\frac{\sum IF}{N}}{\frac{L_T}{N}} = \frac{\sum IF}{L_T}$$

L_T = Longitud de curso de agua considerado

N = Número obstáculos transversales existentes

$\sum IF$ = Suma de los índices de franqueabilidad de los azudes existentes.

5.3.- ÍNDICE DE CONTINUIDAD LONGITUDINAL

La continuidad longitudinal de un curso fluvial o una cuenca vendrá determinada por la fragmentación de la cuenca y el grado de impacto que esta produzca sobre la comunidad de peces existente, por lo que es necesario introducir un nuevo parámetro que evalúe este grado de afectación, denominado *coeficiente de prioridad para las especies presentes* (k_i)

Este factor ha sido desarrollado a partir del propuesto por Pini Prato (2007) para ríos italianos, y modificado para que se adapte a las características de la ictiofauna ibérica.

$$k_i = N \times (M_{ov} + V_n)^2$$

Donde :

N = Naturalidad. Prioriza a las especies autóctonas de la cuenca frente a las introducidas y las invasoras.

Especies endémicas o autóctonas	1
Especies introducidas	0.5
Especies invasoras	0

Mov = Movilidad, capacidad de realizar migraciones.

Especies diadromas	5
Especies con fuertes exigencias migratorias	4
Especies sin grandes exigencias migratorias	3
Especies con movimientos migratorios reducidos o sedentarias	2
Especies euralinas	1

Vn = Vulnerabilidad, En función de las categorías establecidas en la lista roja de la UICN.

Especies en peligro	2
Especies vulnerables	1,5
Especies sin catalogar	1

ESPECIES	N	Mov	Vn	ki
Anguilla anguilla (CR)	1	5	2	49
Salmo trutta	1	4	1	25
Salvelinus fontinalis	0.5	4	1	12,5
Hucho hucho	0.5	4	1	12,5
Oncorhynchus kisutch	0.5	4	1	12,5
Oncorhynchus mykiss	0.5	4	1	12,5
Barbus bocagei	1	4	1	25
Pseudochondrostoma duriense VU	1	4	1.5	30,25
Squalius carolitertii VU	1	4	1.5	30,25
Gobio lozanoi (VU)	1	2	1.5	12,25
Squalius alburnoides (VU)	1	3	1.5	20,25
Achondrostoma salmantinum (EN)	1	3	2	25
Achondrostoma arcasii (VU)	1	3	1.5	20,25
Phoxinus phoxinus	0.5	2	1	4,5
Cyprinus carpio	0.5	2	1	4,5
Carassius auratus	0.5	2	1	4,5
Tinca tinca	0.5	2	1	4,5
Esox lucius	0	2	1	0
Alburnus alburnus	0	2	1	0
Gambusia holbrooki	0	2	1	0
Ameiurus melas	0	2	1	0
Micropterus salmoides	0.5	2	1	4,5
Lepomis gibbosus	0	2	1	0
Sander lucioperca	0	2	1	0
Cobitis calderoni (VU)	1	2	1.5	12,25
Cobitis paludica (VU)	1	2	1.5	12,25
Cobitis vettonica (EN)	1	2	2	16
Barbatula quignardi (VU)	0.5	2	1.5	6,12

Tabla 3: k_i para las diferentes especies presentes en la cuenca del Duero.

El índice de conectividad longitudinal (ICL) por tanto, se construye a partir de la siguiente expresión:

$$ICL = IC \times \sum k_i$$

A mayor valor del índice, mayor fragmentación y mayor afección a la comunidad de peces existente.

5.4.- ÍNDICE DE PRIORIDAD DE ACTUACIÓN

Para facilitar la toma de decisiones a la hora de intervenir sobre los azudes de un cauce, tramo o masa de agua concreta, se ha diseñado un *índice de prioridad de intervención (IPA)*, tomando como base el índice de prioridad de Pini Prato (2007) pero considerando 8 factores en lugar de 3, con el objetivo de acotar y facilitar la selección del azud sobre el que actuar.

El resultado final del índice se obtiene de la suma ponderada de los valores de los ocho parámetros considerados, que toman valores de 0 a 100 puntos, y que son los siguientes:

- Factor morfológico (M)
- Factor íctico (I)
- Índice de franqueabilidad (IF)
- Nivel de protección (P)
- Presencia de especies invasoras (Ei)
- Abandono (A)
- Sequía provocada por el azud (S)
- Estiaje severo (ES)

$$IPA = \frac{1}{8} \times [(M \times 0,12) + (I \times 0,12) + (IF \times 0,15) + (Ei \times 0,10) + (P \times 0,03) + (A \times 0,08) + (S \times 0,10) + (ES \times 0,10)]$$

El resultado final asigna un valor a cada obstáculo transversal del tramo analizado, siendo prioritaria la actuación (eliminación o construcción de infraestructuras de franqueo) en aquel que presente el valor más alto.

1. Factor morfológico (M)

Considera la longitud de las aguas libres de obstáculos transversales aguas arriba y aguas abajo del azud analizado. Penaliza aquellos tramos que tengan una distancia libre de azudes menor.

$$M = \frac{L_{arriba} + L_{abajo}}{L_t} \times 100$$

Donde L_t = Longitud total del río

L_{arriba} = Longitud de las aguas libres por encima del azud

L_{abajo} = Longitud de las aguas libres por debajo del azud

2. Factor íctico (I)

Este factor tiene en cuenta las especies presentes en el tramo del azud frente a las presentes en la totalidad del tramo analizado.

$$I = \frac{Sk_i}{Sk_T} \times 100$$

Donde: Sk_i = Suma de los coeficientes de prioridad de las especies (k_i) presentes en el tramo del azud en cuestión.

Sk_T = Suma de los coeficientes de prioridad de las especies (k_i) presentes en el río, tramo, masa de agua o cuenca donde se encuentra el azud.

3.-Índice de franqueabilidad (IF)

Valor del índice de franqueabilidad para ese obstáculo.

4.- Protección (P)

Considera los criterios de protección y ordenación en materia ambiental vigentes. Se han seleccionado tres niveles: reservas fluviales, lugares de interés comunitario (LIC) de ribera y Espacios protegidos

$$P = F_{RESERVA FLUVIAL} + F_{LIC} + F_{ESPACIOS PROTEGIDOS}$$

donde

$F_{Reserva Fluvial}$:	50 si el tramo en que está el azud es Reserva Fluvial 0 si el tramo en que está el azud no es Reserva Fluvial
F_{LIC} :	25 si el tramo en que está el azud es LIC de ribera 0 si el tramo en que está el azud no es LIC de ribera
$F_{ESPACIOS PROTEGIDOS}$:	25 si el tramo en que está el azud está en un espacio protegido (Parque Nacional, Regional, etc.) 0 si el tramo en que está el azud no tiene figuras de protección

5.- Especies invasoras (Ei)

Prioriza las zonas que no tienen especies invasoras. Puede darse el caso de que algunos azudes deban mantenerse como barreras a la expansión de estas especies.

100, si el tramo del azud no tiene especies invasoras

0, si el tramo del azud tiene especies invasoras

6.- Abandono (A)

Prioriza los azudes abandonados o con concesión caducada.

100 si el azud está abandonado o ha caducado la concesión

0 si no está abandonado

7.- Sequía provocada por el azud (S)

Penaliza los azudes que agotan el caudal circulante en alguna época del año.

100 si el azud provoca sequia aguas abajo

0 si no lo hace

8.- Estiaje Severo (Es)

Prioriza la actuación en los tramos de río que no sufren estiajes severos.

0 si el tramo del río tiene estiaje severo que llegue a secar el cauce

100 en caso contrario.

6.- EJEMPLO DE APLICACIÓN: INDICE DE PRIORIDAD DE ACTUACIÓN EN LA CUENCA DEL ÓRBIGO:

Como ejemplo de la aplicación de los índices desarrollados para la toma de decisiones se ha tomado como modelo la cuenca del Órbigo, por estar incluida en el Plan Nacional de Restauración de Ríos. Los procesos de cálculo y resultados, así como su representación en GIS se incluyen en el Anexo III

7.- BIBLIOGRAFIA

American Rivers (2002). The ecology of dam removal. 17 pp

Bednarek, A.T. (2001) Undamming rivers: A review of the ecological impacts of dam removal. Environmental Management, 27 (6): 803 – 814.

Bonham, C. H. (2008). A recipe from the field for dam removal agreements. 26th Annual Water Law Conference. San Diego, CA. 13 pp.

Braatne, J.H; Rood, S.B.; Goater L.A. & C. L. Blair (2008) Analyzing the impacts of dams on riparian ecosystems: a review of research strategies and their

- relevance to the Snake River through Hells Canyon. *Environmental Management* (2008) 41:267–281
- Elvira, B., et al. (1998) *Sistemas de paso para peces en presas*. CEDEX. Ministerio de Fomento. 113 pp.
- Galat, D. L. & I. Zweimüller (2001). Conserving large-river fishes: is the highway analogy an appropriate paradigm? *J. N. Am. Benthol. Soc.* 20(2): 266 – 279.
- Guenther C.B.& A. Spacie (2006) Changes in Fish Assemblage Structure Upstream of Impoundments within the Upper Wabash River Basin, Indiana *Transactions of the American Fisheries Society* 135:570–583
- Hilderbrand, R.H & J.L. Kershner. (2000) Conserving Inland Cutthroat Trout in Small Streams: How Much Stream is Enough? *North American Journal of Fisheries Management* 20:513–520
- Hoffert-Hay, D. 2008. *Small dam removal in Oregon. A guide for project managers*. OWEB. 79 pp.
- Kondolf, G. M., et al. 2006. Process-based ecological river restoration: visualizing three-dimensional connectivity and dynamic vectors to recover lost linkages. *Ecology and Society* 11(2):5 <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art5/>.
- Larinier, M. (2002) Biological factors to be taken into account in the desing of fishways, the concept of obstructions to upstream migration. *Bull Fr. Pêche Piscic.* 364 spl.: 28-38
- Morita K. & A. Yokota (2002) Population viability of stream-resident salmonids after habitat fragmentation: a case study with white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) by an individual based model *Ecological Modelling* 155: 85–94
- Nilsson C & K. Berggren (2000). Alteration of riparian ecosystems caused by river regulation. *BioScience* 50: 783–792
- Ordeix, M.; Pou, Q. & N. Sellares (2006). *Avaluació de la connectivitat per als peixos als rius de Catalunya*. Agencia Catalana de l'Aigua. 274 pp.
- Ovidio, M., Capra, H. & J.C. Philippart (2007). Field protocol for assessing small obstacles to migration of brown trout *Salmo trutta* and European grayling

Thymallus thymallus: a contribution to the management of free movement in rivers. *Fisheries Management and Ecology*, 14: 41-50.

Pini Prato, E. (2007) Descrittori per interventi di ripristino della continuità fluviale: Indici di priorità di intervento. *Biologia Ambientale*, 21(1): 9-16.

Roni, P. (Ed.) (2005). *Monitoring Stream and Watershed Restoration*. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland, USA. 350 pp.

Rosenfeld, J. (2003) Assessing the Habitat Requirements of Stream Fishes: An Overview and Evaluation of Different Approaches Transactions of the American Fisheries Society 132: 953–968

Schilt, C. R. (2007) Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behavior Science*, 104: 295-325.

Schultz, D.W.; Garvey, J.E. & R.C. Brooks (2007) Backwater Immigration by Fishes through a Water Control Structure: Implications for Connectivity and Restoration. *N. Amer. J. Fish. Mngmt.* 27:172–180.

Wissmar, R.C. & P.A. Bisson (Ed.). (2003). *Strategies for restoring river ecosystems. Sources of variability and uncertainty in natural and managed systems*. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland, USA. 276 pp.