

PLAN HIDROLÓGICO DE LA PARTE ESPAÑOLA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO

Revisión de tercer ciclo (2022-2027)

ANEJO 5 Caudales ecológicos

Diciembre 2022

Confederación Hidrográfica del Tajo O.A.



ÍNDICE

1	Introducción y base normativa	4
2	Antecedentes	5
3	Metodología para la caracterización del régimen de caudales ecológicos.	9
3.1	Distribución temporal de caudales mínimos.....	9
3.1.1	Métodos hidrológicos.....	9
3.1.2	Métodos hidrobiológicos	11
3.1.3	Variación intraanual: el factor de variación	20
3.1.4	Criterios utilizados para la caracterización de cada masa	21
3.1.5	Régimen de caudales ecológicos en ríos temporales, intermitentes o efímeros	23
3.1.6	Criterios para la fijación de umbrales que caractericen el cumplimiento del régimen de caudales ecológicos mínimos.....	24
3.1.7	Régimen en sequías prolongadas.....	27
3.1.8	Caudales mínimos en tramos de río entre la toma de un uso no consuntivo y su restitución al cauce.	28
3.2	Caudales generadores.....	28
3.2.1	Caracterización.....	28
3.2.2	Consideraciones sobre su aplicación.....	29
3.3	Distribución temporal de caudales máximos.....	30
3.3.1	Introducción	30
3.3.2	Metodología empleada en los estudios realizados en el primer ciclo de planificación.....	30
3.4	Tasas de cambio horarias	36
3.5	Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas	37
4	Resultados.....	39

Apéndice 1 . Régimen de caudales ecológicos

Apéndice 2. Valores de apoyo y criterios

Apéndice 3 .Umbrales de magnitud de fallos en el caudal ecológico mínimo.

Índice de tablas

Tabla 1. Masas estratégicas y puntos de control considerados en el plan hidrológico 2009-2015....	6
Tabla 2. Especies y curvas de preferencia en la cuenca del Tajo	14
Tabla 3. Comparación numérica de las masas de agua superficial atendiendo a su temporalidad entre el primer ciclo de planificación y la propuesta del tercero.....	24
Tabla 4. Intervalos limitantes de velocidad máxima propuestas en la IPH.....	31
Tabla 5. Caracterización de tramos.....	34
Tabla 6. Tiempo mínimo de escalones en rama ascendente	37
Tabla 7. Tiempo mínimo de escalones en rama descendente	37

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de masas estratégicas y puntos de control considerados en el plan hidrológico 2009-2015.....	6
Figura 2. Toma de datos cauce mediante estación total y ecosonda acoplada a embarcación	12
Figura 3. Curvas utilizadas en las simulaciones.....	17
Figura 4. Ejemplo Curvas HPU/Q para un río modelo.....	19
Figura 5. Ejemplo Curvas HPU/Q para otro cauce modelo	19
Figura 6. Comparación gráfica del número de masas de agua superficiales atendiendo a su temporalidad entre el primer ciclo de planificación y la propuesta del tercero.	24
Figura 7. Mapa de las masas de agua superficial vinculadas con espacios de la Red Natura 2000 que presentan hábitats o especies acuáticas.	28
Figura 8. Tramo de simulación en el río Sorbe.....	32
Figura 9. Gráfica de anchura de paso caudal par tramo unidimensional	33
Figura 10. Análisis de la conectividad mediante métodos bidimensionales.....	34
Figura 11. Verificación según estadios de las especies de estudio el cumplimiento de las condiciones de refugio y conectividad	35

1 INTRODUCCIÓN Y BASE NORMATIVA

La Directiva 2000/60 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas europea (DMA), introduce la obligación de realizar un complejo proceso de planificación hidrológica en todas las cuencas europeas, y regula los objetivos y características del mismo. Esta directiva europea hace referencia a “caudales e hidrodinámica del flujo de las aguas” como indicador hidromorfológico, que afecta a los indicadores biológicos, dentro de los indicadores de calidad, para establecer el estado ecológico en los ríos.

El Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA; Real Decreto Legislativo 1/2001), en su Artículo 59 apartado 7, indica *“Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso a efectos de lo previsto en este artículo y siguientes, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en el párrafo final del apartado 3 del artículo 60. Los caudales ecológicos se fijarán en los Planes Hidrológicos de cuenca. Para su establecimiento, los organismos de cuenca realizarán estudios específicos para cada tramo de río”*.

En el Artículo 98 del TRLA se manifiesta *“Los Organismos de cuenca, en las concesiones y autorizaciones que otorguen, adoptarán las medidas necesarias para hacer compatible el aprovechamiento con el respeto del medio ambiente y garantizar los caudales ecológicos o demandas ambientales previstas en la planificación hidrológica”*.

El caudal ecológico se define en el Artículo 3 del Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH; RD 907/2007) como el *“caudal que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera”*. El RPH, además de recoger los requisitos del TRLA, determina en el Artículo 18 las pautas para establecer el régimen de caudales ecológicos en los planes hidrológicos.

Tal como se establece en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH; Orden ARM/2656/2008) –apartado 3.4– en el presente anejo se muestra una síntesis de los estudios realizados para la caracterización de unos caudales ecológicos que permitan atender a los requerimientos anteriormente expuestos del TRLA. En el punto 3.4 de la IPH, se indica que el establecimiento del régimen de caudales ecológicos se realizará mediante un proceso que se desarrollará en tres fases:

- a) Desarrollo de estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos.
- b) Proceso de concertación.
- c) Proceso de implantación y seguimiento adaptativo.

2 ANTECEDENTES

El plan de cuenca del primer ciclo de planificación incluía, en su anejo 5, conforme a los requerimientos de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), una caracterización del régimen de caudales ecológicos mínimos en todas masas de agua de categoría río, permanentes y no permanentes, con datos de caudales a final de masa. También incluyó en el anejo 5, conforme a la metodología de la IPH, los resultados de la aplicación de métodos hidrobiológicos y caudales hidrológicos en una selección cuidadosamente justificada de tramos.

En cuanto al resto de las características que conforman el régimen de caudales ecológicos, se obtuvo el régimen de avenidas y tasas de cambio para la totalidad de las 309 masas de agua superficial entonces vigentes, y la metodología de caudales máximos se restringió a aquellos tramos situados bajo elementos de regulación.

Con el fin de facilitar la gestión de la Demarcación, se seleccionaron 20 tramos estratégicos en toda la cuenca, denominados de esta forma porque la implantación y el control a lo largo del tiempo de los caudales ecológicos en estos tramos, repercute en la necesidad de mantener un régimen adecuado en buena parte de la cuenca del Tajo. Los criterios de selección de la red estratégica fueron:

- Pertenencia a la red principal / afluentes importantes, ya que, controlando los caudales ecológicos en el eje y afluentes principales, se controlarán las masas de agua más relevantes de la cuenca con presiones significativas.
- Masas con importantes elementos de regulación, ya que, si los tramos no tienen infraestructuras de regulación, teóricamente, los problemas serán menores y la capacidad de incidir en su resolución también será menor.
- Vinculación con zonas protegidas (Red Natura 2000)
- Necesidad de aplicar las sentencias judiciales y los condicionados concesionales, como en el caso del río Cuervo, en el que una concesión exige un caudal ecológico mínimo que debe de circular por el cauce.
- Factibilidad de su seguimiento, al existir infraestructuras de control.

Para los tramos seleccionados y los criterios utilizados, se facilitó la siguiente tabla:

CODIGO	RIO	INFR. REGULACION	JUSTIFICACION SELECCION				
			USOS INFRAESTRUCTURA DE REGULACION	RED PPAL/ AFLUENTES IMPORTANTES	ZONA PROTEGIDA	PTO CONTROL	PTOS ALTERNATIVOS DE CONTROL
0902021	ALAGON	Valdeobispo	Embalse para usos hidroeléctrico y riego	Afluente importante	LIC: "Ríos Alagón y Jerte"	EA-940	EA-940; E-39; MC-07
0502020	ALBERCHE	Cazalegas	Embalse para riego	Afluente importante		Provisional: MC04 - QAR 24	AR-24; MC-04; Futura EA
0802021	ARRAGO	Borbollón	Embalse para usos hidroeléctrico y riego	Afluente importante		AR-46	AR-46; E-41; EA-238
0321020	BORNOVA	Alcorio	Embalse para abastecimiento y riego		LIC: "Riviera del Henares"	E-09	E-09
0324020	CANAMARES	Palmaces	Embalse para riego		LIC: "Valle del río Cañamares"	E-08	E-08
0146020	CUERVO	La Tosca	Uso hidroeléctrico			---	---
0135010	GUADIELA	Molino de Chinchal	Uso hidroeléctrico		LIC: "Serranía de Cuenca"	E-02	E-02; AR-04
0425020	JARAMA	El Vado	Embalse para abastecimiento del Canal de Isabel II	Afluente importante	LIC: "sierra de Ayllón"	E-13	E-13; AR-16
0915020	JERTE	Plasencia	Embalse para riego y abastecimiento	Afluente importante	LIC: "Ríos Alagón y Jerte"	E-40	E-40; AR-43; EA-147
0444020	LOZOYA	El Atazar	Embalse para abastecimiento del Canal de Isabel II		LIC: "Cuencas de los ríos Jarama y Henares LIC y ZEPA "Sierra de Ayllón"	E-14	E-14; AR-16
0431020	MANZANARES	Santillana	Embalse para abastecimiento del Canal de Isabel II		LIC: "Cuenca del río Manzanares"	E-15	E-15
0428021	MANZANARES	El Pardo	Embalse para Regulación		LIC: "Cuenca del río Manzanares, ZEPA: "Monte de El Pardo"	MC-03	MC-03; E-21; EA-70
0806020	RIVERA DE GATA	Rivera de Gata	Embalse para riego		LIC: "Riberas de Gata y Acebo"	E-43	E-43; AR-45; AR-44
0317020	SORBE1	Beleña	Embalse para abastecimiento de la mancomunidad del Sorbe			E-11	E-11; EA-67
0105021	TAJO1	Aranjuez	Control de caudal mínimo	Red principal	LIC: "Vegas, Cuestas y Páramos del Sureste"	AR-08	AR-08; E-06
0101021	TAJO3	Almoguera	Embalse para riego y abastecimiento	Red principal		AR-09	AR-09
0608021	TAJO5	Toledo		Red principal		AR-10	AR-10; EA-14
0602021	TAJO6	Talavera		Red principal		Provisional: MC-04	MC-04; AR-24; Futura EA
0203020	TAJUÑA	Tajera	Embalse para riego, regulación y abastecimiento		LIC: "Quejigares de Barriopedro y Brihuega"	E-12	E-12; AR-15; AR-14; EA-3; EA-80
0703021	TIETAR	Rosarito	Embalse para riego	Afluente importante	LIC: "Sierra de San Vicente Y Valles del Tietar y Alberche", ZEPA: "Valle del Tietar y Embalses de Rosarito y Navalcán"	MC-05	MC-05; MC-06; E-33; EA-184

Tabla 1. Masas estratégicas y puntos de control considerados en el plan hidrológico 2009-2015

Acompañada de la figura:

Control de Qeco en tramos estratégicos

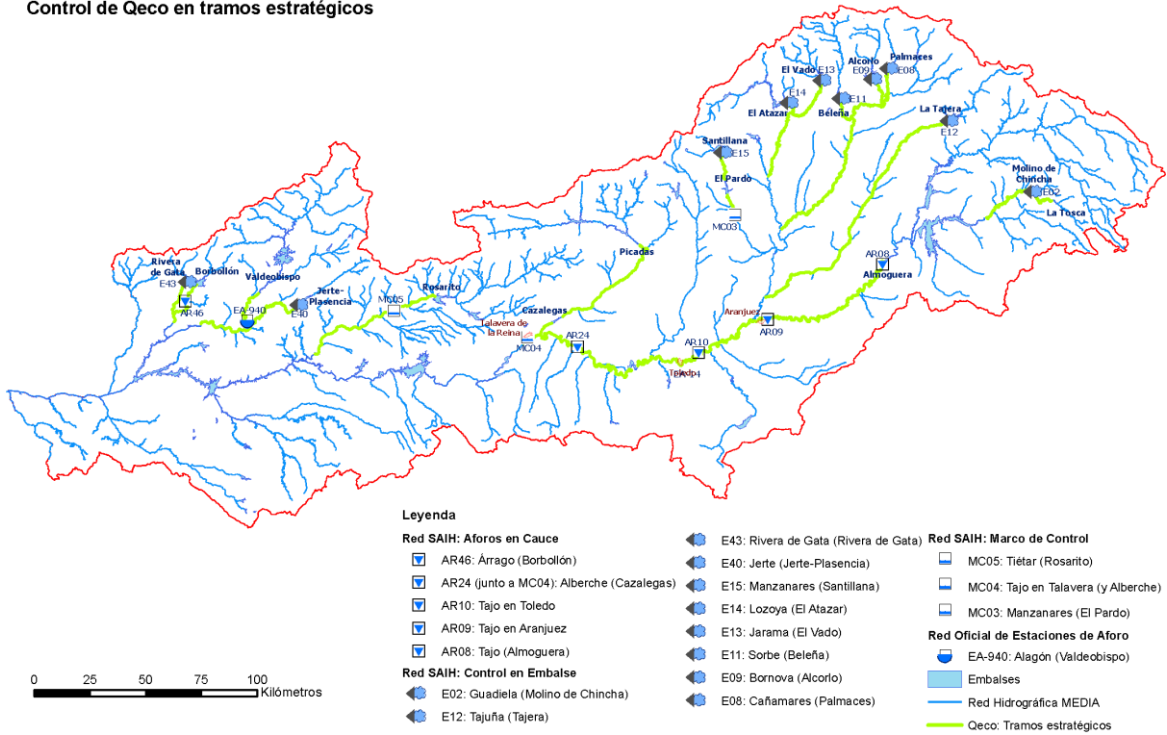


Figura 1. Mapa de masas estratégicas y puntos de control considerados en el plan hidrológico 2009-2015.

Esta caracterización del régimen de caudales ecológicos se complementó con la fijación en la normativa del plan, de unos caudales ecológicos mínimos para 19 masas de agua estratégicas, sobre los que se hace un seguimiento público, casi en tiempo real, publicándose diariamente los datos de caudales aforados en la web de la Confederación Hidrográfica del Tajo¹, comparándolo con los valores de referencia fijados. La presentación de estos datos se realiza de forma tabular y gráfica, con el ánimo de facilitar su comprensión y su seguimiento a cualquier ciudadano interesado.

Hay que advertir que la fijación de estos caudales, en las masas de agua del eje del río Tajo, se realizó manteniendo un criterio continuista con el plan hidrológico de 1998, y diferente al del resto de masas de agua. Así, aguas abajo del embalse de Almoguera no se estableció control; en Aranjuez se mantuvo el caudal de 6 m³/s requerido de la Ley 52/1980 y en Toledo se mantuvo el caudal ambiental de 10 m³/s establecido en el Plan hidrológico de 1998. En Talavera de la Reina, donde el río Tajo carecía de caudal ambiental en el plan de 1998, se fijó un caudal mínimo de 10 m³/s, coincidente con el del Tajo en Toledo.

En el plan de cuenca del segundo ciclo, actualmente vigente, se reprodujo íntegramente la caracterización del régimen de caudales ecológicos realizada en el primer ciclo.

El régimen de caudales ecológicos así definido dotó al organismo de cuenca de una herramienta instrumental de gran importancia para la gestión. Hay aspectos que se encontraban explícitamente recogidos en el articulado de la Normativa del plan, como puede ser su exigibilidad para evaluar la compatibilidad con el plan hidrológico de futuras concesiones (artículos 11 y 12 de la Normativa), pero también han constituido una herramienta en manos del Organismo de cuenca que ha ayudado a realizar una gestión encaminada a la consecución de los objetivos ambientales (por ejemplo, durante el seguimiento del estado de las masas de agua).

El criterio seguido para la implantación de caudales ecológicos en la cuenca del Tajo generó confusión y controversia. Así, siguiendo la recomendación de la Memoria de Análisis de Impacto Normativo del Proyecto de Real Decreto de aprobación de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones intercomunitarias², ya en el artículo 9 de la Normativa del plan del Tajo del segundo ciclo de planificación se instó a que en el plan del tercer ciclo se incluyera una propuesta de extensión del régimen de caudales ecológicos a todas las masas de agua

Por último, las sentencias STS 309/2019, STS 336/2019, STS 340/2019, STS 387/2019 y STS 444/2019 declararon la nulidad del artículo 9.1, 3, 5, 6 y 7, en relación con los apéndices 4.1, 4.2 y 4.3 de la normativa del Plan Hidrológico del Tajo, así como el artículo 10.2, en el inciso «[...] no serán exigibles en el horizonte temporal del presente Plan», artículos donde se establecían los caudales ecológicos y mínimos en las masas estratégicas ya mencionadas. La principal recriminación que le dirigieron estas sentencias al plan hidrológico del segundo ciclo fue,

¹ <http://www.chtajo.es/LaCuenca/Paginas/CaudalEcoMini.aspx>

² https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/mainrealdecretoaprobacionplanes_tcm30-98553.pdf

precisamente, el no haber hecho extensivo el régimen de caudales ecológicos a todas las masas de aguas superficial de la cuenca.

Sobre el funcionamiento de estos años, como se puede comprobar en los informes de seguimiento realizados o directamente en los valores facilitados en la web de la Confederación Hidrográfica del Tajo, los fallos –entendidos como los momentos en los que ha circulado por el punto de control un caudal inferior al umbral fijado– de los caudales ecológicos mínimos fijados en la normativa han sido reducidos, habiéndose adoptado las medidas necesarias durante la explotación para enmendarlos.

Para este tercer ciclo de planificación, es imprescindible extender los caudales ecológicos mínimos a todas las masas de agua de tipo río de la cuenca, y dado que recientemente se ha procedido a realizar una nueva delimitación de masas de agua, también es preciso definir el régimen de caudales ecológicos en las nuevas masas de agua resultantes. En el Esquema de Temas Importantes (ETI) de este tercer ciclo de planificación se incluyó una propuesta preliminar de régimen de caudales ecológicos. Esta propuesta se ha modificado por el reajuste definitivo del régimen de aportaciones en régimen natural (ver el apartado 4.2.1 del anejo 2 de recursos hídricos y su apéndice 2); y se ha reequilibrado para tener más en cuenta la presencia de espacios naturales protegidos, la presencia de especies piscícolas endémicas o protegidas en riesgo, la compatibilidad con los trabajos hidrobiológicos, la presencia de abastecimientos vulnerables y la coherencia de los caudales ecológicos en toda la red. Teniendo en cuenta además las propuestas, observaciones y sugerencias recibidas durante el proceso de participación pública, se realiza la propuesta incluida en este anejo.

3 METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS.

En el plan del primer ciclo de planificación hidrológica se realizó un extenso trabajo de caracterización del régimen de caudales ecológicos, que se resume en el siguiente listado:

- Régimen de caudales ecológicos en ríos permanentes, contemplando:
 - Distribución temporal de caudales mínimos.
 - Distribución temporal de caudales máximos.
 - Tasa de cambio aceptable del régimen de caudales respecto al régimen de crecidas, incluyendo caudal punta, duración y tasa de ascenso y descenso, así como la identificación de la época del año más adecuada desde el punto de vista ambiental.
- Régimen de caudales ecológicos en ríos temporales, intermitentes o efímeros.
- Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas.

Estos trabajos realizados en el primer ciclo son una referencia de partida. En los puntos siguientes se indican las actualizaciones y trabajos adicionales realizados para el tercer ciclo de planificación hidrológica.

3.1 Distribución temporal de caudales mínimos

Se ha definido un régimen de caudales mínimos con una distribución temporal trimestral, a partir de la combinación de métodos hidrológicos e hidrobiológicos (modelación de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada masa).

3.1.1 Métodos hidrológicos

Estos métodos utilizan los registros históricos de caudal (datos diarios y mensuales) para derivar directamente de ellos las recomendaciones de caudales de mínimos, mediante el estudio de los estadísticos de la serie.

Tal y como establece la IPH, los métodos hidrológicos para obtener la distribución temporal de caudales mínimos, se basaron en alguno de los siguientes criterios, diferenciándose en periodos hidrológicos homogéneos (meses):

- a) La definición de variables de centralización móviles anuales de orden único, identificadas por su significación hidrológica (21 y 25 días consecutivos, por ejemplo), o de orden variable, con la finalidad de buscar discontinuidades del ciclo hidrológico. Para la detección de medidas de centralización de orden variable, se utilizó el método del caudal básico, basado en la metodología desarrollada por A. Palau, y colaboradores (media móvil de 100 días).
- b) La definición de percentiles entre el 5% y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados.

En el caso de una cuenca fuertemente alterada desde el punto de vista hidrológico, como es el caso del Tajo, el histórico de caudales diarios registrados en las estaciones de aforo reflejan el régimen alterado, que, en muchas circunstancias, en especial en los grandes ejes y en los tramos con intenso aprovechamiento del recurso, dista mucho del que tuviera en régimen natural. Tanto en lo referente al volumen del agua circulante como a su distribución en el tiempo.

Debido a este hándicap, en los trabajos de planificación se utiliza la restitución al régimen natural de las series de aportaciones. En el caso de la cuenca del Tajo, para los trabajos anteriores a la entrada en vigor de la DMA, se empleaba el modelo de restitución Sacramento; adoptándose el SIMPA desde el primer ciclo de planificación. El empleo de un modelo distribuido, como el SIMPA, permite además estimar el recurso disponible en una cuenca que no está aforada. En este ciclo de planificación, como se documenta extensamente en el anejo de recursos hídricos, se ha realizado una adaptación adicional de estos resultados generales del SIMPA para una mejor representatividad del régimen natural circulante.

Ahora bien, resuelto en la medida de lo posible este hándicap de la caracterización del régimen natural, se presenta otro problema. Las series disponibles de la caracterización de los recursos hídricos en régimen natural están a escala mensual, mientras que la mayoría de los métodos hidrológicos para el cálculo de los caudales ecológicos necesita de datos de caudales naturales diarios. En el primer ciclo de planificación se optó por procesar las series disponibles de recursos en régimen natural a escala mensual para estimar cuáles serían los diarios, a partir de unas estaciones de aforo disponibles con reducidas presiones, que se puede considerar que se asemejan al régimen natural o cuasi natural. De esa manera, se aplicaron las metodologías que requieren valores diarios mediante estas series procesadas.

Para este tercer ciclo de planificación se ha optado por no procesar la serie de aportaciones medias mensuales para tener una estimación de sus valores diarios. El motivo es que se ha llegado a la conclusión de que, si bien este ajuste puede ser aceptable en algunas masas con escasas presiones que cuentan además con estaciones de aforo (masa de agua patrón) o que hidrológicamente soportan una semejanza con masas de agua que sí la tienen, es más discutible que pueda aplicarse ese patrón en la mayoría de las masas de agua, donde cualquier semejanza hidrológica es incierta. Así, en todos los ejes medianos y grandes de los ríos, además de en numerosas masas de agua de cabecera, esta asociación con una masa de agua patrón es problemática. Por ello, se ha decidido limitar el nuevo estudio de los métodos hidrológicos a aquellas metodologías que trabajen con valores medios mensuales. A su vez, analizando los resultados del estudio del primer ciclo, los valores de las diferentes metodologías se encuentran por lo general en el rango definido por los percentiles 5 y 15, por lo que la reducción del abanico de metodologías empleadas no se traduce en una limitación del intervalo de los resultados.

Por tanto, al contemplar la IPH el uso de percentiles entre el 5% y 15%, tomando una serie de al menos 20 años para definir el umbral habitual del caudal mínimo, esta ha sido la metodología utilizada en la mayoría de los casos. Para ello, a partir de las series mensuales en régimen natural disponibles, se han calculado los percentiles 5% y 15% mínimos trimestrales, sobre la serie de datos mensuales comprendida entre los años hidrológicos 1980/81 y 2017/18, para todas las masas de agua superficial. Se ha considerado que, a efectos de poder garantizar el cumplimiento

del régimen de caudales ecológicos, el valor del trimestre debe estar caracterizado por el del mes de menor cuantil.

Los métodos hidrológicos tienen la gran ventaja, cuando se mantiene el mismo criterio para un conjunto de cuencas, de garantizar la coherencia del régimen de caudales resultante en esas cuencas.

3.1.2 Métodos hidrobiológicos

3.1.2.1 Consideraciones para el tercer ciclo de planificación

Se considera que la caracterización de los métodos hidrobiológicos realizada en el primer ciclo de planificación continúa siendo válida, por lo que se utilizan directamente sus resultados.

Como se ve más adelante en este documento, tienen un gran peso en la definición de los caudales ecológicos mínimos en el eje del Tajo, entre Aranjuez y Azután.

A este respecto, hay que advertir que la aplicación de los métodos hidrobiológicos se realiza en un transecto del río, que se considera representativo de un tramo. De la observación de los resultados obtenidos se colige la existencia de diferencias significativas en distintos tramos del río. Cuando se han apreciado, por aplicación del principio de continuidad en el río, el caudal considerado en un tramo no debe ser inferior al de un tramo ubicado aguas arriba, aunque el resultado específico de la aplicación de la metodología en ese punto pueda dar valores inferiores. Unos valores inferiores que pueden ser explicados, por lo general, por singularidades morfológicas de cada transecto estudiado, además de una posible variación en la selección de especies que habitarían en cada tramo.

3.1.2.2 Metodología de los trabajos del primer ciclo de planificación

El esquema conceptual de la metodología de modelización del hábitat parte de dos puntos básicos:

- Las curvas de preferencia de la fauna
- Un modelo hidráulico fluvial

Fundiendo ambas ideas, el modelo hidráulico, que simula las condiciones de los distintos segmentos del río en función de los caudales circulantes y el valor potencial del hábitat fluvial, nos indica las condiciones en las que se van a encontrar las especies que pueden estar presentes, con lo que se obtiene el Hábitat Potencial Útil, herramienta con la que se planteará el régimen ambiental de caudales.

El ajuste mediante la modelación de la idoneidad del hábitat, se basó en la simulación hidráulica, acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat para la especie o especies objetivo, como indica la IPH. Para ello, se realizaron las correspondientes modelizaciones en 1D con el programa Rhyabsim (Ian G. Jowett, NIWA, NZ); y en 2D con el RIVER 2D de la Universidad de Alberta (Steffler, 2002), en algunas de las masas de agua no vadeables.

3.1.2.2.1 Trabajo de campo

Para la simulación del hábitat físico se seleccionaron tramos representativos de cada masa, de distinta longitud en función de la entidad del río, características del tramo, método de simulación, etc. En general, cada tramo tenía una longitud de entre 150 y 300 m.

Para la selección del tramo de estudio se tuvo en cuenta la representatividad de los mesohábitats, una serie de características hidráulicas para facilitar la calibración del modelo y otros aspectos importantes como evitar tramos con efectos de azudes o que fuera atravesado por vados o caminos que hicieran perder la conectividad. Para ello se recorrió la masa de agua, en la zona de interés, buscando los tramos con dichas características.

En la metodología 1D, una vez seleccionado el tramo de estudio se localizaron los diferentes transectos en los que se recabaron los datos. Éstos constituyen una línea recta transversal al flujo, a lo largo de la cual se midieron las condiciones hidráulicas.

El criterio de ubicación y el número de transectos varió según las características del cauce, la presencia de mesohábitats, el tipo de modelización y otras circunstancias de los trabajos de campo. Se intentó que el número de transectos fuera de 12 a 15, si bien en tramos con excesivo caudal o en los que se presentaron problemas, este número pudo ser menor.

En cada transecto se tomaron medidas de caudal, topografía, nivel de lámina de agua y sustrato en las ubicaciones marcadas. Por su parte, la caracterización del sustrato fue muy detallada, tomando datos del porcentaje de cada sustrato en cada punto medido topográficamente.

Para el modelo 2D, se realizó un levantamiento topográfico detallado de cada tramo, empleando una estación total y una ecosonda acoplada a una embarcación, generándose una nube de puntos (red o maya de nodos) representativos de la morfología del cauce. A su vez, para cada nodo, se tomó nota de la granulometría del lecho.

En el levantamiento se prestó especial atención a las singularidades del relieve del cauce: orillas, thalweg, bank-full, pozas, rápidos; para que la topografía del cauce y de las zonas exteriores respondiera a las características y a las complejidades del tramo.

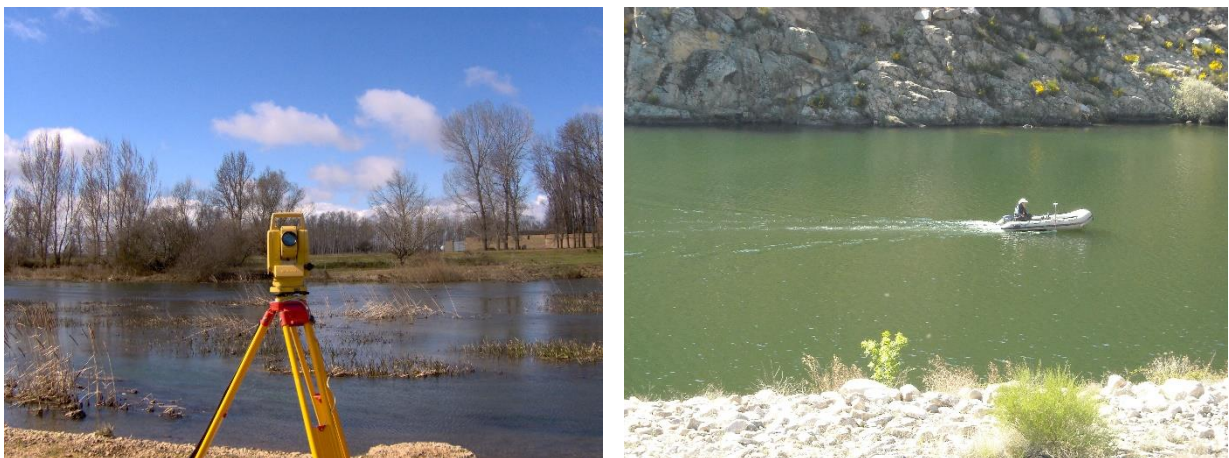


Figura 2. Toma de datos cauce mediante estación total y ecosonda acoplada a embarcación

Para la modelización, además de las coordenadas de cada punto, fue necesario realizar una descripción detallada de la granulometría, de la medida de la altura de la lámina de agua y de las velocidades de la corriente en las secciones de control de entrada y salida; para poder así realizar una posterior estimación del caudal y extrapolar esos valores a otras secciones intermedias, de cara a la calibración del modelo.

3.1.2.2.2 Simulación de hábitat

En un determinado instante, si suponemos que la sección transversal del cauce es invariable, la velocidad y la profundidad de las aguas y la sección mojada sólo dependerán de la cantidad de agua, es decir, del caudal. A medida que varía este caudal, se generan nuevas condiciones de profundidad, de velocidad y de sección mojada. Esto representa un problema de hidráulica fluvial que requiere acudir a un proceso de simulación hidráulica, con el fin de obtener una estimación de la variación de todas esas variables en función del caudal, en un río cuya sección transversal puede variar a lo largo de cada tramo.

Como se ha comentado, en tramos tratados con modelos de 1D, para poder hacer las simulaciones, se acudió al programa Rhyabsim (Ian G. Jowett, NIWA, NZ). Se trata de un modelo hidrodinámico, unidimensional, de resolución mediante el método del paso hidráulico calibrado en cada transecto para el ajuste del perfil de velocidades.

Los trabajos realizados con el modelo requieren básicamente las siguientes fases:

- Introducción de los datos de campo y chequeo de los archivos de datos
- Cálculo de los caudales de calibración
- Cálculo y edición de los factores de distribución de velocidades
- Cálculo de las curvas de altura/caudal (curvas de gasto) y selección de las más apropiadas
- Introducción de las curvas de idoneidad para las distintas especies piscícolas presentes en el tramo de las que se dispone de datos.
- Obtención de las curvas HPU/Q (hábitat potencial útil/caudal)

Para los tramos tratados con modelos de 2D, se empleó el modelo bidimensional RIVER 2D de la Universidad de Alberta (Steffler, 2002). Para la red de puntos representativos del cauce, generada en el levantamiento topográfico, la aplicación crea un modelo digital del terreno. Este modelo topográfico, creado a partir de nodos tomados en campo, se implementa mediante interpolación de nuevos puntos, con un nivel de complejidad variable en función de las necesidades de cada tramo. Cada uno de estos puntos lleva asociada información referente a la granulometría del sustrato.

Con el modelo digital desarrollado, el programa necesita datos referentes a las condiciones hidráulicas existentes durante el levantamiento, como los caudales circulantes y las alturas de la lámina de agua. Con todos estos datos introducidos, el siguiente paso fue la comprobación del correcto funcionamiento del modelo hidráulico.

Para ello, el programa debe conseguir que el caudal introducido como condición de contorno (caudal en la sección de entrada al tramo) coincida razonablemente con el calculado en la sección de salida. El éxito de la operación anterior depende de la buena definición del modelo digital del terreno, y del grado fidelidad de las estimaciones de caudal, así como de las medidas de la altura de la lámina de agua.

Con el simulador hidráulico calibrado, es posible conocer características hidráulicas de cualquier punto del tramo como la profundidad o la velocidad de la corriente, para cualquier caudal deseado.

3.1.2.2.3 Selección de especies y curvas empleadas

Una vez realizado el ajuste del modelo hidráulico, para proceder a la simulación de diferentes caudales y a la obtención de los valores del hábitat potencial útil (HPU), es necesario introducir las condiciones de cada uno de los estadios de las especies consideradas en el tramo.

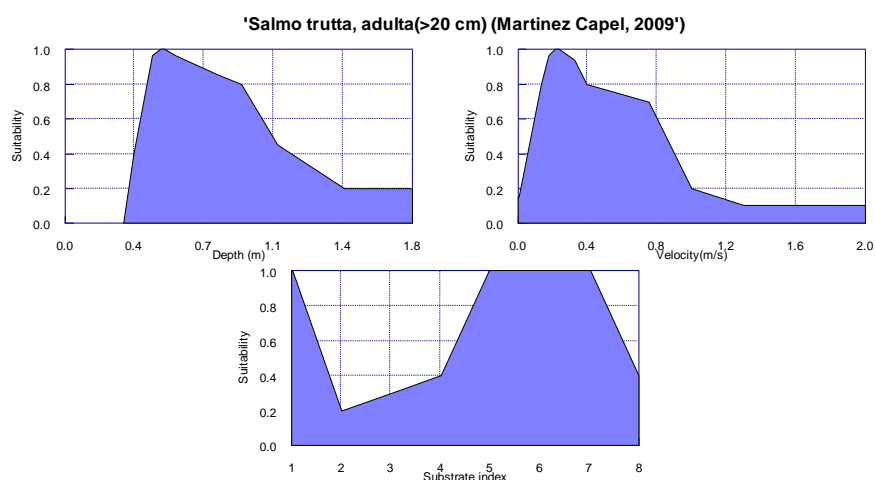
La selección de las especies piscícolas presentes en cada tramo de estudio se obtuvo en función de la información bibliográfica disponible (censos piscícolas, Atlas y Libro Rojo, estudios de caudales ecológicos ya realizados, etc.)

En la siguiente tabla, se presentan las especies para las que se dispuso de curvas de preferencia y que pudieron ser introducidas en el proceso de simulación.

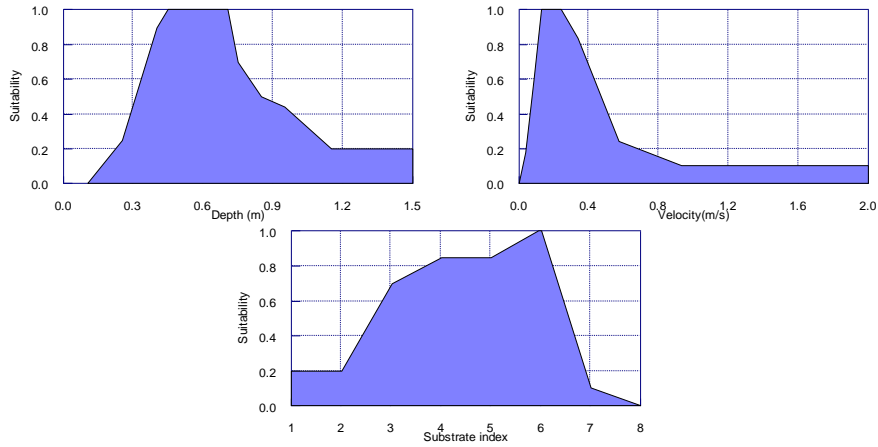
Especies	Fuente de la curva
<i>Squalius pyrenaicus</i> (Cacho)	Bibliográfica
<i>Barbus bocagei</i> (barbo común)	Bibliográfica
<i>Chondrostoma arcasii</i> (bermejuela)	Para este estudio
<i>Chondrostoma polylepis</i> (boga de río)	Bibliográfica
<i>Squalius carolitertii</i> (bordallo)	Bibliográfica/para este estudio
<i>Salmo trutta</i> (trucha)	Bibliográfica/para este estudio

Tabla 2. Especies y curvas de preferencia en la cuenca del Tajo

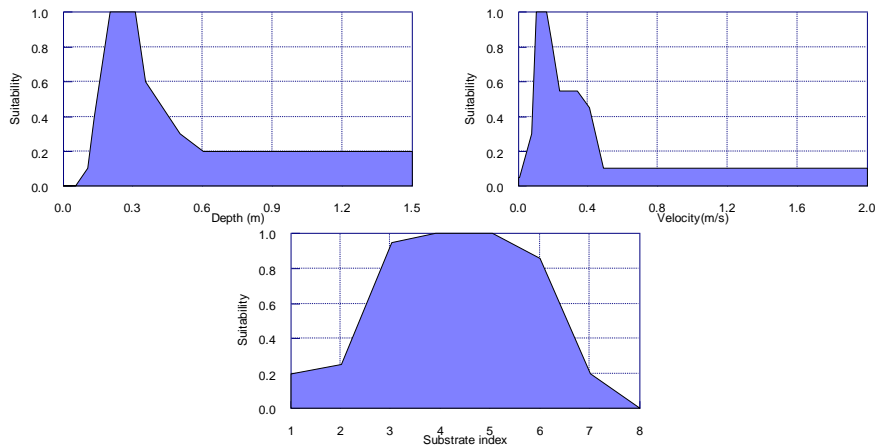
Se presentan a continuación ejemplos de curvas utilizadas en las simulaciones.



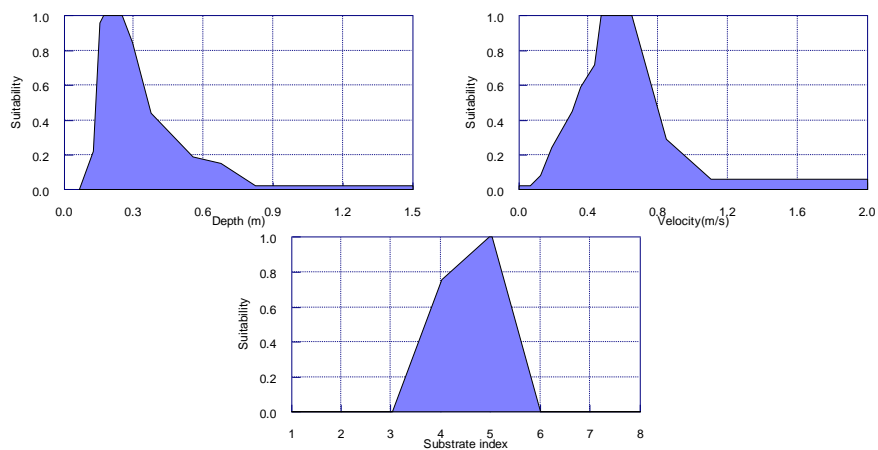
'Salmo trutta, juvenil (Martínez-Capel (2006) and Bovee (1978))



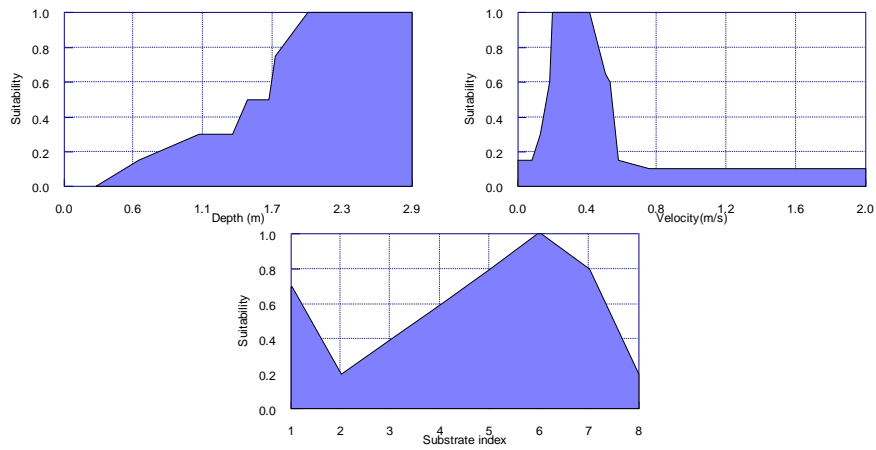
'Salmo trutta, alevín (Martínez-Capel (2006) and Bovee (1978))



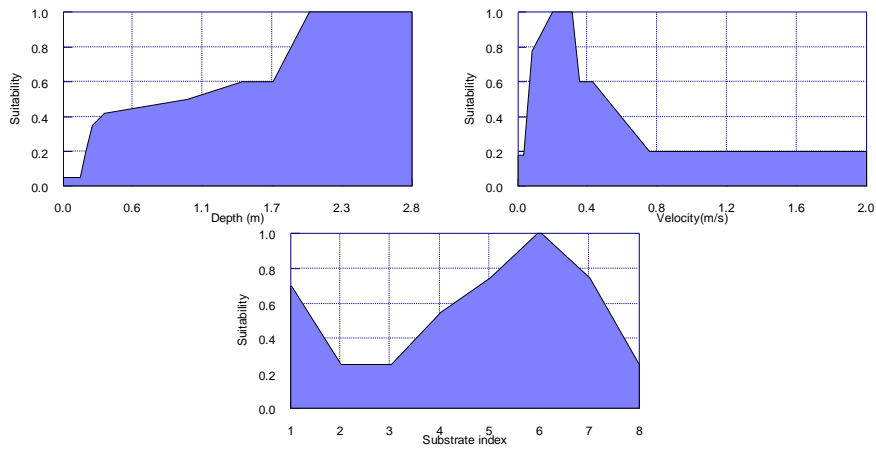
'Salmo trutta, freza (Bovee (1978))



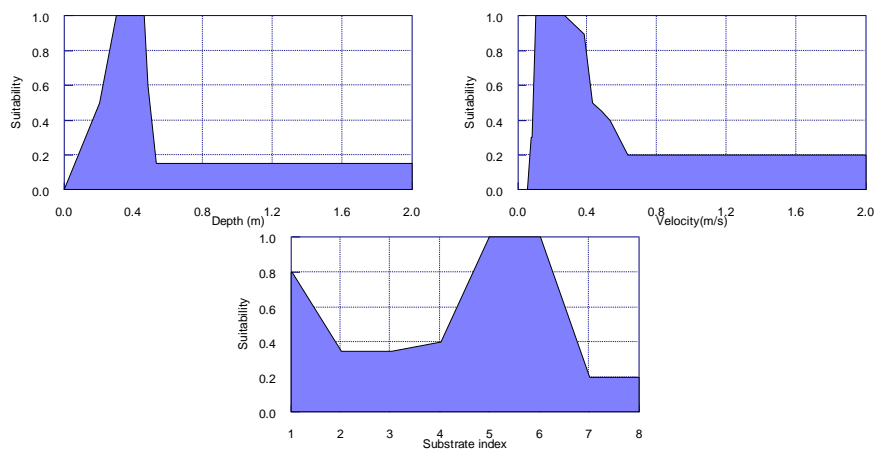
'Barbus bocagei - (>25cm) ADULTO - Martínez-Capel 2004'



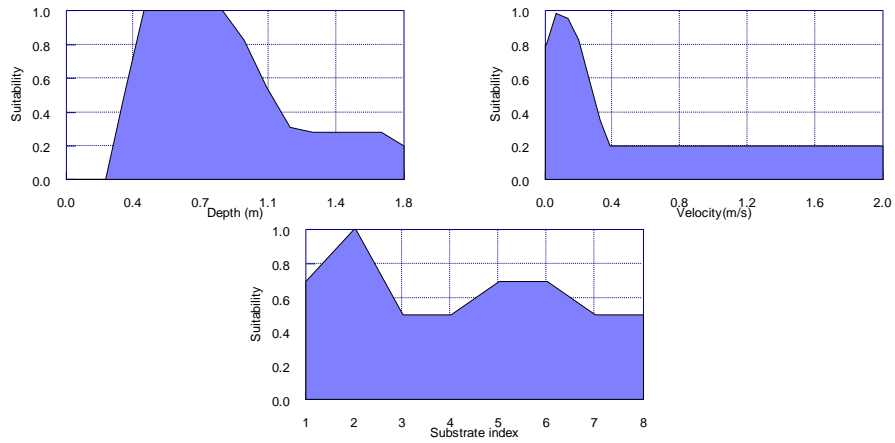
'Barbus bocagei - (7-25cm) JUVENIL - Martínez-Capel 2004'



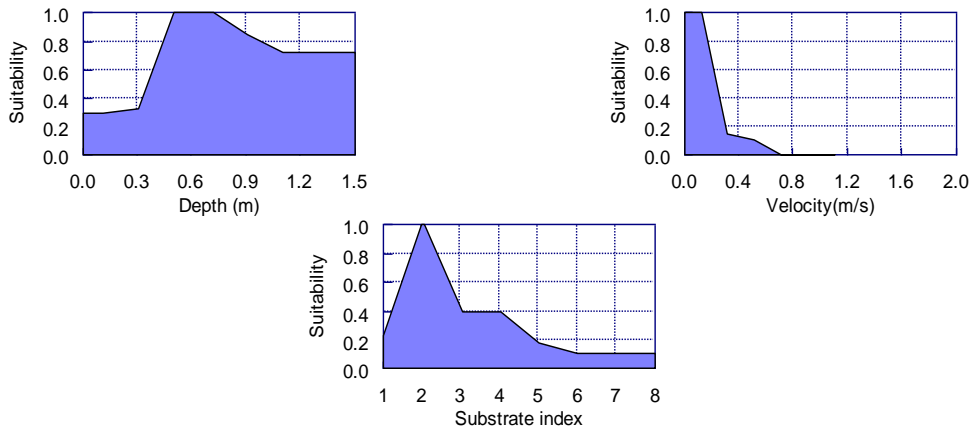
'Barbus bocagei - (<7cm) ALEVIN - Martínez-Capel 2004'



BERMEJUELA AD-JU-AL (Martinez-Capel (2009))



'Squalius carolitertii - (<90mm) ALEVÍN, VERANO-OTOÑO'



'Squalius carolitertii - (>90mm) ADULTO, VERANO-OTOÑO'

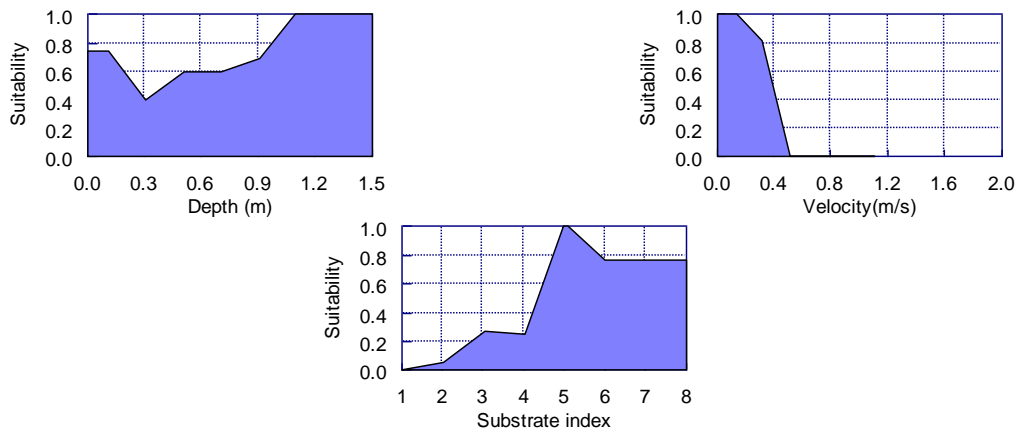


Figura 3. Curvas utilizadas en las simulaciones

3.1.2.2.4 *Elaboración y utilización de las curvas HPU/Q*

Las curvas de preferencia expresan como las especies seleccionadas son capaces de soportar las variaciones que puedan tomar dichos parámetros cuando cambian los caudales.

Las curvas de preferencia de la fauna son distintas para cada estadio del ciclo vital de los peces, siendo posible analizar el grado de adecuación de las condiciones hidrológicas para un mismo pez en sus etapas de alevín, de juvenil y de adulto. De igual forma, las exigencias de hábitat y de caudales circulantes por parte de los peces y de las comunidades reófilas no son las mismas a lo largo de las diferentes estaciones, sino que existen temporadas críticas en las cuales estas exigencias se hacen más perentorias, por ejemplo en los períodos de freza y de desarrollo de los embriones.

Para dar un ejemplo práctico, se puede citar cómo evoluciona la preferencia por la profundidad para un pez en la mitad de la cadena trófica, especie objetivo que define los caudales ecológicos. Este pez tendrá una preferencia nula para una profundidad de cero centímetros. En una profundidad de 10 cm, podría tener una preferencia muy pequeña, que se puede valorar como 0,1 en una escala de 0 a 1. Si la profundidad es de 1 m, se podría estar en el óptimo, y valorarlo por tanto como 1. Sin embargo, a profundidades mayores, la preferencia por dicho hábitat podría disminuir, ya que se haría más fácil la presencia de depredadores.

Para la definición de la especie objetivo, se efectuó un análisis inicial para los distintos estadios de cada una de las especies a simular y otro posterior con los estadios restrictivos obtenidos para cada especie. De tal forma se seleccionaron el estadio y la especie objetivo más exigentes, aquellos que requieren mayor caudal para un mismo porcentaje de su habitabilidad.

Se define el Hábitat Potencial Útil (HPU) como el equivalente al porcentaje del hábitat, expresado como superficie del cauce inundado o como anchura por unidad de longitud de río, que puede ser potencialmente utilizado con una preferencia máxima por una población o una comunidad fluvial.

El valor potencial del hábitat fluvial es pues la apetencia de la fauna acuática para cada uno de los posibles segmentos fluviales simulados en el modelo hidráulico. Esta preferencia se obtiene a partir de la combinación de tres parámetros, definidos a su vez por tres índices: la velocidad (Cv), la profundidad (Ch) y la composición del sustrato (Cs). La conformidad por una determinada velocidad o profundidad están tabuladas en función de la especie que se define como prioritaria.

El índice de conformidad global (Cis) puede relacionarse con los tres índices parciales por alguna de las fórmulas siguientes (multiplicativa o geométrica respectivamente).

$$Cis=(Cv.Ch.Cs); \quad Cis=(Cv.Ch.Cs)^{1/3}$$

El estudio del Hábitat Potencial Útil permite conocer las posibilidades de uso del río por parte de la especie o especies consideradas, en función de las características de la corriente y a medida que va variando el caudal. Se trata de establecer una combinación de condiciones hidráulicas (velocidad y profundidad) y de características del cauce (sustrato y cobertura), óptimas para cada especie y estado de vida. Con la información del tramo de río recogida en el desarrollo del modelo hidráulico y con la puesta a punto de las curvas de preferencia, se dispone de una serie

de datos sobre la profundidad, la velocidad, el tipo de sustrato y de cobertura, así como su de distribución longitudinal y transversal en el río.

Dicho de otra forma, utilizando el modelo de simulación hidráulica, se pueden estimar las condiciones de los distintos parámetros en cada celda bajo un caudal diferente, y con ellas volver a calcular el HPU para ese caudal. Realizando este cálculo para distintos caudales se obtendrán relaciones numéricas que permiten conocer cómo evoluciona el HPU en función del régimen de caudales, lo que permite construir las curvas HPU/Q.

Así, a partir de las simulaciones de idoneidad del hábitat, se han desarrollado curvas HPU/Q (Hábitat Potencial Útil/Caudal) para los distintos estadios fisiológicos de cada especie de la que se ha dispuesto de curvas de preferencia. A continuación, se muestran dos ejemplos de curvas HPU/Q, usando como especie objeto la trucha común.

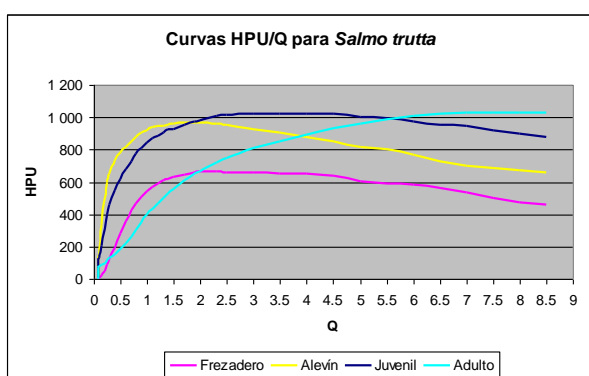


Figura 4. Ejemplo Curvas HPU/Q para un río modelo

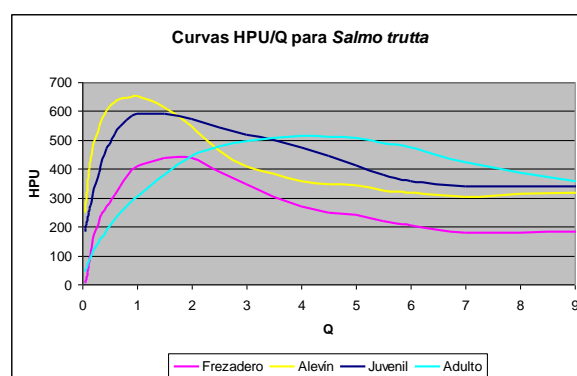


Figura 5. Ejemplo Curvas HPU/Q para otro cauce modelo

3.1.2.2.5 Resultados hidrobiológicos

Para la obtención de resultados, se seleccionaron aquellos binomios de especie autóctona y estadio presentes en el tramo que tuvieran mayor requerimiento de caudal, o en el caso de ser un estadio que sólo esté presente en una época del año, se optó por buscar otro que no sobredimensionase la necesidad de recurso en el periodo del año en que no estuviera presente el primero, pero de tal forma que la adopción del segundo estadio no supusiera una disminución drástica de su habitabilidad.

Posteriormente se consideró el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo, tal y como dicta la IPH, calculándose también el 30% del HPU, para aquellos tramos que puedan estar muy alterados hidrológicamente.

Para la selección del máximo de HPU se siguieron los siguientes criterios, contemplados en la IPH:

- En aquellos tramos en los que las especies presentaban un máximo en su curva, se asumió ese máximo, siempre contrastándolo con los datos hidrológicos, de tal manera que se encontrase dentro de un rango lógico de caudales ecológicos que puedan ser asumidos por el tramo.

- En los casos en que la curva de hábitat potencial era creciente y sin aparentes máximos, el valor máximo se asumió como el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el percentil 10%-25% de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.
- En los casos en los que se juzgó necesario, como complemento a los análisis anteriores, se estudiaron también los puntos de cambio de pendiente de las curvas.

Hay que indicar que cuando se compararon los datos hidrológicos con los hidrobiológicos; si no coincidía el punto de campo (dónde se llevaron a cabo los trabajos) con el final de masa (dónde se estimó la serie natural), se realizó un nuevo estudio hidrológico adaptado al punto de campo, con el fin de poder conseguir unas buenas correlaciones e interpretaciones de los resultados.

Aunque en algunos casos este trabajo pudiera ser prescindible (ubicación del punto de campo cerca del fin de masa o masas con cuencas vertientes muy pequeñas), en otros se considera fundamental, pues se trata de masas con tributarios en las que, dependiendo de la ubicación del punto de toma de datos en campo para la simulación, las aportaciones en dicho punto y en el final de masa pueden tener un amplio margen de diferencia, que puede dar al traste con la toma de decisiones por una mala relación entre los datos hidrológicos e hidrobiológicos.

Además, se entiende que disponer de un hidrológico en el punto de campo que se relacionará con el hidrobiológico en la misma ubicación, posibilita extrapolar el dato a otros puntos de la masa en los que se tenga hidrológico, como por ejemplo al final de la misma.

3.1.3 Variación intraanual: el factor de variación

La IPH exige que al menos se proponga un caudal de estiaje y otro de aguas altas. Si bien los datos de las series de aportaciones están a escala mensual, de cara a facilitar la explotación, en el plan hidrológico vigente se propusieron por trimestres (oct-dic, ene-mar, abr-jun y jul-sep), que de manera aproximada se pueden asociar a las estaciones del año (otoño, invierno, primavera y verano). Este criterio se mantiene en el nuevo ciclo de planificación hidrológica, para todas las masas de agua superficial.

Cuando se parte de una metodología basada en percentiles, la propia distribución intra anual de los percentiles es representativa de su variación. Pero cuando se parte de un umbral único, caso del caudal básico (Q_{bas}), el correspondiente al Q21 ó Q25, o el que se obtiene por los métodos hidrobiológicos ya descritos, hay que convertirlo en un régimen anual. El factor de variación es el encargado de adecuar el régimen de caudales mínimos a las tendencias de variación del hidrograma natural.

En los trabajos del primer ciclo de planificación se consideraron cuatro posibles factores de variación, cuyos valores para cada trimestre "i" son (las fórmulas son similares si se busca una distribución mensual):

$$FV1 = \sqrt{\frac{Q_{nat_{trimestre\ i}}}{Q_{nat_{trimestre\ verano}}}}$$

$$FV2 = \sqrt[3]{\frac{Qnat_{trimestre\ i}}{Qnat_{trimestre\ verano}}}$$

$$FV3 = 1 + \sqrt{\frac{Qnat_{trimestre\ i} - Qnat_{trimestre\ verano}}{Qnat_{trimestre\ máximo} - Qnat_{trimestre\ verano}}}$$

$$FV4 = \sqrt{\frac{Perc.\ 15_{trimestre\ i}}{Perc.\ 15_{trimestre\ verano}}}$$

En este ciclo, los factores de variación se han aplicado únicamente a los caudales mínimos en el eje del Tajo, ya que se basan en la simulación del hábitat. En el caso del resto de masas de agua, su caudal mínimo se basa en un percentil, en el Convenio de Albufeira, o en los caudales estratégicos concertados en el primer ciclo de planificación, por lo que ya tienen su variabilidad a lo largo del año y no requieren el empleo de los factores de variación.

3.1.4 Criterios utilizados para la caracterización de cada masa

Para conseguir que estos caudales ecológicos mínimos sean coherentes en toda la red hidrográfica, se ha privilegiado el método hidrológico de los percentiles frente a las otras alternativas. Los métodos hidrobiológicos se han utilizado para hacer ajustes en algunos tramos, pero dentro del rango de percentiles 5% a 15% que establece la IPH. Como ya se ha comentado, ante la imposibilidad de generar series de datos diarios restituidos al régimen natural en toda la cuenca, los percentiles se han aplicado sobre series de medias mensuales. El empleo de datos medios mensuales, en vez de datos diarios, eleva un poco los valores de los percentiles.

Para fijar el valor del caudal ecológico mínimo en cada una de las 511 masas de aguas superficiales, se han tenido en cuenta múltiples criterios:

1. El estado de las masas de agua.
2. La presencia de espacios naturales protegidos.
3. La presencia de especies protegidas o autóctonas de ictiofauna, así como su estado de conservación.
4. La coherencia del caudal ecológico mínimo en toda la red, para asegurar en la medida de lo posible que se pueda cumplir.
5. La presencia de aprovechamientos, especialmente cuando son tomas de abastecimiento.
6. La temporalidad de la masa de agua.
7. En el caso de las masas de agua estratégicas definidas en los ciclos anteriores, el caudal que se dio en ellas.

Con cierta frecuencia, algunos de los criterios expuestos entran en conflicto entre ellos. Asumiendo que el régimen de caudales ecológicos es una herramienta fundamental para alcanzar el buen estado de las masas de agua y el resto de objetivos de la DMA, en general se han privilegiado los criterios ambientales, excepto cuando estos entraban en conflicto con un

abastecimiento vulnerable, en cuyo caso, en aplicación del artículo 59.7 del TRLA, se ha acudido al percentil más bajo dentro del rango que permite la IPH.

De esta forma, en 260 masas de agua superficial se ha aplicado el criterio del percentil 15%; y en otras 61 masas de agua se ha aplicado el percentil 15%, pero sólo sobre su aportación no acumulada. Este caso, que se ha llamado “percentil 15 incremental”, se da cuando, por ejemplo, existe un embalse de abastecimiento vulnerable en la cabecera de la cuenca, y un espacio protegido o una masa en riesgo de no alcanzar el buen estado aguas abajo del embalse. Para asegurar que el régimen propuesto se pueda cumplir, la masa de aguas arriba sólo contribuirá con el percentil 5%, pero, a partir del embalse, se exige que se reserve hasta el percentil 15% para el caudal ecológico (que se calcula sobre la serie de aportaciones no acumuladas). El criterio mínimo del percentil 5% se ha aplicado en 81 masas de agua superficial, de las cuales 53 son embalses de abastecimiento.

En las masas del eje del Tajo, entre los embalses de Bolarque y Valdecañas, se ha fijado el caudal mínimo del trimestre de verano que permite garantizar el 50% del Hábitat Potencial Útil (HPU) en las secciones de Almoguera (ES030MSPF0105021), y Toledo (ES030MSPF0607021). Aplicando la consideración realizada en 3.1.2 sobre la continuidad del régimen fluvial, se han seleccionado los resultados obtenidos en esos puntos, al corresponder al máximo caudal asociado a un mismo % de HPU identificado en cada tramo del eje fluvial. La importancia y significancia del río Tajo, vinculado además con distintos espacios protegidos, ha motivado la elección de este criterio, criterio seleccionado no sólo por su idoneidad al mantener un % de hábitat potencial útil que es superior al mínimo aplicable para una masa de agua hidrológicamente alterada, pero igual al mínimo de una masa natural, sino por su buen ajuste con los indicadores hidrológicos. Considerando la fuerte dependencia de las características del tramo seleccionado a la hora de estimar un caudal ecológico a partir de métodos hidrobiológicos, el buen ajuste observado en los caudales asociados al 50% del hábitat potencial útil en esos puntos y los indicadores hidrológicos, confirma la idoneidad de los caudales escogidos, en la línea de lo establecido por la IPH que señala que los resultados obtenidos por métodos hidrológicos deberán ser ajustados mediante la modelación de la idoneidad del hábitat. Para el resto de las masas de agua del eje del Tajo, se ha realizado la interpolación del caudal mínimo para el trimestre de verano; la variación entre los trimestres se ha obtenido aplicando el factor de variación 2.

Además de las del eje del Tajo, en 18 masas de agua superficial –la mayoría declarada como estratégicas en ciclos anteriores– se fija el caudal directamente a partir de la caracterización del hábitat, con diferentes factores de variación en cada caso. En otras 42 se fija por extrapolación o interpolación lineal de los caudales fijados en masas adyacentes o cercanas en el mismo eje fluvial. Se apoya en el caudal medio en régimen natural de las masas de agua usada como base de la interpolación o extrapolación y la masa de agua objetivo.

El río Tajo es internacional, y los caudales mínimos que llegan a Portugal están regulados por el Convenio de Albufeira (Protocolo de revisión del Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispano-portuguesas y el Protocolo adicional, suscrito en Albufeira el 30 de noviembre de 1998, hecho en Madrid y Lisboa el 4 de abril de 2008; publicado en «BOE» núm. 14, de 16 de enero de 2010, páginas 3425

a 3432). Conceptualmente, estos caudales mínimos, establecidos en el convenio de Albufeira, son diferentes del caudal ecológico mínimo. Están regulados por un tratado Internacional, por lo que se ha considerado no procedente establecer el caudal ecológico mínimo en el embalse de Cedillo (masa ES030MSPF1001020). Con el fin de mantener una coherencia con la continuidad fluvial, se extrapola el mínimo del Convenio de Albufeira a Alcántara (masa ES030MSPF1002020), Torrejón Tajo (ES030MSPF1003020) y Valdecañas (ES030MSPF1004020). En estos casos, al ser embalses que vierten a otros embalses españoles, sólo deberán verter un caudal igual o superior a este caudal ecológico cuando la cola del embalse de aguas abajo no alcance la presa situada aguas arriba, o cuando se considere conveniente para mantener una calidad del agua adecuada.

En 6 masas de agua se ha mantenido el régimen de caudales ecológicos propuesto en el ETI, porque con las nuevas aportaciones en régimen natural, el caudal asociado al percentil 15 era nulo y los caudales propuestos en el ETI eran muy modestos. Finalmente, en las masas restantes, se ha elegido algún otro percentil que quedara dentro del rango fijado en la IPH.

3.1.5 Régimen de caudales ecológicos en ríos temporales, intermitentes o efímeros

Como se ha indicado anteriormente, para la caracterización realizada en el primer ciclo de planificación se generaron series de caudales diarios a partir de los medios mensuales de las series de aportaciones en régimen natural, la distribución diaria partió de estaciones de aforo en régimen natural o cuasi natural. Sobre estas series diarias se aplicó la metodología para la determinación de la temporalidad de los ríos y sus periodos de cese. Este trabajo de caracterización continúa siendo válido como referencia.

Para este ciclo de planificación se ha considerado más apropiado realizar la caracterización de los caudales ecológicos directamente sobre las series mensuales en régimen natural. No puede seguirse el mismo procedimiento de caracterización de ciclos anteriores. En su lugar, manteniendo la filosofía de la ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica, se plantea la caracterización de la temporalidad de las masas de agua en función del número de trimestres con un percentil 15 de las aportaciones por debajo del umbral de 1 l/s, clasificándose la masa como:

- Permanente: en todos los trimestres, el percentil 15 de las aportaciones está por encima de 1 l/s.
- Estacional: en un solo trimestre, el percentil 15 de las aportaciones está por debajo de 1 l/s. En los otros tres trimestres, lo supera.
- Intermitente: en dos o tres trimestres, el percentil 15 de las aportaciones está por debajo de 1 l/s. En los otros trimestres, lo supera.
- Efímero: en los cuatro trimestres, el percentil 15 de las aportaciones está por debajo de 1 l/s.

A continuación, tabular y gráficamente, se muestra la comparación del número de masas de agua según su temporalidad, entre las definidas en el primer ciclo y la propuesta del tercero, ambas considerando el umbral de 1 l/s. Conviene destacar que muchas de las nuevas masas de

agua fijadas en este ciclo de planificación, no consideradas como tales en ciclos anteriores, corresponden a cauces asociados a pequeños embalses de abastecimiento, por lo que el incremento observado en la fracción de masas no permanentes respecto al total de masas resulta coherente.

	Primer ciclo		Propuesta tercer ciclo	
	nº	%	nº	%
Permanente	207	64%	306	60%
Estacional	76	24%	89	17%
Intermitente	24	7%	72	14%
Efímero	2	1%	44	9%
No evaluada	12	4%	1	0%
Total	321		512	

Tabla 3. Comparación numérica de las masas de agua superficial atendiendo a su temporalidad entre el primer ciclo de planificación y la propuesta del tercero

Así mismo, resulta relevante mencionar que, en el artículo 11.3 de la normativa, se propone que en estas masas no permanentes no se otorguen nuevas concesiones de agua durante el período de cese de caudal (período en el que no se fija caudal ecológico).

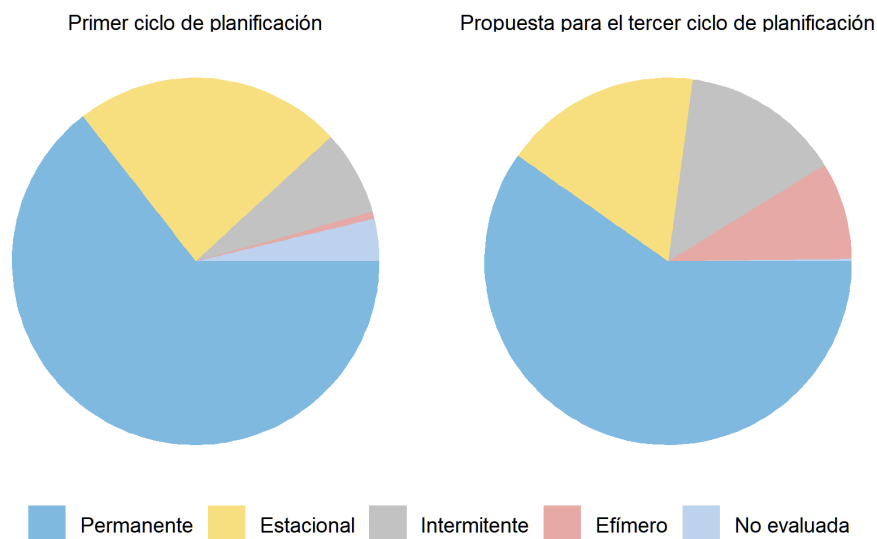


Figura 6. Comparación gráfica del número de masas de agua superficiales atendiendo a su temporalidad entre el primer ciclo de planificación y la propuesta del tercero.

3.1.6 Criterios para la fijación de umbrales que caractericen el cumplimiento del régimen de caudales ecológicos mínimos

Como se puede deducir de la metodología de caracterización del régimen de caudales ecológicos mínimos, las series de aportaciones en régimen natural pueden presentar en ocasiones datos de caudal inferiores al régimen de caudales ecológicos mínimos planteados. A su vez, los propios sistemas de medida de los caudales tienen cierto margen de error.

En las cuencas no reguladas, el caudal circulante será en general bastante superior al caudal ecológico mínimo establecido, si bien serán muy frecuentes los conflictos entre caudal ecológico y usos agrícolas durante los meses de estío, lo que provocará invariablemente que aquellos

aprovechamientos que no cuenten con balsas para regular el caudal incumplan la garantía que marca la IPH. Es esperable que los fallos en el caudal ecológico se presenten con la frecuencia del percentil con el que fueron diseñados.

En las cuencas reguladas, especialmente si están sobreasignadas, es esperable que el caudal circulante se ajuste al caudal ecológico mínimo durante muchos meses. También se podría producir, cuando el uso dominante sea el regadío, la inversión del ciclo hidrológico, con mayores caudales circulantes en verano que en el resto de trimestres. Es esperable que los sistemas regulados garanticen el cumplimiento del caudal ecológico, bajando los fallos por debajo de la frecuencia que marca el percentil con el que fueron diseñados.

En la gestión real, los fallos en el cumplimiento del caudal ecológico serán más frecuentes que lo que muestran los modelos de optimización, puesto que, por un lado, será muy difícil que todos los usuarios sean capaces de gestionar sus tomas teniendo en cuenta si el caudal circulante es superior al caudal mínimo ecológico en todo momento, teniendo en cuenta la dificultad añadida de medir con precisión el caudal circulante frente a cada toma. Por otro lado, los gestores de los embalses no pueden saber de antemano qué caudales van a detraer los usuarios en cada momento, ni los órganos de desagüe permiten liberar exactamente el caudal deseado: deberán liberar caudales con cierto margen de seguridad, por lo que los embalses se vaciarán más rápido.

Dado que en el próximo período 2022-2027 los caudales ecológicos estarán implantados en todas las masas de agua, conviene establecer algún indicador para valorar los fallos que se produzcan en el régimen de caudales ecológicos, que por las causas expuestas, serán inevitables, y que vaya más allá de contar las ocasiones en que no se alcance el caudal ecológico mínimo. Esta clasificación de los fallos ayudará a diagnosticar la situación y se incluirá, en caso de fallos calificados como leves, moderados o destacados, en el informe anual de seguimiento del plan hidrológico, sin menoscabo de que las medidas necesarias sean adoptadas lo antes posible, previa deliberación de las mismas en los casos en que sea preciso en la Comisión de Desembalse, que podría ser convocada al efecto, en función de la magnitud del fallo.

Los criterios que se han considerado para la fijación de estos umbrales para la evaluación de la importancia y magnitud de los posibles fallos son:

- **En masas no reguladas**
 - **Ordinario:** el caudal nunca baja del 70% del caudal mínimo fijado y el caudal medio trimestral es:
 - superior al 95% del caudal ecológico mínimo (Q_{min}) si este Q_{min} es igual o inferior al percentil 5 de las aportaciones en régimen natural.
 - superior al 85% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o superior al percentil 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - superior al 90% del Q_{min} si este Q_{min} está comprendido entre los percentiles 5 y 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - **Leve:** el caudal nunca baja del 40% del caudal mínimo fijado y el caudal medio trimestral es:

- superior al 95% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o inferior al percentil 5 de las aportaciones en régimen natural.
- superior al 85% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o superior al percentil 15 de las aportaciones en régimen natural.
- superior al 90% del Q_{min} si este Q_{min} está comprendido entre los percentiles 5 y 15 de las aportaciones en régimen natural.
- **Moderado:** el caudal llega a bajar del 40% del caudal mínimo fijado y el caudal medio trimestral es:
 - superior al 95% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o inferior al percentil 5 de las aportaciones en régimen natural.
 - superior al 85% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o superior al percentil 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - superior al 90% del Q_{min} si este Q_{min} está comprendido entre los percentiles 5 y 15 de las aportaciones en régimen natural.
- **Destacado:** el caudal medio trimestral es:
 - inferior al 95% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o inferior al percentil 5 de las aportaciones en régimen natural.
 - inferior al 85% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o superior al percentil 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - inferior al 90% del Q_{min} si este Q_{min} está comprendido entre los percentiles 5 y 15 de las aportaciones en régimen natural.
- **Masas reguladas**
 - **Ordinario:** el caudal nunca baja del 80% del caudal mínimo fijado y el caudal medio trimestral es:
 - superior al 95% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o inferior al percentil 5 de las aportaciones en régimen natural.
 - superior al 85% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o superior al percentil 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - superior al 90% del Q_{min} si este Q_{min} está comprendido entre los percentiles 5 y 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - **Leve:** el caudal nunca baja del 50% del caudal mínimo fijado y el caudal medio trimestral es:
 - superior al 95% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o inferior al percentil 5 de las aportaciones en régimen natural.
 - superior al 85% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o superior al percentil 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - superior al 90% del Q_{min} si este Q_{min} está comprendido entre los percentiles 5 y 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - **Moderado:** el caudal llega a bajar del 50% del caudal mínimo fijado y el caudal medio trimestral es:
 - superior al 95% del Q_{min} si este Q_{min} es igual o inferior al percentil 5 de las aportaciones en régimen natural.

- superior al 85% del Qmin si este Qmin es igual o superior al percentil 15 de las aportaciones en régimen natural.
- superior al 90% del Qmin si este Qmin está comprendido entre los percentiles 5 y 15 de las aportaciones en régimen natural.
- **Destacado:** el caudal medio trimestral es:
 - inferior al 95% del Qmin si este Qmin es igual o inferior al percentil 5 de las aportaciones en régimen natural.
 - inferior al 85% del Qmin si este Qmin es igual o superior al percentil 15 de las aportaciones en régimen natural.
 - inferior al 90% del Qmin si este Qmin está comprendido entre los percentiles 5 y 15 de las aportaciones en régimen natural.

La aplicación de estos criterios a cada masa de agua, en ausencia de sequía prolongada, se plasma en el apéndice 3 de este anejo.

En aplicación del artículo 59.7 del TRLA, en los embalses o azudes para abastecimiento de poblaciones, el caudal ecológico a liberar desde la presa no será exigible si el embalse no recibe aportaciones iguales o superiores al caudal ecológico, quedando limitado en estos casos al régimen de entradas naturales al embalse o azud. De acuerdo con lo establecido en la normativa del plan, el gestor del abastecimiento pondrá estas circunstancias en conocimiento de la Confederación Hidrográfica del Tajo. Además, cuando no exista otra alternativa razonable para el abastecimiento de la población y se estime que el abastecimiento pudiera entrar en alerta de acuerdo con su plan de emergencia, o en ausencia de este, el sistema no fuera capaz de atender las demandas durante seis meses, el gestor del abastecimiento podrá proponer a la CHT una reducción justificada del régimen de caudales ecológicos, asociada al mantenimiento de las circunstancias que dieran lugar a esta situación

3.1.7 Régimen en sequías prolongadas

Tal y como se especifica en la IPH, en el caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones que se establece en el Reglamento de la Planificación Hidrológica sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua, y de conformidad con lo determinado en el correspondiente Plan de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía.

Sin embargo, esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la Red Natura 2000 o Lista de Humedales de Importancia Internacional (Ramsar). En el caso de la cuenca del Tajo, esto significa que en aproximadamente el 83% de las masas de aguas superficiales no puede aplicarse esta excepción, como se puede apreciar en la siguiente figura:

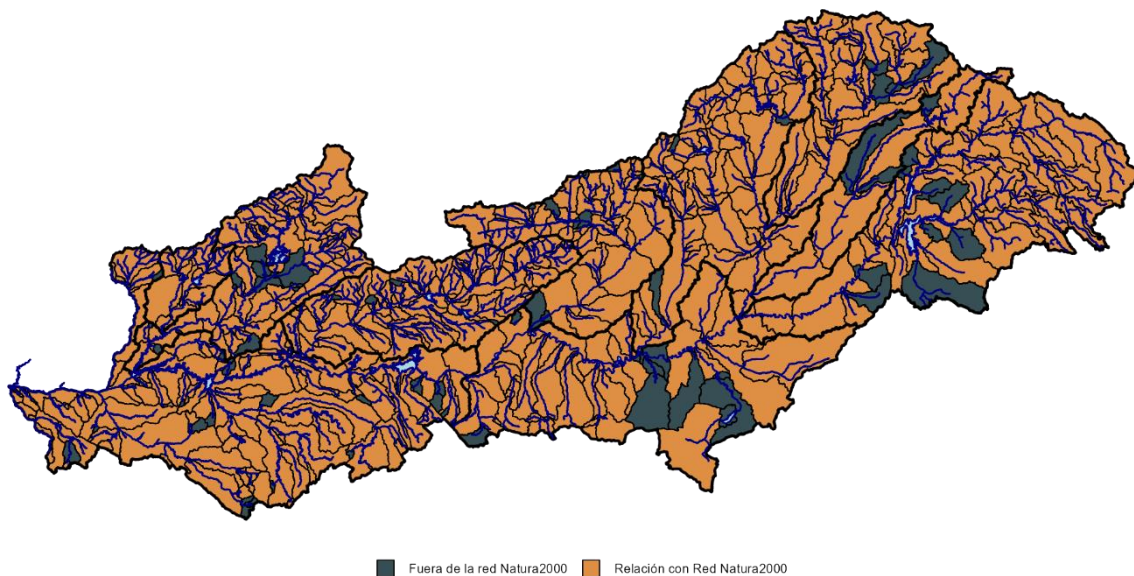


Figura 7. Mapa de las masas de agua superficial vinculadas con espacios de la Red Natura 2000 que presentan hábitats o especies acuáticas.

Para las masas que no están vinculadas con la Red Natura2000, el caudal ecológico mínimo en situación de sequía se ha seleccionado en el rango situado entre el percentil 5 de la serie hidrológica, y el caudal correspondiente al 30% del hábitat potencial útil.

3.1.8 Caudales mínimos en tramos de río entre la toma de un uso no consuntivo y su restitución al cauce.

Una de las decisiones derivadas del proceso de concertación es que se ha considerado adecuado reducir el caudal ecológico respecto al inicialmente propuesto en algunas presas de uso hidroeléctrico relevantes, siempre manteniendo el 30% del hábitat potencial útil (HPU) mínimo considerado en la IPH, con el fin de mitigar la pérdida de producción de energía hidroeléctrica. Para la obtención del caudal asociado a ese 30% del HPU se han utilizado los mismos estudios que se usaron en la propuesta sometida a consulta pública. El mantenimiento de este régimen de caudales ecológicos específico se aplica únicamente entre la toma y el punto de restitución, debiéndose garantizar simultáneamente el cumplimiento del régimen de caudales ecológicos mínimos ordinario a partir de la restitución de los caudales turbinados, aspecto que queda reflejado en el artículo 11.6 de la normativa. Este criterio se adopta para todos los aprovechamientos que figuran en el apéndice 5.7 de la normativa.

3.2 Caudales generadores

3.2.1 Caracterización

La IPH define el caudal generador como *“el caudal que regula la estructura geomorfológica de los cauces, evitando su progresivo estrechamiento y colonización”*. La implantación de esta componente del régimen de caudales ecológicos obligará a los gestores de las presas donde se implante a desaguar estos caudales, con una periodicidad mínima de una vez cada cinco años, en el supuesto de que en ese período no se hubieran producido de manera natural. En el primer

ciclo de planificación se realizó su caracterización conforme a lo establecido en el punto “3.4.1.4.1.4. Caracterización del régimen de crecidas” de la IPH. Fueron unos valores de referencia, pero su aplicación práctica es compleja, pues hay que asegurarse de que estos valores no produzcan daños en el dominio público hidráulico, en infraestructuras o en las actividades humanas establecidas. De ahí que, en la IPH, se indique que *“La validación del caudal generador deberá llevarse a cabo mediante la modelación hidráulica del cauce, en un tramo representativo de su estructura y funcionalidad, teniendo en cuenta, para ello, los estudios de inundabilidad del tramo afectado, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras”*.

Siguiendo estas instrucciones, en este ciclo de planificación se ha realizado una recopilación de estos estudios de inundabilidad específicos de cada tramo, incluidos los valores de referencia que figuran en las normas de explotación de las presas de la cuenca. Se ha adoptado como valor de la magnitud del caudal generador el menor valor de caudal punta de los estudios disponibles en cada tramo. De esta forma, los valores aquí planteados aportan una cierta garantía de que no producirán afecciones significativas en las infraestructuras o en las actividades antrópicas relacionadas con el medio fluvial o realizadas en sus inmediaciones. Lo que no es óbice para que su implantación sea realizada con la máxima cautela, vigilando que no se producen daños. También debe evaluarse la efectividad del régimen de caudales generadores propuesto.

Para su caracterización se han considerado aquellas infraestructuras de regulación que supongan una fuerte alteración del régimen de crecidas aguas abajo. En todas estas situaciones se establecen también los caudales ecológicos máximos.

3.2.2 Consideraciones sobre su aplicación

La realización de una maniobra de crecida artificial para cumplir con el régimen de caudales generadores, se llevará a cabo verificando todos los protocolos de seguridad en situaciones de avenida. Los titulares de las infraestructuras pondrán en conocimiento de la Confederación Hidrográfica del Tajo la fecha en la que procederá a efectuarla y las condiciones de la misma.

La Confederación Hidrográfica del Tajo podrá instar al concesionario a realizar una crecida artificial para garantizar que en cada ciclo de planificación hidrológica se produce un caudal generador o de crecida.

La maniobra de generación de un caudal de crecida será documentada y el titular de la infraestructura remitirá al Organismo de cuenca la información precisa para que éste elabore un informe específico sobre el desarrollo de la misma y los valores alcanzados durante el episodio. Si antes o durante la maniobra de crecida artificial se registrasen caudales de crecida inferiores a los objetivos, que provocasen daños a bienes o personas, se procedería a revisar el caudal generador.

3.3 Distribución temporal de caudales máximos

3.3.1 Introducción

Los caudales máximos no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas en sus estadios más vulnerables frente a caudales demasiado elevados.

Siguiendo las instrucciones de la IPH, el régimen máximo de caudales máximos se verificará mediante el uso de los modelos hidrobiológicos, de 1D ó 2D, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles, como el mantenimiento de la conectividad longitudinal del tramo.

Se realiza una exposición general de la metodología, conforme fue planteada en la caracterización del régimen de caudales ecológicos en el primer ciclo de planificación. Estos estudios se consideran vigentes en la actualidad, adoptándose sus resultados como propuesta para el tercer ciclo de planificación.

3.3.2 Metodología empleada en los estudios realizados en el primer ciclo de planificación

3.3.2.1 Estudio de la capacidad natatoria de la ictiofauna

Es preciso considerar las capacidades de nado de los peces y sus estadios objetivo durante cada hidropériodo que se considere, mediante los tipos de velocidades mencionadas en la “Guía para la determinación de Caudales Ecológicos” (GEC-ver. 0.7).

Según esta guía, *“Para la definición de las velocidades óptimas se deberá recurrir a la recopilación de información científica específica para las especies objetivo seleccionadas en el tramo, a su generación específica por consulta a expertos o bien recurrir al análisis de envolventes de curvas de preferencia. En caso de carecer de información deberá recurrirse a los umbrales de velocidades críticas definidas en la instrucción”*.

En los trabajos del primer ciclo de planificación, se recurrió a expertos y se analizó bibliografía para la definición de las velocidades máximas que pueden soportar las diferentes especies, pero siendo muy poca la información existente al respecto, se decidió tomar como intervalos limitantes de la velocidad máxima las propuestas en la IPH:

- Alevines: 0.5 - 1 m/s
- Juveniles: 1.5 -2 m/s
- Adultos :<2.5 m/s

3.3.2.2 Procedimiento para la determinación de los caudales máximos

El procedimiento seguido para la distribución del régimen de caudales máximos consta de una caracterización hidrológica del tramo, y de una posterior verificación de que dicho percentil

garantiza el refugio para los estadios/especies más restrictivos, y también la conectividad de tramo, mediante los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat.

3.3.2.2.1 Caracterización hidrológica del tramo

Según lo expuesto en la IPH, la caracterización de los caudales máximos se realizó analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Para la caracterización hidrológica de la distribución temporal de caudales máximos se calcularon los percentiles 90 de los meses correspondientes a los años húmedos, para la serie larga (1940/41-2005/06) de caudales en régimen natural.

Para ello, se hizo un estudio de años húmedos, considerando como tales aquellos años que tengan un percentil superior al 75% de la media anual, sobre la serie larga de caudales.

Posteriormente, se calculó el percentil 90 con los datos mensuales de los años húmedos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos buscados para cualquier caudal menor. A este respecto, la IPH recomienda no utilizar percentiles superiores al 90% de excedencia de una serie de caudales naturales mensuales representativa, de al menos 20 años de duración.

Según la IPH *“Este régimen máximo de caudales máximos deberá ser verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo.”* En los siguientes apartados se describe la verificación mediante el modelo hidráulico, siguiendo la metodología expuesta en la Guía de Caudales ecológicos.

3.3.2.2.2 Evaluación del hábitat de refugio

Se definen como refugio aquellas zonas del río con una determinada profundidad mínima de agua, y cuyas velocidades no superan las velocidades máximas para las especies existentes en el tramo. Para ello, se consideraron los intervalos limitantes de velocidad máxima propuestos en la IPH:

Estadio	Velocidad limitante	Profundidad limitantes
Alevín	<1	>0,1
Juvenil	<2	>0,15
Adulto	<2,5	>0,25

Tabla 4. Intervalos limitantes de velocidad máxima propuestas en la IPH

Se hizo un análisis espacial de la distribución de velocidades, analizando el porcentaje de superficie mojada del tramo que supera las velocidades óptimas, con los programas de simulación en una y en dos dimensiones, obteniendo el porcentaje de superficie de refugio sobre el total de la superficie mojada del tramo, representándose en una gráfica el porcentaje de refugio frente a los caudales simulados.

A continuación se presenta un ejemplo de un tramo de simulación en el río Sorbe:

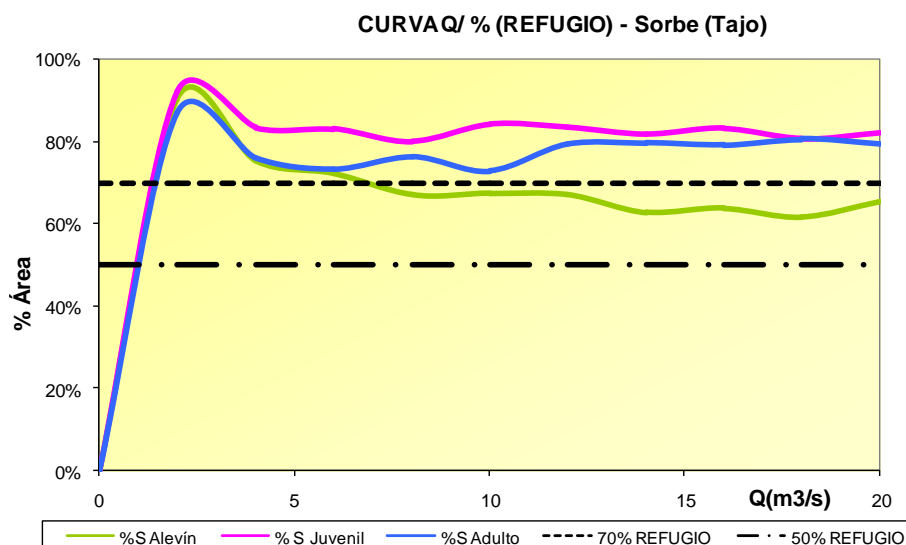


Figura 8. Tramo de simulación en el río Sorbe

Como puede observarse en la gráfica anterior, el alevín es el estadio más restrictivo y el único en el que disminuye el porcentaje de refugio sobre el total de la superficie mojada.

Para aquellos caudales que proporcionan un refugio por debajo del 70% de la superficie mojada del tramo, se tendrá que comprobar que existe conectividad en el tramo, ya que según indica la Guía para la determinación de Caudales Ecológicos, en su apartado de Caudales máximos “Como buena práctica, se deberá asegurar que al menos se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles con el fin de aplicar el principio de precaución y situarnos del lado de la seguridad. Cuando la superficie mojada que supera las velocidades óptimas supera el 30% de la superficie del tramo (refugio inferior al 70% de la superficie) será necesario analizar las condiciones de conectividad y la capacidad de refugio del tramo”.

3.3.2.2.3 Evaluación de la conectividad

Para el cálculo de la conectividad se recurrió a programas de simulación, obteniendo dos presentaciones de resultados diferentes, según se trate de simulación en una dimensión o en dos dimensiones.

En el caso de tramos unidimensionales, se representa la gráfica inferior de anchura de paso-caudal, que muestra la mínima anchura de paso existente para cada caudal. El análisis de esta gráfica se utiliza para comprobar si un caudal es suficiente para producir una conexión de hábitats para los peces (considerando las variables de velocidad y de profundidad). Se ha considerado, por estudios consultados previamente, que, a partir de un valor de 0,25 m de anchura de paso, ya existe conectividad de hábitats en el tramo.

A continuación se presenta un ejemplo de gráfica de anchura de paso-caudal para un tramo unidimensional:

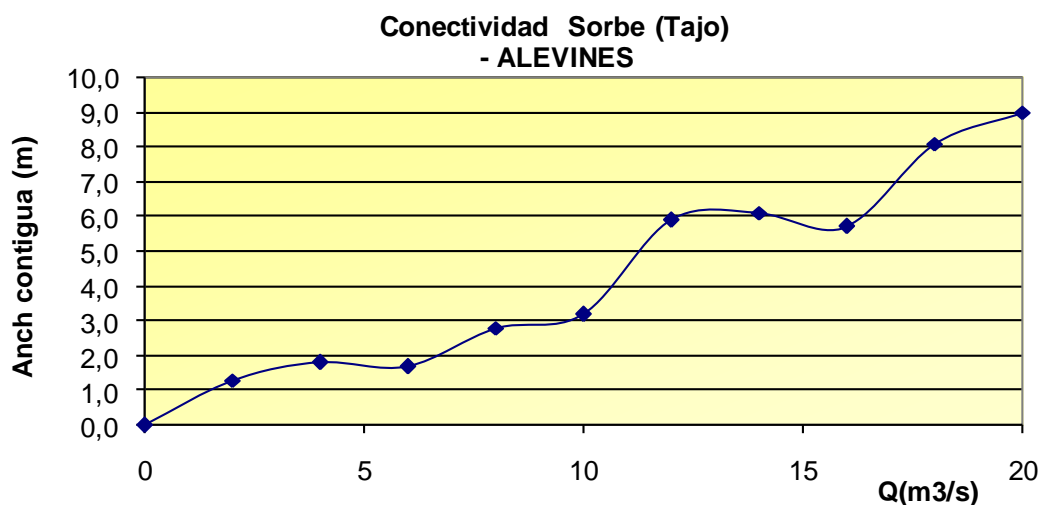
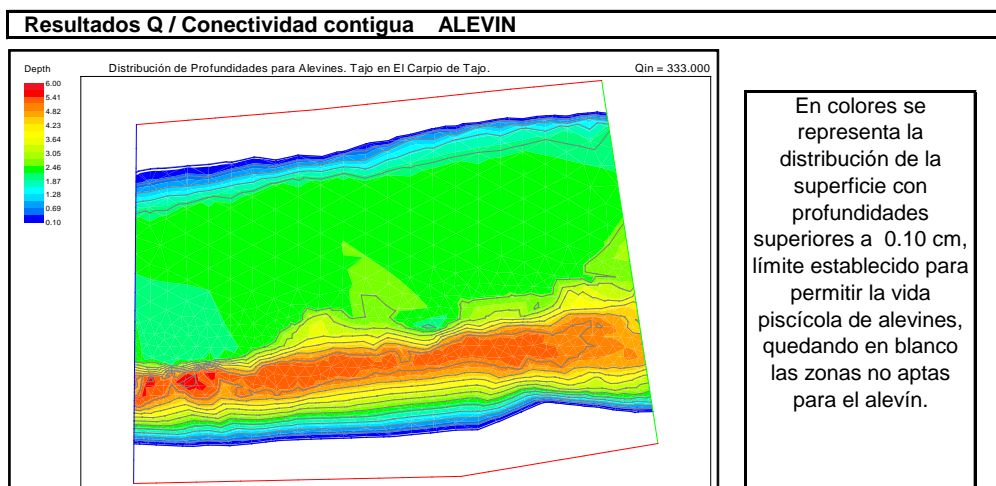


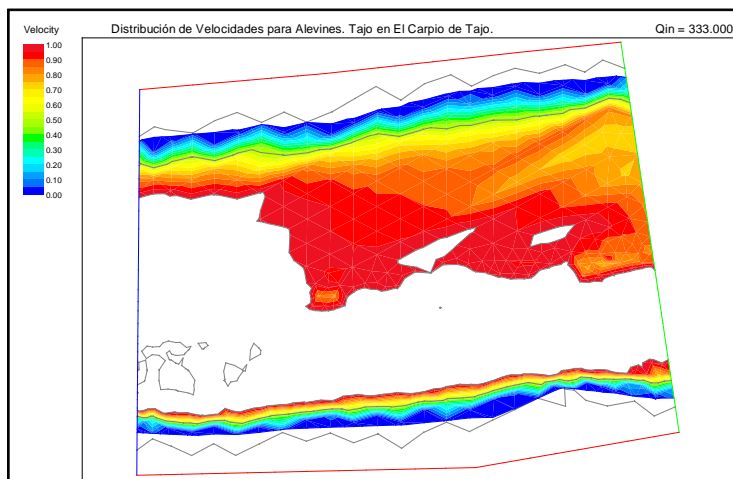
Figura 9. Gráfica de anchura de paso caudal par tramo unidimensional

En el caso de tramos bidimensionales, se observó espacialmente si existía o no conectividad, y para qué caudal se rompía, como se puede observar a continuación, solapando las capas de velocidad/profundidad:

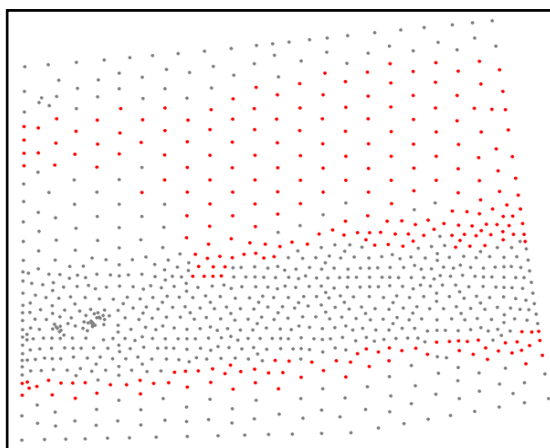
Masa de agua: 101021

Nombre Río: Tajo (Aranjuez, Madrid)





En colores se representa la distribución de la superficie con velocidades inferiores a 1m/s, límite establecido por la IPH para permitir la vida piscícola de alevines, quedando en blanco las áreas con velocidades superiores a 1m/s.



Al fusionar las capas de velocidad y profundidad con las restricciones impuestas para los alevines, se obtiene la imagen que muestra en rojo la distribución de zonas de refugio, permitiendo visualizar la existencia de conectividad en el tramo.

Figura 10. Análisis de la conectividad mediante métodos bidimensionales

3.3.2.2.4 Distribución mensual del régimen de caudales máximos

Para la verificación y el reparto del caudal mensual se tuvieron en cuenta los estadios de las especies presentes en el tramo. Para ello, se caracterizaron los tramos como salmonícolas, ciprinícolas o ambos, siguiéndose el siguiente esquema, tomado de la “Guía para la determinación del Régimen de Caudales ecológicos”, en el apartado 3.1.2.3. *Periodos biológicamente significativos*:

Grupo y Etapa Vital	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVER			VERANO		
	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
CP - Alevines	X								X	X	X	X
CP - Juveniles		X	X	X	X	X	X	X				
CP - Adultos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SL - Alevín						X	X	X	X			
SL - Juvenil							X	X	X	X	X	X
SL - Adulta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SL - Freza			X	X	X	X						

Tabla 5. Caracterización de tramos

Según los estadios de las especies presentes en el tramo de estudio, se verificó que se cumplían las condiciones de refugio y de conectividad del tramo, y a partir de qué caudal se rompían, y para qué estadio, siguiendo el siguiente esquema:

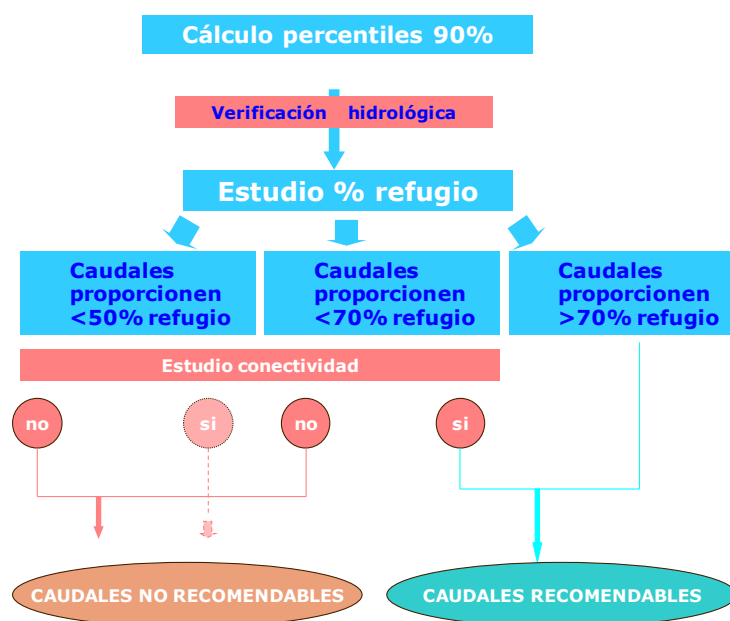


Figura 11. Verificación según estadios de las especies de estudio el cumplimiento de las condiciones de refugio y conectividad

Se trata por tanto de comprobar a partir de qué caudal el porcentaje de refugio estaba por debajo del 70% sobre la superficie mojada total del tramo, y para qué estadios se rompía. En el momento en el que el refugio estuvo por debajo del 50%, ya se consideraron caudales no recomendables en ese tramo, aunque existiera conectividad. Podía ocurrir, por ejemplo, que disminuyera el refugio del 50% sobre el total de la superficie mojada para las condiciones del estadio adulto (de ciprínido o de salmónido), por lo tanto no se podría superar dicho caudal ningún mes, ya que el estadio adulto está presente durante todo el año. Normalmente, es el estadio alevín el más restrictivo, debido al aumento de las velocidades con el caudal. En éste caso, dependiendo de si el tramo era ciprinícola o salmonícola, la restricción de dicho caudal se produciría en épocas diferentes, como se ha mostrado en la tabla anterior. Mientras que para los salmónidos la restricción ocurriría de febrero a mayo, para los ciprínidos tendría lugar en los meses de mayo a septiembre.

En el caso de que el refugio estuviera comprendido entre el 50% y el 70% del total de la superficie mojada del tramo, se tuvo que comprobar la conectividad del tramo. En el momento en el que la conectividad se rompiera, no sería recomendable superar ese caudal en los meses en los que el estadio en concreto estuviera presente. En el caso de que la conectividad no se rompiera para ninguno de los estadios de las especies y se siguiera estando en el rango entre el 50% y el 70% de la totalidad de la superficie mojada del tramo, sí que se podría llegar a esos caudales.

Los resultados finales se presentan mensualmente en función de la validación del caudal máximo simulado, o bien en función de su limitación correspondiente.

3.4 Tasas de cambio horarias

La metodología está basada en el ajuste mediante una función logística (Margaleff, 1977³; Krebs, 1985⁴), cuya expresión es:

$$Q(t) = \frac{Q_f}{1 + e^{(a-r \cdot t)}}$$

Estando “r” –conocido también como factor de escala en el contexto de la función logística– definido por la expresión:

$$r = \frac{a - \ln\left(\frac{1}{b} - 1\right)}{T_{total}}$$

siendo “a”:

$$a = \ln\left(\frac{Q_f}{Q_0} - 1\right)$$

donde:

Q_t : caudal en un tiempo intermedio t

b: valor ajustable próximo a 1 (se considera para los cálculos $b = 0,99$)

Q_0 : caudal de partida

Q_f : caudal final al que se quiere llegar

T_{total} : tiempo total de la duración de la fase (ascendente o descendente) del hidrograma.

La tasa de cambio es la pendiente de $Q(t)$. O lo que es lo mismo, su derivada respecto del tiempo:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{r \cdot Q_f \cdot e^{(a-r \cdot t)}}{(1 + e^{(a-r \cdot t)})^2}$$

La tasa de cambio horaria máxima o pendiente máxima de $Q(t)$ se produce cuando la derivada segunda de $Q(t)$ es igual a 0:

$$\frac{d^2Q(t)}{dt^2} = \frac{2 \cdot r^2 \cdot Q_f \cdot (e^{(a-r \cdot t)})^2}{(1 + e^{(a-r \cdot t)})^3} - \frac{r^2 \cdot Q_f \cdot e^{(a-r \cdot t)}}{(1 + e^{(a-r \cdot t)})^2} = 0$$

Que ocurre para el valor de t:

$$t = \frac{a}{r}$$

Así, la pendiente del caudal o tasa de cambio máxima es:

$$\text{Tasa de cambio máxima} = \frac{dQ(t)}{dt} \left(t = \frac{a}{r} \right) = \frac{r}{4} \cdot Q_f$$

En esta formulación falta por determinar el tiempo total que, siguiendo con la metodología planteada en el plan del primer ciclo de planificación, se basa en las tablas del informe técnico

³ Margaleff López, Ramón. 1977. *Ecología*. Edic. Omega, S.A., Barcelona

⁴ Krebs, C. 1985. *Ecología: Estudio de la distribución y la abundancia*. Edit. Harla. México, D. F.

Realización de Estudios de ecología fluvial en tramos de ríos del ámbito de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir. Río Genil, Anejo II Tomo III, realizado por el CEDEX para el Ministerio de Medio Ambiente en diciembre de 1998.

Para el tramo ascendente se tiene (escalones de 5-20 minutos de duración):

Diferencia de caudal (m ³ /s)	Nº escalones	Tiempo mínimo (min)
10	4	20
20	6	30
40	8	40
60	9	45
80	10	50
100	12	60
120	14	70
140	15	75

Tabla 6. Tiempo mínimo de escalones en rama ascendente

Y en el tramo descendente:

Diferencia de caudal (m ³ /s)	Nº escalones	Tiempo mínimo (min)
10	5	30
20	7	35
40	9	45
60	11	55
80	12	60
100	14	70
120	16	80
140	21	105

Tabla 7. Tiempo mínimo de escalones en rama descendente

Como tónica general, la duración del tramo descendente es un 30% mayor que la del ascendente, porque se intenta evitar que la ictiofauna quede atrapada en pozas laterales. Para simplificar la metodología, esta se aplica únicamente para el tramo ascendente, y para el descendente se consideran los tiempos de duración del hidrograma de la fase ascendente multiplicados por 1,3. Consecuentemente, las tasas de cambio de la fase descendente son las de la fase ascendente divididas por 1,3.

3.5 Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas

En el anejo de caracterización de las zonas protegidas se ha realizado una caracterización hídrica de los humedales que, conceptualmente, abarca con más amplitud la evaluación de los requerimientos mínimos.

4 RESULTADOS

Para facilitar la accesibilidad del documento, se han preparado unos apéndices que incorporan las tablas numéricas con los resultados. Estos apéndices son:

- Apéndice 1. Resultados de la caracterización del régimen de caudales ecológicos (caudales ecológicos mínimos –incluidos los valores reducidos durante las sequías prolongadas en las masas de agua fuera de la Red Natura2000–, caudales generadores, caudales máximos y tasas de cambio).
- Apéndice 2. Tablas de valores de apoyo para la caracterización del régimen de caudales ecológicos (percentiles –5, 10 y 15–, simulación de hábitats y criterios escogidos para la selección de los valores umbrales trimestrales del régimen de caudales ecológicos mínimos).
- Apéndice 3. Tabla de los umbrales de apoyo que ayudan a valorar la importancia y la magnitud de los eventuales fallos en el cumplimiento del régimen de caudales ecológicos mínimos.