

---

## **ESTABLECIMIENTO DE REGÍMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN LAS MASAS DE AGUA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL MIÑO-SIL**

---



## ÍNDICE

	Página
<b><u>1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>2 MARCO NORMATIVO</u></b>	<b><u>8</u></b>
<b><u>3 AMBITO TERRITORIAL</u></b>	<b><u>13</u></b>
<b><u>4 METODOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS</u></b>	<b><u>15</u></b>
4.1 Régimen de caudales ecológicos en ríos permanentes	15
4.1.1 Distribución temporal de caudales mínimos	16
4.1.2 Distribución temporal de caudales máximos	55
4.1.3 Tasa de cambio y régimen de crecidas	61
4.2 Régimen de caudales ecológicos en ríos temporales o efímeros	69
4.2.1 Determinación de la temporalidad de los ríos	69
4.2.2 Determinación del periodo de cese anual	72
4.2.3 Determinación del periodo de cese hiperanual	77
4.2.4 Cálculo de los caudales ecológicos por métodos hidrológicos	79
4.3 Masas de agua muy alteradas hidrológicamente	80
4.4 Extrapolación mediante hidrorregiones de los valores de caudales mínimos calculados por métodos hidrobiológicos	84
4.4.1 Introducción	84
4.4.2 Metodología	85
4.5 Situación patrón de la vegetación de ribera	91
4.6 Concertación	96

## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El agua es un bien escaso en muchas zonas de España donde existe una importante presión antrópica sobre el medio hídrico debido a la utilización del recurso. El gran objetivo de la planificación hidrológica es lograr la compatibilidad de los usos del agua con la preservación y mejora del medio ambiente. Ello requiere de una planificación y gestión eficaces para asegurar el suministro a todos los usuarios y evitar la degradación de los ecosistemas fluviales.

Con objeto de asegurar esta compatibilidad, se han establecido una serie de objetivos medioambientales cuyo cumplimiento debe asegurar la disponibilidad de recursos en cantidad y calidad suficientes. Pero además de estos objetivos, debido a la problemática derivada de la escasez de agua, se hace imprescindible establecer una restricción al uso del recurso, con el objetivo de mantener la funcionalidad de los ecosistemas, evitando su deterioro. Así queda plasmado en la legislación española, que establece la necesidad de determinar los caudales ecológicos en los planes de cuenca, entendiendo los mismos como una restricción impuesta con carácter general a los Sistemas de Explotación. Esta normativa incluye además las disposiciones que definen el concepto de caudal ecológico, su consideración como una restricción previa al uso en los Sistemas de Explotación y el proceso para su implantación.

Es importante destacar que, si bien en la Directiva Marco del Agua (en adelante DMA) no se establece el requerimiento de establecer regímenes de caudales ecológicos, la determinación de los mismos y su mantenimiento supone un paso adelante en el camino hacia el logro del buen estado de las masas de agua, objetivo concreto y principio que inspira toda la DMA. Por lo tanto, los caudales ecológicos no se conciben como un fin en sí mismo, sino como un medio para alcanzar el objetivo citado.

La complejidad intrínseca de este proceso de establecimiento de caudales ecológicos y el gran número de masas de agua superficial en las cuenca en estudio impide la extensión de este proceso a todas aquellas en un reducido plazo disponible. También debe mencionarse la limitada experiencia en algunos trabajos inherentes a este tipo de determinaciones, que, siempre según la Instrucción de Planificación Hidrológica (ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de

Planificación Hidrológica, en adelante IPH), comprenden una doble vertiente. Por una parte, análisis hidrológicos de las masas de agua, a realizar en gabinete y para los que se dispone de información suficiente, al menos en la mayoría de los aspectos a considerar. Por otra la realización de estudios ecológicos “in situ” para conocer las especies que existen, o podrían existir, en cada masa de agua y obtención de las curvas que relacionan el caudal con la disponibilidad de hábitat adecuado para las mismas. Esta segunda parte exige un tiempo y un coste apreciables.

Por lo tanto, consideraciones obvias de índole práctica han llevado a aplicar en esta fase un procedimiento que asegura la compatibilidad de los objetivos buscados con los medios y plazos realmente disponibles. En este entendimiento se han realizado para todas las masas de agua estudios detallados de naturaleza hidrológica.

Por el contrario, los esfuerzos relativos a los estudios de simulación de hábitat se han centrado en sólo un número limitado de masas de agua (del orden del 10% de su totalidad). La elección de las masas a estudiar constituye una decisión trascendental pues deben ser seleccionadas las que definan el régimen de los principales cursos de agua de la cuenca, puedan ser mantenidas con elementos específicos de regulación y sin olvidar las que puedan ser objeto, por diversas razones, de especial conflictividad. De esta forma, quedan cubiertas por estos estudios de simulación de hábitat las denominadas masas estratégicas, que son aquellas en las que el establecimiento del régimen de caudales ecológicos condiciona las asignaciones y reservas de recursos del Plan Hidrológico de cuenca. Obviamente, la concertación debe limitarse a estas masas de agua en las que se han completado estos estudios.

En consecuencia, la inclusión en la normativa del Plan Hidrológico de cada cuenca de valores específicos para los caudales ambientales deberá limitarse en este proceso planificador a aquellas masas de agua seleccionadas en las que adicionalmente deberán existir elementos adecuados de medida para el seguimiento continuo de los mismos.

Para las restantes masas de agua no se han podido alcanzar estas condiciones y los avances tienen que ser más modestos. La extensión de las determinaciones a todas las masas de agua a partir de las obtenidas en las masas de agua estudiadas se ha intentado realizar con el apoyo de bases cartográficas de hidrorregiones y los estudios hidrológicos, pero los resultados obtenidos no permiten su aplicación general a un tema

tan delicado. Procede abrir, con posterioridad a la elaboración del Plan Hidrológico de cuenca, una nueva etapa de estudios para avanzar en la determinación e implantación de caudales ecológicos sobre bases firmes.

De acuerdo con la IPH, el régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición.

Para alcanzar estos objetivos el régimen de caudales ecológicos deberá cumplir los requisitos siguientes:

- a) Proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.
- b) Ofrecer un patrón temporal de caudales que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitat asociados y permita mantener la integridad biológica del ecosistema.

En la consecución de estos objetivos tienen prioridad los referidos a zonas protegidas, a continuación los referidos a masas de agua naturales y finalmente los referidos a masas de agua muy modificadas.

En la medida en que las zonas protegidas de la Red Natura 2000 y de la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar puedan verse afectadas de forma apreciable por los regímenes de caudales ecológicos, éstos serán los apropiados para mantener o restablecer un estado de conservación favorable de los hábitat o especies, respondiendo a sus exigencias ecológicas y manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas de las que dependen.

En el caso de las especies protegidas por normativa europea (anexo I de la Directiva 79/409/CEE, del Consejo, de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres y anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE, del Consejo, de 21 de mayo de

1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres) y por normativa nacional/autonómica (Catálogos de Especies Amenazadas, etc.), así como en el caso de los hábitat igualmente protegidos por normativa europea (anexo I de la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992) y nacional/autonómica (Inventario Nacional de Hábitat, etc.), el objetivo del régimen de caudales ecológicos será salvaguardar y mantener la funcionalidad ecológica de dichas especies (áreas de reproducción, cría, alimentación y descanso) y hábitat según los requerimientos y directrices recogidos en las respectivas normativas.

La determinación e implantación del régimen de caudales en las zonas protegidas no se referirá exclusivamente a la propia extensión de la zona protegida, sino también a los elementos del sistema hidrográfico que, pese a estar fuera de ella, puedan tener un impacto apreciable sobre dicha zona.

La caracterización de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua clasificadas en la categoría de lagos o zonas de transición de tipo lagunar tiene como objetivo fundamental contribuir a alcanzar su buen estado o potencial ecológico a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, proporcionando las condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.

Para la determinación de los requerimientos hídricos de los lagos y zonas húmedas se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- a) El régimen de aportes hídricos deberá contribuir a conseguir los objetivos ambientales.
- b) Si son dependientes de las aguas subterráneas, se deberá mantener un régimen de necesidades hídricas relacionado con los niveles piezométricos, de tal forma que las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia:
  - Impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas.

- Cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados que dependan directamente de la masa de agua subterránea.
- c) Si están registrados como zonas protegidas, el régimen de aportes hídricos será tal que no impida el cumplimiento de las normas y objetivos en virtud del cual haya sido establecida la zona protegida.
- d) También se deberán estudiar las circunstancias especiales de la zona inundada y su contorno para proponer medidas que permitan aumentar el valor ambiental de lagos y zonas húmedas.

En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 del 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 especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía.

Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la Red Natura 2000, cuando su designación esté relacionada con la protección de hábitats y/o especies ligados al medio acuático, o en la lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, según lo establecido por la normativa vigente.

Como ya se ha mencionado, la metodología para la determinación de los regímenes de caudales ecológicos sigue las disposiciones establecidas en la IPH. Este documento establece los procedimientos técnicos básicos para la obtención de dichos regímenes y es, por tanto, la referencia fundamental en la que se han basado los estudios realizados.

En el desarrollo de las disposiciones incluidas en la IPH colaboró un amplio grupo de expertos representantes de diferentes universidades, centros de investigación y administraciones del agua y de conservación de la naturaleza. Asimismo, este grupo de expertos ha seguido dando apoyo para la realización de los trabajos mediante la redacción de la "*Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos*" (sin publicar), en la que se detalla la metodología, ilustrándola con ejemplos que complementan y facilitan su aplicación.

El presente documento pretende establecer un resumen de los trabajos realizados, considerando, tras un análisis del marco normativo y una breve exposición del ámbito de estudio, la metodología que se ha llevado a cabo a lo largo de los trabajos, para cada uno de los temas abordados, pasando posteriormente a la exposición de resultados en el capítulo siguiente.

## 2 MARCO NORMATIVO

Este apartado presenta un breve resumen de los contenidos relativos al establecimiento de regímenes de caudales ecológicos en los documentos normativos prioritarios:

- a) DMA
- b) Real Decreto 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA)
- c) Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional
- d) Ley 11/2005, de 22 de julio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional
- e) Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH).
- f) Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), aprobada por la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, desarrolla los contenidos de la normativa y define la metodología de aplicación.

### DIRECTIVA MARCO DEL AGUA

La Directiva Marco del Agua (DMA), incorporada al ordenamiento jurídico español mediante el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) y el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), determina que los estados miembros de la Unión Europea deberán establecer las medidas necesarias para alcanzar el buen estado de las masas de agua superficiales, subterráneas y costeras a más tardar a los 15 años después de la entrada en vigor de la Directiva.

La DMA también 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.

Como se ha mencionado, la DMA no establece el requerimiento de establecer regímenes de caudales ecológicos, sino que la determinación de éstos se entiende como un paso en el camino correcto hacia el logro del buen estado de las masas de agua, objetivo concreto y principio que inspira toda la DMA. Por lo tanto, los caudales ecológicos no se conciben como un fin en sí mismo, sino como un medio para alcanzar el objetivo citado.

## TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS

La norma básica en materia de planificación y gestión de las aguas es el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA), compuesto por el Real Decreto Legislativo (RDL) 1/2001, de 20 de julio, y sus sucesivas modificaciones, entre las cuales cabe destacar para este documento la introducida por la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional, que incorpora las bases de los caudales ecológicos.

El artículo 42 del TRLA, Contenido de los planes hidrológicos de cuenca, establece lo siguiente:

*Artículo 42. Contenido de los planes hidrológicos de cuenca.*

*1. Los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:*

*(...)*

*b) La descripción general de los usos, presiones e incidencias antrópicas significativas sobre las aguas, incluyendo:*

*(...)*

*c') La asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación o recuperación del medio natural. A este efecto se determinarán:*

*Los caudales ecológicos, entendiendo como tales los que mantienen como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.*

Por otro lado, en el artículo 59.7 se establecen los caudales ecológicos como restricciones a los sistemas de explotación:

*Artículo 59. Concesión administrativa.*

*7. 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 la 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 realizarán estudios específicos para cada tramo de río.*

*Artículo 98.*

*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.*

**LEY 10/2001 DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL Y LEY 11/2005 POR LA QUE SE MODIFICA LA LEY 10/2001 DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL**

La Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, así como su modificación mediante la Ley 11/2005, de 22 de junio, desarrollan el artículo 59.7 de la Ley 1/2001 del Texto Refundido de la Ley de Aguas. Así, en el artículo 26 de la Ley 10/2001 (con las modificaciones establecidas por la Ley 11/2005), se establece lo siguiente:

*Artículo 26. Caudales ambientales.*

*1. A los efectos de la evaluación de disponibilidades hídricas, los caudales ambientales que se fijen en los Planes Hidrológicos de cuenca, de acuerdo con la Ley de Aguas, tendrán la consideración de una limitación previa a los flujos del sistema de explotación, que operará con carácter preferente a los usos contemplados en el sistema. Para su establecimiento, los Organismos de*

*cuena establecerán estudios específicos para cada tramo de río, teniendo en cuenta la dinámica de los ecosistemas y las condiciones mínimas de su biocenosis. Las disponibilidades obtenidas en estas condiciones son las que pueden, en su caso, ser objeto de asignación y reserva para los usos existentes y previsibles. La fijación de los caudales ambientales se realizará con la participación de todas las Comunidades Autónomas que integren la cuenca hidrográfica, a través de los Consejos del Agua de las respectivas cuencas, sin perjuicio de lo dispuesto en la disposición adicional décima en relación con el Plan Integral de Protección del Delta del Ebro.*

2. *Sin perjuicio de lo establecido en el número anterior y desde el punto de vista de la explotación de los sistemas hidráulicos, los caudales ambientales tendrán la consideración de objetivos a satisfacer de forma coordinada en los sistemas de explotación, y con la única preferencia del abastecimiento a poblaciones.*

Por su parte, el artículo 31 de la Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional establece lo siguiente:

*Artículo 31. Humedales.*

- *El Ministerio de Medio Ambiente, en coordinación con las Comunidades Autónomas, establecerá un sistema de investigación y control para determinar los requerimientos hídricos necesarios que garanticen la conservación de los humedales existentes que estén inventariados en las cuencas intercomunitarias.*
- *Asimismo, el Ministerio de Medio Ambiente y las Comunidades Autónomas promoverán la recuperación de humedales, regenerando sus ecosistemas y asegurando su pervivencia futura.*

## **REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA**

El Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), aprobado mediante el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, recoge el articulado y detalla las disposiciones del TRLA relevantes para la planificación hidrológica.

El artículo 3.j) recoge y amplía la definición contenida en el TRLA, ligándola a los conceptos de estado introducidos por la Directiva Marco:

*j) Caudal ecológico: 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.*

En su artículo 18 recoge lo referente a la implantación de regímenes de caudales ecológicos.

*Artículo 18. Caudales ecológicos.*

- 1) El plan hidrológico determinará el régimen de caudales ecológicos en los ríos y aguas de transición definidos en la demarcación, incluyendo también las necesidades de agua de los lagos y de las zonas húmedas.*
- 2) Este régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición. Para su establecimiento los organismos de cuenca realizarán estudios específicos en cada tramo de río.*
- 3) El proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos se desarrollará conforme a un proceso de concertación que tendrá en cuenta los usos y demandas actualmente existentes y su régimen concesional, así como las buenas prácticas.*
- 4) En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente, siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua. Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la Lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar, de 2 de febrero de 1971. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones.*

- 5) *En la determinación del flujo interanual medio requerido para el cálculo de los recursos disponibles de agua subterránea se tomará como referencia el régimen de caudales ecológicos calculado según los criterios definidos en los apartados anteriores.*

## INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

La Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), aprobada por la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, recoge y desarrolla el articulado del Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) y del Texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA).

La IPH en el apartado 3.4 recoge ampliamente la cuestión de los caudales ecológicos, desarrollando tanto sus objetivos como las fases en que debe implantarse y las metodologías a seguir para ello.

Puesto que la IPH establece todas las bases metodológicas que han de considerarse en la implantación de caudales ecológicos y necesidades hídricas de lagos y humedales, se omite en este apartado la transcripción de la citada norma, recogiendo en los apartados posteriores. Baste con comentar aquí que en el presente documento se muestra una síntesis de los estudios realizados para la caracterización de los caudales ecológicos, que permitan atender a los requerimientos anteriormente expuestos del TRLA. En concreto el alcance de los estudios es el punto a) del citado punto 3.4, que expresa “*Una primera fase de desarrollo de los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en todas las masas de agua. Los estudios a desarrollar deberán identificar y caracterizar aquellas masas muy alteradas hidrológicamente, sean masas de agua muy modificadas o no, donde puedan existir conflictos significativos con los usos del agua. Durante esta fase se definirá un régimen de caudales mínimos menos exigente para sequías prolongadas*”.

## 3 AMBITO TERRITORIAL

Los trabajos de definición del Régimen de caudales ecológico, se han realizado en las cuencas Hidrográficas de los ríos Miño-Sil y Limia.

El listado de las masas tipo río simuladas hidrobiológicamente en el Miño-Sil se presenta a continuación:

**Masas tipo río simuladas hidrobiológicamente:**

Estas masas proceden de un proceso previo de selección en función de criterios diversos (existencia de confluencia de usos, presencia de zonas LICs, tramos bajo embalse, etc.), el cual se expone en el capítulo correspondiente a las masas simuladas hidrobiológicamente.

DEMARCACIÓN MIÑO-SIL, RÍO	CÓDIGO MASA
LOR	ES455MAR001560
LIMIA	ES510MAR002363
MIÑO1	ES378MAR000222
SARRIA	ES396MAR000270
SIL3	ES412MAR000500
RIO DE LAS VEGAS (ARROYO DE VALSECO)	ES414MAR000590
BOEZA	ES418MAR000710
ANCARES	ES424MAR000830
SIL1	ES425MAR001001
SIL2	ES436MAR001180
CAMBA	ES438MAR001320
XARES (BAJO EMBALSE PRADA)	ES450MAR001450
XARES (CABECERA)	ES443MAR001380
CABE	ES463MAR001660
MAO	ES464MAR001670
MIÑO2	ES472MAR001850
UMA	ES498MAR002230
MIÑO3	ES494MAR002260
LOURO	ES502MAR002291
CARBALLO	ES504MAR002320
AVIA	ES480MAR001960
BIBEI	ES451MAR001440
ARNOIA	ES482MAR002080
MIÑO CABECERA	ES372MAR000052

## 4 METODOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS

El objeto de este documento tiene una relación muy estrecha con el apartado 3.4 Caudales ecológicos de la IPH. En concreto se han realizado estudios para la caracterización de:

- Régimen de caudales ecológicos en ríos permanentes y temporales, contemplado:
  - Distribución temporal de caudales mínimos.
  - Distribución temporal de caudales máximos (en aquellas masas simuladas hidrobiológicamente en las que tiene sentido realizar tal estudio)
  - 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 aguas de transición.
- Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas.

### 4.1 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN RÍOS PERMANENTES

El régimen de caudales ecológicos incluye los siguientes componentes:

- a) Caudales mínimos que deben ser superados con objeto de mantener la diversidad espacial del hábitat y su conectividad, asegurando los mecanismos de control del hábitat sobre las comunidades biológicas, de forma que se favorezca el mantenimiento de las comunidades autóctonas.
- b) Caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas más vulnerables a estos caudales, especialmente en tramos fuertemente regulados.
- c) Distribución temporal de los anteriores caudales mínimos y máximos, con el objetivo de establecer una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea

compatible con los requerimientos de los diferentes estadios vitales de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua.

- d) Caudales de crecida aguas abajo de infraestructuras de regulación, especialmente centrales hidroeléctricas de cierta entidad, con objeto de controlar la presencia y abundancia de las diferentes especies, mantener las condiciones físico-químicas del agua y del sedimento, mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica y favorecer los procesos hidrológicos que controlan la conexión de las aguas de transición con el río, el mar y los acuíferos asociados.
- e) Tasa de cambio máxima aguas abajo de infraestructuras de regulación, con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, como pueden ser el arrastre de organismos acuáticos durante la curva de ascenso y su aislamiento en la fase de descenso de los caudales. Asimismo, debe contribuir a mantener unas condiciones favorables a la regeneración de especies vegetales acuáticas y ribereñas.

Como paso inicial evidente, se ha procedido a la clasificación de las masas conforme los criterios de la IPH y de la “*Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Mínimos*”. Así se han podido clasificar las masas como permanentes (*cursos fluviales que en, régimen natural, presentan agua fluyendo, de manera habitual, durante todo el año en su cauce*) y no permanentes, y dentro de éstas, como:

- a) Estacionales
- b) Temporales
- c) Efímeras.

---

#### 4.1.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÍNIMOS

Se ha definido un régimen de caudales mínimos con una distribución temporal mensual, a partir de la combinación de métodos hidrológicos e hidrobiológicos (modelación de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada masa) en las masas con estudio de campo. En el resto de las masas, sólo se dispone del correspondiente estudio

hidrológico, ajustado mediante extrapolación de resultados conforme a las hidrorregiones definidas por el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, adscrito orgánicamente al Ministerio de Fomento y funcionalmente a los Ministerios de Fomento y de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

#### 4.1.1.1 MÉTODOS HIDROLÓGICOS

Es el grupo más simple de metodologías para estimar los caudales ambientales. 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 medias, percentiles, etc.

Estos estudios hidrológicos se realizan tanto en el final de cada masa, como en el punto de campo de aquellas masas en las que se han aplicado además métodos hidrobiológicos.

Tal y como establece la IPH, los métodos hidrológicos para obtener la distribución temporal de caudales mínimos, se han basado en alguno de los siguientes criterios, diferenciándose al menos dos periodos hidrológicos homogéneos, que en el caso del presente estudio, ha sido una diferenciación mensual:

- 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 ha utilizado 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, que permitirán definir el umbral habitual del caudal mínimo.

Se ha trabajado a partir de caudales medios naturales restituidos a escala diaria, obtenidos de la desagregación de los datos naturales mensuales procedentes del sistema

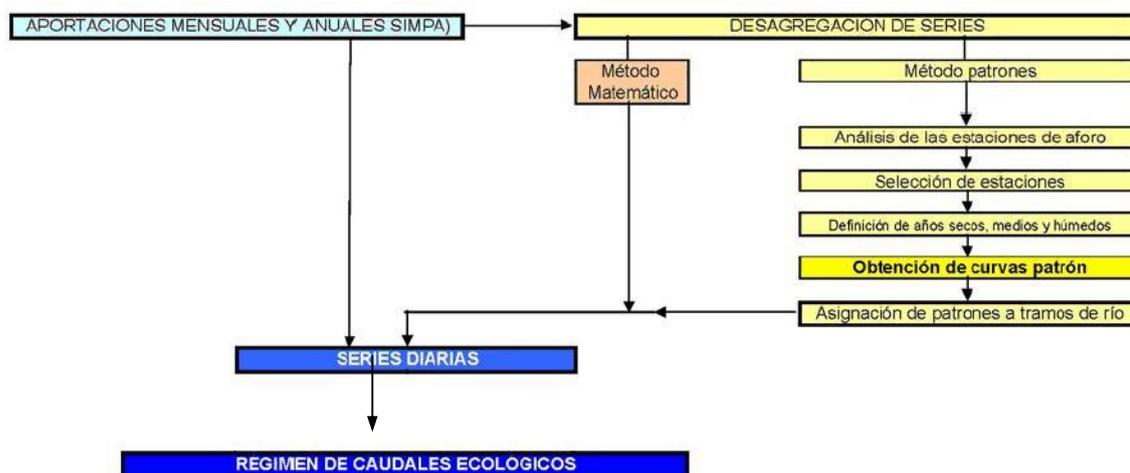
integrado precipitación/aportación SIMPA 2 realizado por el CEDEX. La serie sobre la que se ha trabajado (para caudales mínimos) es la serie corta 1980-2006.

#### 4.1.1.1.1 OBTENCIÓN DE SERIES DE CAUDALES NATURALES DIARIOS

Aunque algunos métodos hidrológicos pueden basarse en datos mensuales, la mayoría necesita de datos de caudales naturales diarios, siendo por tanto necesaria la desagregación de los datos mensuales a diarios, lo que puede entenderse como la primera de las verdaderas etapas de trabajo, de la cual se obtendrán los resultados para los distintos aspectos a tratar. Así, para cada masa en estudio se ha buscado y aplicado una serie de patrones de distribución diarios correspondiente a la estación de control en régimen natural (o casi), situada en las proximidades y que tenga una serie de datos lo más amplia posible.

De este modo, las series mensuales naturales, se han multiplicado por el correspondiente coeficiente adimensional diario, con lo cual, las series resultantes tienen exactamente el mismo patrón temporal que la serie de la cual se obtuvieron dichos coeficientes. Es decir, ambas distribuciones estadísticas tienen el mismo parámetro de forma, aunque el de escala será diferente, pero la autocorrelación temporal será idéntica.

La desagregación se ha realizado tanto para la serie larga (1940/1941 – 2005/2006), como para la serie corta (1980/1981 – 2005/2006).



Los resultados de la desagregación son válidos tanto para las masas permanentes como para las no permanentes.

#### 4.1.1.1.2 MÉTODOS DERIVADOS DE LA SELECCIÓN DE PERCENTILES (QP5 Y QP15)

---

Según la IPH, uno de los métodos hidrológicos que pueden ser empleados es la definición de percentiles entre el 5 y 15 % a partir de la curva de caudales clasificados, que permitan definir el umbral habitual del caudal mínimo, tomando una serie de al menos 20 años. Se ha trabajado a nivel diario con una serie de datos comprendida entre 1980 a 2006.

La definición de un percentil, habitualmente situado entre el 5 y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados, permite definir el umbral habitual del caudal mínimo a establecer para la determinación de un régimen ambiental de caudales.

#### 4.1.1.1.3 MÉTODO DEL CAUDAL BÁSICO

---

Está basado en la metodología desarrollada por el CEDEX a través de A. Palau, y colaboradores (Universidad de Lleida). Se trata de un método hidrológico que se ha desarrollado a partir de la idea de que el caudal que circula por un tramo de río (series hidrológicas), es la variable primaria que contiene toda la información necesaria para la organización física y biológica del ecosistema fluvial, y se fundamenta en una serie de cálculos matemáticos realizados en series de aportaciones naturales de periodicidad diaria.

**El Caudal Básico (Qb)** es el componente fundamental de la metodología, y corresponde al caudal mínimo necesario para que se conserve la estructura y función del ecosistema acuático afectado. Es el caudal mínimo que debe circular en todo momento por el río, aunque no siempre el recomendado por la metodología, como se verá más adelante.

Se deduce del estudio de discontinuidades en la tendencia de variación de los caudales mínimos, obtenidos a partir de series seleccionadas de caudales naturales medios diarios. La base de cálculo son las medias móviles obtenidas a partir de la fórmula:

$$\mu_{p,s}^j = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^{k=s} q_{p+k-1}^j$$

donde “s” es el intervalo escogido de media móvil (varía de 1 a 100), “p” es el número de orden de la media móvil dentro de cada columna de la matriz (varía de 1 a 366 – s) y “j” es el año considerado.

Los datos de partida para el cálculo del Qb son los registros históricos de las series de caudales medios diarios, “qij”, donde “j” son los distintos años considerados e “i” son los días del año y por lo tanto varía de 1 a 365. De esta forma se obtiene una matriz 365 x n° de años de caudales medios diarios.

Sobre cada columna de esta matriz (que responde a cada uno de los años considerados), y empezando por el último año disponible (más actual), se calculan las medias móviles sobre intervalos de orden crecientes (retardos) comenzando en 1 (medias de datos tomados de 1 en 1) hasta un máximo de 100 (medias de datos tomadas de 100 en 100), de tal forma que se obtienen “j” tablas trapezoidales de 100 columnas y un número de filas que va de 365 en la primera columna (medias móviles de orden 1) a 266 en la última columna (medias móviles de orden 100).

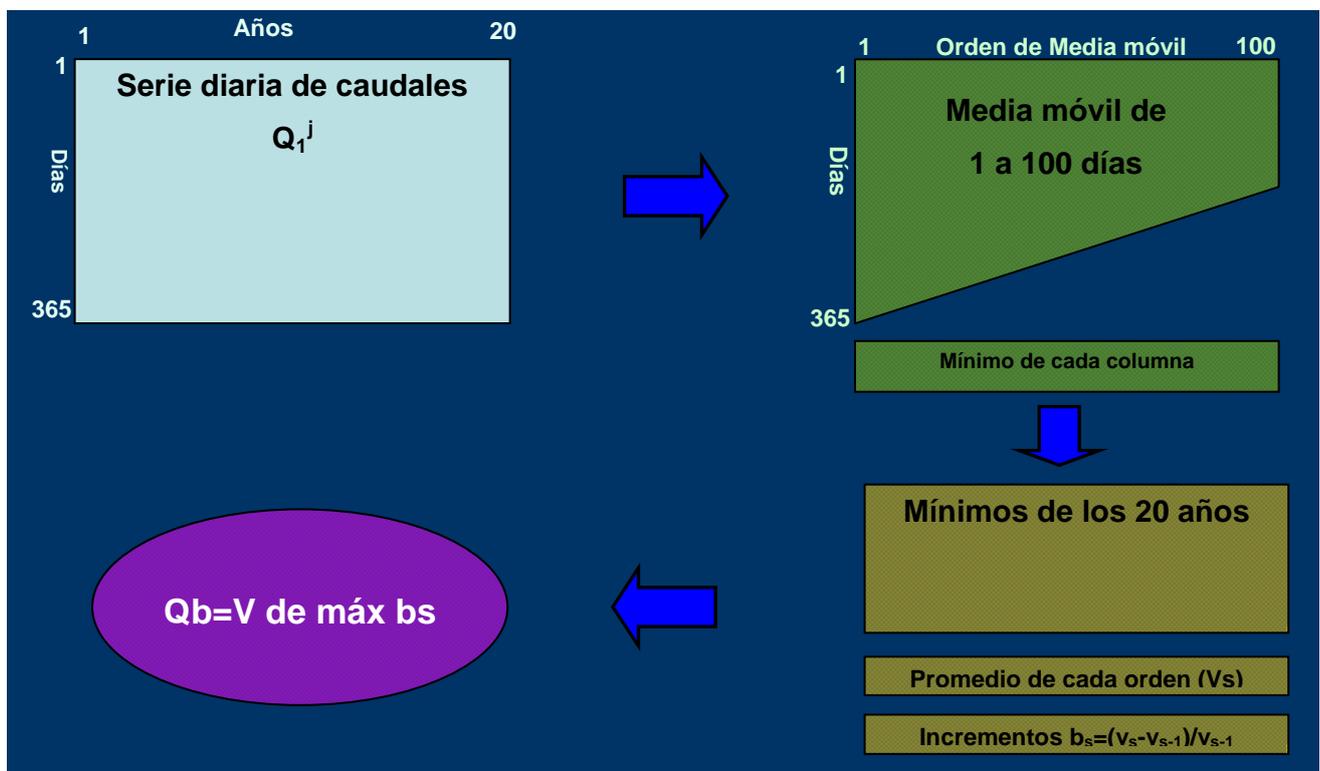
De cada una de las columnas se obtiene el valor mínimo, que correspondería al promedio del período de caudales medios mínimos diarios de 1, 2, 3, ..., 100 días consecutivos, y que tiende hacia el caudal medio anual (media móvil de orden 365), siendo por tanto siempre menor que él. Esto se repite para cada uno de los años considerados, y se obtiene una matriz de caudales mínimos de (n° de años) x 100 datos.

A partir de la matriz de mínimos, se calculan las medias aritméticas por columnas, obteniéndose una serie de 100 valores (vector vs) sobre el que se calcula el mayor incremento relativo entre cada par de valores consecutivos, siendo el Qb el caudal mayor que define dicho par de valores. A continuación se presenta un esquema orientativo del

proceso de cálculo del caudal básico a partir de una matriz inicial de caudales medios diarios de “n” años.

La flexibilidad de esta metodología permite variar, bajo un criterio adecuado, algunos de sus cálculos. Así sucede con la parte final del cálculo del Qb, que puede realizarse, tal y como considera el propio autor, procediendo de la siguiente manera:

En lugar de calcular directamente el vector media en función de la matriz de (nº de años) x100 obtenida, se calculan los incrementos relativos para cada una de las filas de dicha matriz, así como el caudal correspondiente al máximo incremento en cada una de ellas. De esta forma se obtiene un número de caudales mínimos igual al número de años del período de estudio, siendo el Caudal Básico la media de éstos (o, bajo el criterio del hidrólogo, la mediana, el mínimo, el máximo, o cualquier otra función estadística adecuada al régimen natural de caudales del río).

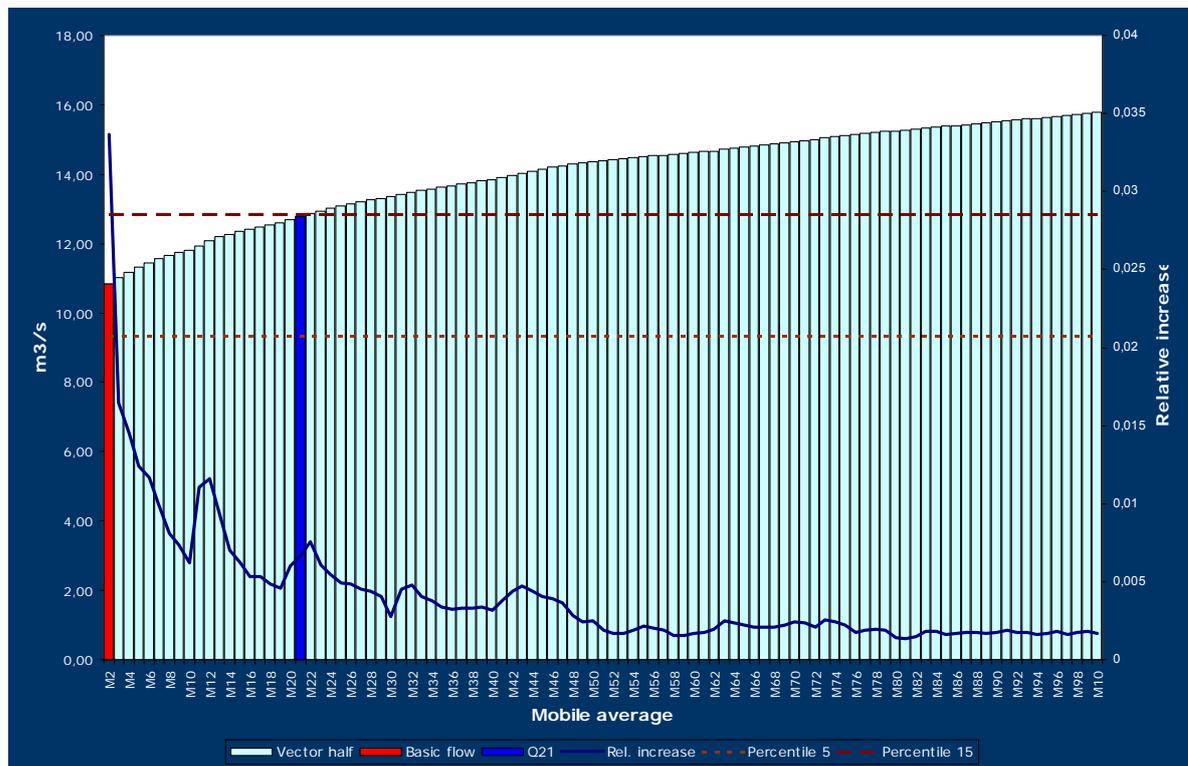


Esquema del proceso del cálculo del caudal básico

El mes en el que se inician las series de datos tiene mucha importancia para el cálculo del Qb y puede condicionar el resultado final, ya que si se empieza a mitad de un período

de caudales mínimos, éste no quedaría correctamente representado en el cálculo de las medias móviles y podría dar lugar a un cálculo erróneo del  $Q_b$ . Por ello para el cálculo del  $Q_b$  hay que empezar las series de datos diarios por un mes que no contenga el mínimo caudal medio diario anual, y que tampoco sea el mes con la media mensual de caudales medios diarios más baja.

El caudal mínimo, ya sea el obtenido de aplicar el método del caudal básico o cualquier otro método, hay que transformarlo en un régimen anual. Aunque la IPH permite que se proponga únicamente un caudal de estiaje y otro de aguas altas, las metodologías más usuales proponen series de caudales mensuales que sean proporcionales a los caudales naturales.



Vectores resultantes para  $Q_b$  básico y Caudal media móvil de orden único ( $Q_{21}$ )

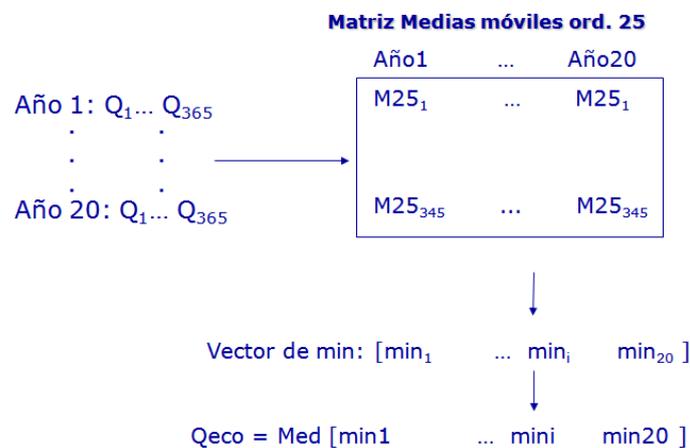
#### 4.1.1.1.4 MÉTODO DE LA MEDIA MÓVIL DE ORDEN 21 Y 25

La media móvil de orden 25 es un método estadístico desarrollado en la Escuela de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid bajo la dirección de Diego García Jalón y que representa como caudal ecológico el definido por la media de los caudales medios

mínimos correspondientes a 25 días consecutivos, calculada sobre la serie hidrológica seleccionada.

La IPH hace también referencia a la media móvil de orden 21, que se calcula de la misma forma, si bien con un periodo de 21 días consecutivos.

El procedimiento de cálculo queda esquematizado en la siguiente figura, considerando una serie de 20 años.



#### 4.1.1.1.5 EL FACTOR DE VARIACIÓN

El caudal mínimo, ya sea el caudal básico ( $Q_{bas}$ ) o el correspondiente al  $Q_{21}$  ó  $Q_{25}$ , e incluso los obtenidos por métodos hidrobiológicos que se describen más adelante en este documento, 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.

La IPH permite que se proponga únicamente un caudal de estiaje y otro de aguas altas, pero las metodologías más usuales proponen series de caudales mensuales que sean proporcionales a los caudales naturales.

Se ha trabajado con distintos factores de variación para ver su repercusión: el propuesto en el método del Caudal Básico, también con su variante de la raíz cúbica en lugar de cuadrada; otro de formulación similar pero basado no en caudales medios mensuales

sino en el resultado de los percentiles 15 de cada mes, e incluso con otro que proporciona un rango de variación comprendido entre 1, para el mes de menor caudal y 2 para el de mayor caudal. La formulación de los distintos factores de variación empleados es la siguiente:

Factor Variación 1	Factor Variación 2	Factor Variación 3	Factor Variación 4
$F_{\text{var 1}} = \sqrt{\frac{Q_i}{Q_{\text{min}}}}$	$F_{\text{var 2}} = 3 \sqrt{\frac{Q_i}{Q_{\text{min}}}}$	$F_{\text{var 3}} = 1 + \sqrt{\frac{Q_i - Q_{\text{min}}}{Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}}}$	$F_{\text{var 4}} = \sqrt{\frac{\text{Perc } 15_i}{\text{Perc } 15_{\text{min}}}}$

Donde “Qi” es el caudal natural del mes “i”, “Qmin” es el caudal natural del mes más seco, “Qmax” es el caudal natural del mes más húmedo. Por su parte, “Perc 15i” es el percentil 15 del mes “i” y “Perc15min” es el percentil 15 de mes más seco.

Por su parte, hay que mencionar mientras los percentiles 5 y 15 a nivel anual se obtienen de toda la serie de datos, los percentiles mensuales se obtienen del cálculo de los datos diarios de cada mes, con lo que en este caso no se aplican factores de variación, pues la misma sale de la propia variación de la serie.

El factor de variación tiene una gran importancia. En la figura siguiente se aprecia el porcentaje que supone sobre el caudal natural, el régimen de caudales ecológicos que se defina, apreciándose una gran diferencia entre la adopción de uno u de otro. Así si se toma para el Q básico el factor de variación 4, el régimen de caudales supondría un 20% de la aportación anual, mientras que si se adopta el factor de variación 1, dicho porcentaje ascendería a un 32%; es decir, un 12% de diferencia.

La diferencia estriba en la forma de la curva que genera la formulación de dichos factores de variación, más plana al adoptar el factor de variación 4. Es decir, partiendo del mismo caudal mínimo de estiaje, 5,31 m<sup>3</sup>/s, la amplificación que genera mes a mes una fórmula u otra es muy distinta, dando como resultado un caudal medio anual de 6,29 m<sup>3</sup>/s con el factor de variación 4, frente a un 10,13 m<sup>3</sup>/s con el factor de variación 1.

Finalmente conviene decir que aunque los factores de variación se han determinado de forma mensual, podrían realizarse agrupaciones de ellos, por ejemplo de forma estacional.

		MEDIA DE CAUDALES (m³/s)												Media	%	
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	M	J	J	Ag	S	O	anual	s/Qnat
Q natural		37,23	49,49	56,16	48,78	38,12	37,38	34,90	30,96	15,58	9,57	8,00	9,30	31,72	100%	
Perc 5 *		7,66	7,52	7,12	9,99	9,29	10,81	10,47	8,69	6,72	5,89	5,89	7,79	7,99	25%	
Perc 15 *		9,93	11,59	12,90	11,86	13,79	13,93	14,95	12,53	7,91	7,79	7,79	7,79	11,06	35%	
<b>Factor de variación</b>	<b>Qaforado</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Factor de variación 1</b>	F var 1	2,15	2,48	2,64	2,46	2,17	2,15	2,08	1,96	1,39	1,09	1,00	1,34			
	Q básico	11,40	13,15	14,00	13,05	11,54	11,42	11,04	10,40	7,37	5,78	5,31	7,10	10,13	32%	
	Q 21	13,27	15,30	16,30	15,19	13,43	13,30	12,85	12,10	8,58	6,73	6,18	8,26	11,79	37%	
	Q 25	13,59	15,67	16,69	15,56	13,75	13,62	13,16	12,40	8,79	6,89	6,33	8,46	12,08	38%	
<b>Factor de variación 2</b>	F var 2	1,66	1,83	1,91	1,82	1,68	1,67	1,63	1,56	1,24	1,06	1,00	1,21			
	Q básico	8,84	9,72	10,14	9,67	8,91	8,85	8,65	8,31	6,61	5,62	5,31	6,44	8,09	25%	
	Q 21	10,29	11,31	11,80	11,26	10,37	10,30	10,07	9,67	7,69	6,54	6,18	7,50	9,41	30%	
	Q 25	10,54	11,59	12,08	11,53	10,62	10,55	10,31	9,91	7,88	6,70	6,33	7,68	9,64	30%	
<b>Factor de variación 3</b>	F var 3	1,78	1,93	2,00	1,92	1,79	1,78	1,75	1,69	1,39	1,18	1,00	1,36			
	Q básico	9,45	10,24	10,62	10,20	9,51	9,46	9,28	8,98	7,41	6,25	5,31	7,24	8,66	27%	
	Q 21	11,00	11,92	12,36	11,87	11,07	11,01	10,80	10,45	8,62	7,27	6,18	8,43	10,08	32%	
	Q 25	11,26	12,21	12,66	12,16	11,34	11,27	11,06	10,70	8,83	7,45	6,33	8,63	10,33	33%	
<b>Factor de variación 4</b>	F var 4	1,13	1,22	1,29	1,23	1,33	1,34	1,39	1,27	1,01	1,00	1,00	1,00			
	Q básico	6,00	6,48	6,84	6,55	7,07	7,10	7,36	6,74	5,35	5,31	5,31	5,31	6,29	20%	
	Q 21	6,98	7,54	7,96	7,63	8,23	8,27	8,57	7,84	6,23	6,18	6,18	6,18	7,32	23%	
	Q 25	7,15	7,72	8,15	7,81	8,43	8,47	8,77	8,03	6,38	6,33	6,33	6,33	7,49	24%	

Repercusión sobre  
aportación natural con  
FV1 = 32%

Repercusión sobre  
aportación natural con  
FV4 = 20%

#### 4.1.1.2 MÉTODOS HIDROBIOLÓGICOS

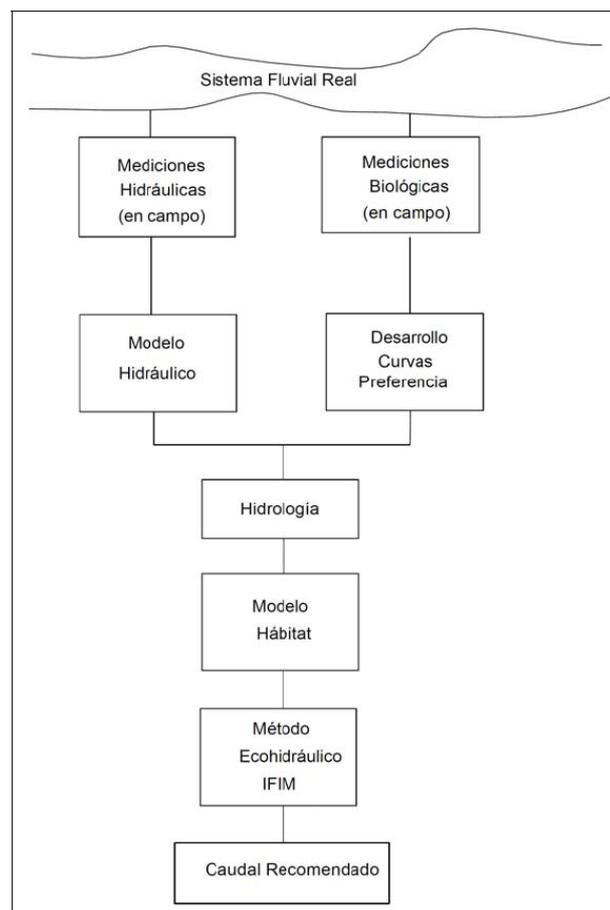
Los métodos de modelación de la idoneidad de hábitat se basan en la simulación hidráulica, acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat físico para la especie o especies objetivo, obteniéndose curvas que relacionen el hábitat potencial útil con el caudal en los tramos seleccionados.

Para el desarrollo de estos trabajos se ha utilizado la metodología IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*), la cual analiza las diferentes condiciones hidráulicas que se producen en un cauce al variar los caudales circulantes, relacionando además las preferencias de las especies seleccionadas mediante el uso de curvas, y obteniendo finalmente una relación entre el caudal circulante y el hábitat disponible para la especie.

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, que nos indica las condiciones en las que se van a encontrar las especies que pueden estar presentes, se llega al concepto del Hábitat Potencial Útil, herramienta con la que se planteará el régimen ambiental de caudales.



**Representación esquemática de la metodología IFIM.**

El ajuste mediante la modelación de la idoneidad del hábitat se ha basado 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 han realizado 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 no vadeables.

#### 4.1.1.2.1 SELECCIÓN DE MASAS PARA LA SIMULACIÓN HIDROBIOLÓGICA

Se ha partido de las masas de agua tipo río definidas en cada una de las cuencas y se ha procedido a una clasificación de la información disponible. Para la caracterización de esos tramos, se ha trabajado con las capas SIG de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil, con información sobre:

- Masas de agua
- Embalses y azudes, destino de los mismos
- Centrales hidroeléctricas y minicentrales
- LIC's y ZEPA's y otros espacios protegidos
- Regadíos
- Canales, conducciones, etc
- Masas de agua subterránea
- Ecotipos
- Estaciones de aforo
- Etc

Después de la caracterización de los tramos según los datos de partida, se seleccionaron como listado previo de trabajo una serie de tramos que fueran representativos de cada una de las cuencas, cubriendo todos sus ecotipos.

Para la selección de los tramos se ha tenido en cuenta:

- Tramos bajo embalse.
- Tramos bajo embalse donde ya se habían definido unos determinados Caudales ecológicos en el anterior plan de cuencas.

- Tramos dentro de espacios Protegidos.
- Tramos donde pudiesen existir conflictos de usos (abastecimiento, riegos, centrales hidroeléctricas...).

Tras varias reuniones técnicas y contraste de opiniones, se llegó a unos listados con las masas definitivas sobre la que trabajar desde un punto de vista hidrobiológico.

#### 4.1.1.2.2 TRABAJO DE CAMPO

---

La modelización de hábitat requiere de unos trabajos de campo intensos en cada una de las fases que se describirán a continuación, y la forma de recogida de datos de campo será diferente según la modelización sea unidimensional ó bidimensional.

En cualquier caso, antes de la toma de datos en campo, ha sido necesaria la realización de unos trabajos de gabinete.

Primero, se ha efectuado un estudio de las posibles zonas para ubicar los estudios y facilitar las tareas de campo, mediante ortofotos, cartografía de la zona, datos impress, puntos de pesca EFI's... para conocer la accesibilidad del tramo, la existencia o no de barreras e irregularidades que puedan afectar al flujo.

Para la localización del punto de muestreo, se ha buscado una zona representativa entre unos 150-300 m. de longitud. Para ello se ha valorado la representatividad morfológica, de mesohábitats, la vegetación de ribera, también se han considerado las entradas y salidas de agua. Se ha intentado que los puntos de muestreo tuviesen una proporción de mesohábitats semejante al tramo anteriormente recorrido, así como unas series de características hidráulicas que facilitasen el calibrado del modelo, siendo importante la introducción en el tramo de secciones de control o transectos que permitan realizar aforos de muy buena calidad.

Una vez seleccionado el tramo, se ha procedido a la toma de datos de coordenadas GPS en los puntos que se creían necesarios y localización de las distintas secciones transversales ó transectos. Estos transectos constituyen una línea recta aproximadamente transversal al flujo, a lo largo de la cual se miden las condiciones

hidráulicas. El criterio de ubicación y número de transectos ha sido diferente según el tipo de modelización que vaya a ser llevada a cabo:

- Modelos Unidimensionales: los transectos han de representar todos los distintos tipos de mesohábitats del tramo de estudio. Además, en relación con la simulación hidráulica conviene situarlos antes y después de las pérdidas singulares de energía, como resalto hidráulica, contracción y expansión, bajada brusca del fondo, etc., y también en cada cambio brusco de pendiente de lámina de agua.

Una vez establecidos la posición de los transectos (perpendiculares al flujo), se han marcado en ambas orillas (siempre que ha sido posible), con el número del transecto y orilla, según la dirección del flujo, enumerando los transectos desde aguas abajo hacia aguas arriba. El marcaje dependerá de la zona a marcar y de la existencia o no de elementos fijos (piedras, troncos...). En caso de que no fuese posible, se han utilizado estacas de madera ó de metal, clavos en las propias piedras...

Tiene como finalidad que el marcaje perdure en el tiempo hasta la siguiente campaña de campo, ya que es la única forma de poder volver a medir en los mismos transectos para poder calcular la curva de gasto de los mismos, y la única forma de tener elementos fijos con los que relacionar la altura de la lámina de agua de una a otra campaña de campo. En caso contrario habría que proceder a reproducir la localización del transecto mediante mediciones de su relación con el anterior y posterior, con la consiguiente posibilidad de error.

- Modelo Bidimensional: únicamente se han realizado los transectos que se han creído necesarios para la medición del caudal, mucho menor al número de transectos que en un tramo unidimensional. Para la simulación bidimensional no es necesario que queden representados los cambios hidráulicos ya que éstos quedan definidos por la detallada topografía tomada en el tramo.

La calidad de aforo del inicio y del final del tramo de estudio conviene que sea excelente, sin una entrada y una salida hidráulicamente compleja, ya que puede ocasionar problemas al correr el modelo.

Una vez seleccionado ya el tramo y marcados los transectos que se van a medir, es importante que todo el trabajo topográfico y de hidrometría se realice en un plazo breve de tiempo, para que no existan cambios relevantes en el caudal circulante durante el tiempo de trabajo. Para controlar estos cambios y hacer los ajustes pertinentes, se colocaban varillas o reglas clavadas en una zona con agua, tomando su altura de agua cada varias horas, a la entrada ó salida del tramo.

Como se ha comentado, para la simulación del hábitat físico se ha seleccionado un tramo de estudio representativo de la masa, de distinta longitud en función de la entidad del río, características del tramo, método de simulación, etc. En general entre 150 y 300 m, si bien en ocasiones se ha acudido a distancias bastante superiores.

Por su parte, se ha intentado que el número de transectos fuese entre 12 y 15, si bien en tramos con excesivo caudal o en los que se han presentado problemas este número ha podido ser menor.

Los trabajos de campo se han realizado en dos campañas. En la primera de las campañas, se ha hecho el levantamiento topográfico y la toma de datos de sustrato, así como la toma de datos para el cálculo del caudal de calibración. En la segunda de las campañas, únicamente se han tomado datos de cota de lámina de agua y caudal, para el cálculo de las curvas de gasto.

A continuación se explica de qué manera se ha procedido a la toma de datos en el campo.

### **Topografía**

La toma de datos topográficos variará en función del tipo de modelización que se vaya a llevar a cabo en el tramo de estudio. Como los modelos se han utilizado para el cálculo de los caudales mínimos y para la validación hidrobiológica de caudales máximos, ha sido necesario la toma de datos de topografía del lecho, y desde las orillas hasta el bankfull, estudiando previamente el terreno y buscando la correcta identificación del mismo (por estudio de los puntos más altos de depósito de sedimentos, cambios en la vegetación, cambios de pendiente en la sección transversal, cambio en los materiales de las orillas, socavación de orillas, líneas de coloración en rocas).

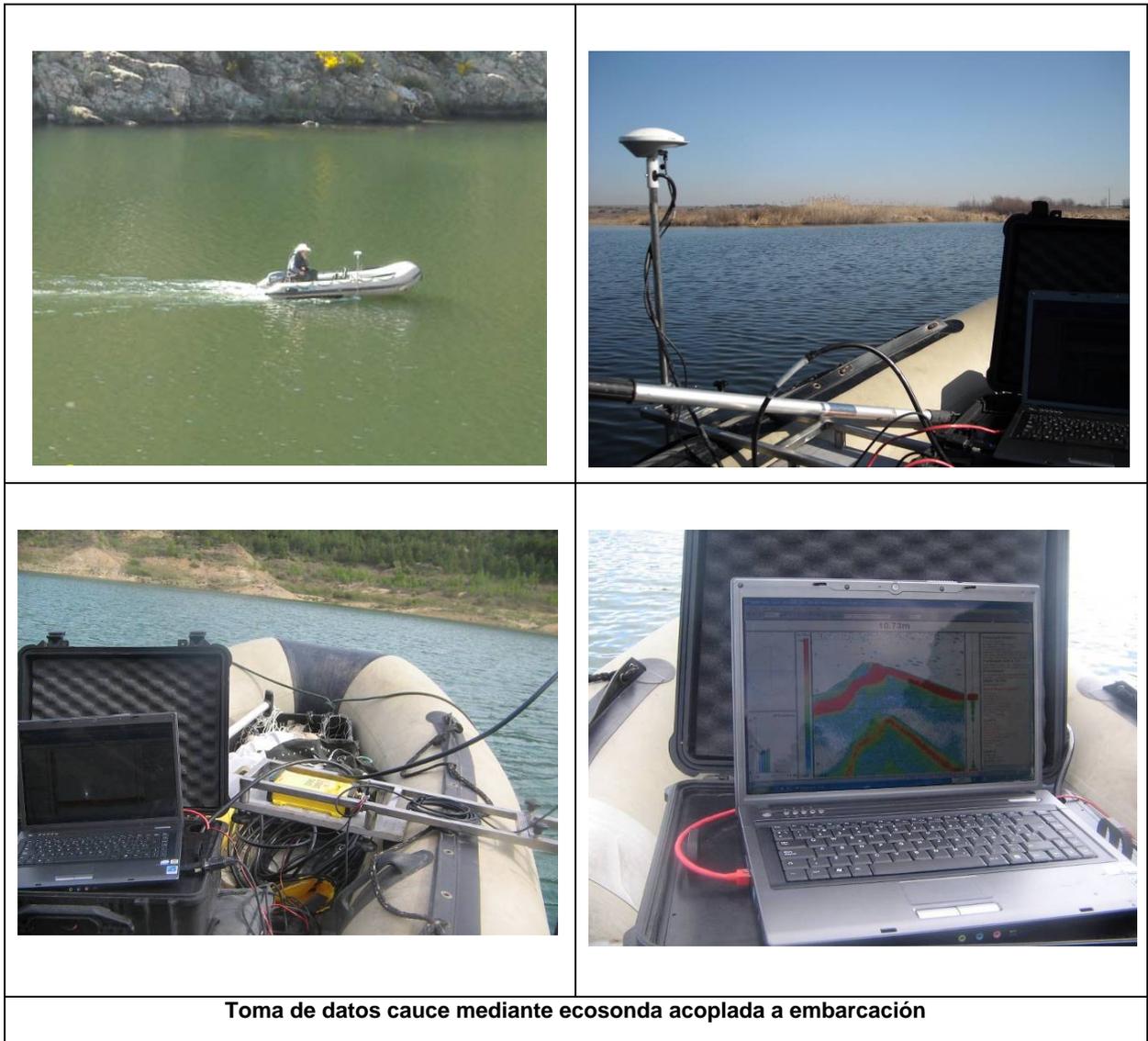
- **Modelización Unidimensional:** La topografía para las simulaciones hidráulicas en 1D se ha realizado mediante estación total. Se ha recogido la información topográfica de las secciones transversales definidas tanto dentro como fuera del cauce. También se han cogido los datos de la cota de lámina de agua en cada transecto, para el cálculo de la curva de gasto, así como los datos topográficos de las varillas, estacas, piedras...ó elementos utilizados para el marcaje de los tramos. Es muy importante, porque es la única manera de relacionar la primera y la segunda campaña, y como se ha explicado anteriormente, relacionar las cotas de lámina de agua a elementos fijos.



**Toma de datos de topografía mediante Estación Total**

- **Modelo Bidimensional:** Para poder obtener el modelo hidráulico bi-dimensional, es necesario recoger en campo la información topográfica tri-dimensional. Los datos de campo consisten en nodos o puntos topográficos de coordenadas X, Y, Z y tipo de sustrato, tomados mediante estación total de topografía y georreferenciados en campo mediante GPS. Para tramos no vadeables ha sido necesario el uso de ecosonda para tomar la batimetría del lecho, también georreferenciados con GPS.  
Para la obtención de un buen modelo digital del terreno se han tomado datos especificados como líneas de rotura (breaklines), al menos pie de orilla/talud, cabeza de talud y otros elementos singulares (bordillos o zapatas de puentes o canales, etc.).

La cota de la lámina de agua es crucial para la posterior simulación hidrobiológica, así como los datos topográficos de los elementos utilizados para el marcaje de los tramos.



### Hidrometría

La medición del caudal también se realizado de distinta manera para tramos en 1 dimensión que en 2 dimensiones:

- **Modelización Unidimensional:** Para la medición de la velocidad se ha utilizado un correntímetro. El método empleado con éste es el de las fajas verticales, en las que las mediciones de un río se calcula utilizando las mediciones de velocidad y profundidad, realizadas en cada una de las secciones transversales definidas.

Para la determinación del caudal que pasa por una sección transversal, se requiere saber el caudal que pasa por cada una de la subsecciones en que se divide la sección transversal. Para ello se ha seguido el siguiente procedimiento:

- a. La sección transversal del río donde a aforar se divide en varias fajas verticales o subsecciones, tal como se puede observar en la figura que se muestra más abajo. El número de fajas depende del caudal estimado que podría pasar por la sección: En cada subsección, no debería pasar más del 10% del caudal estimado que pasaría por la sección. Otro criterio es que, en cauces grandes, el número de subsecciones no debe ser menor de 20, en la tabla que se muestra a continuación se presenta el criterio tomado para realizar las subsecciones de un transecto:

Anchura lámina de agua	Número de subsecciones
< 4m	15
4-8m	20
> 8m	25

Criterio de medición de las Fajas Verticales.

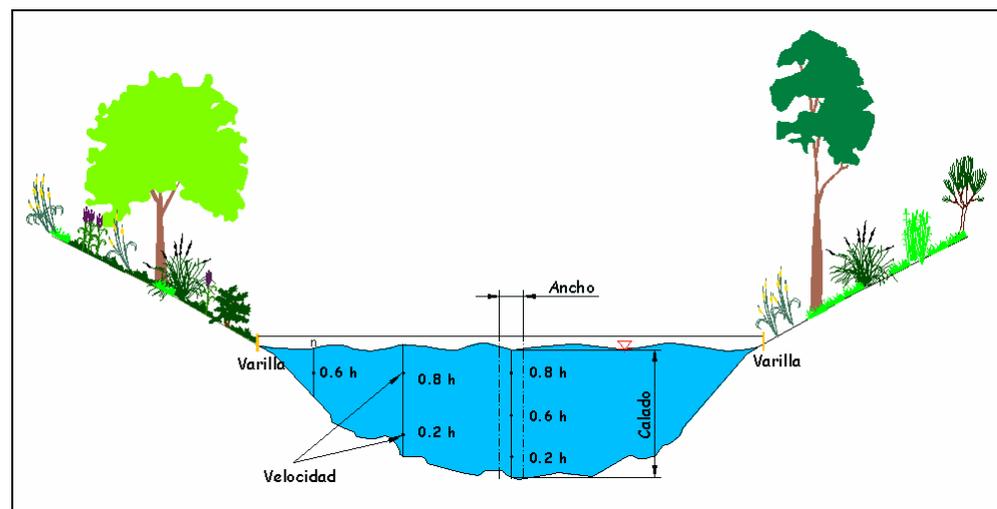
El ancho de la sección transversal (superficie libre del agua) se divide en tramos iguales, cuya longitud es igual al ancho superior de la sección transversal dividido por el número de subsecciones calculadas.

- b. En cada tramo se trazan verticales, hasta alcanzar el lecho. La profundidad de cada vertical se puede medir con la misma varilla del correntímetro que está graduada. Las verticales se trazan en el mismo momento en que se van a medir las velocidades. En cada una de las fajas verticales el número de mediciones a realizar vendrán definidas por el calado presente en cada faja:

Calado de la Faja	Número de mediciones	Profundidad de lectura del correntímetro
0 - 0.45 m	1	0.60h
0.45-1.20m	2	0.20h / 0.8h
> 1.20m	3	0.2h / 0.6h / 0.8h

Criterio de medición de las Fajas Verticales.

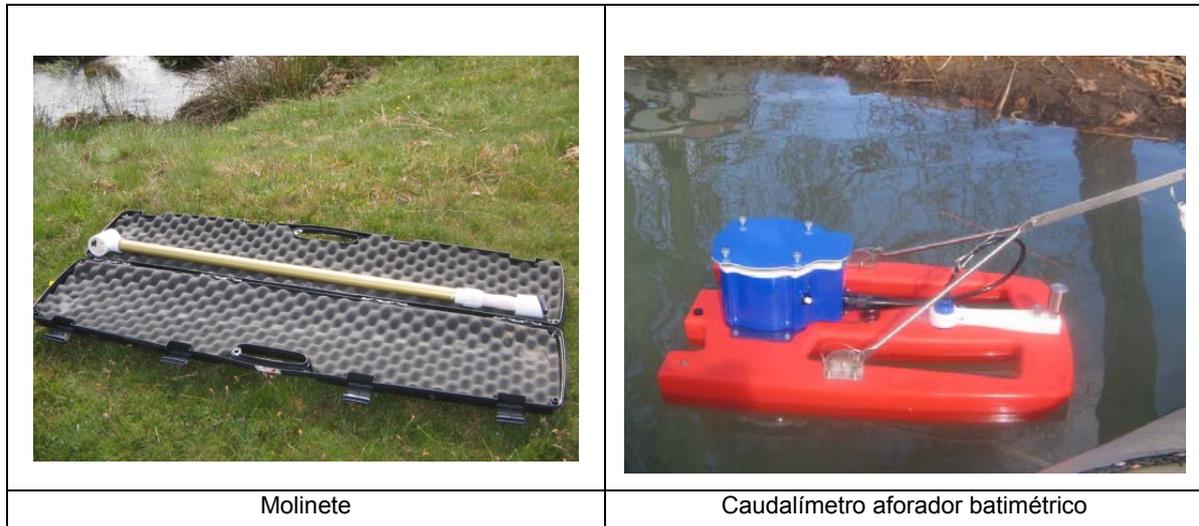
- c. Se obtiene la velocidad promedio del agua en cada vertical. La velocidad promedio del agua en cada faja vertical es el promedio de las velocidades a 0.2h, 0.8h y dos veces la velocidad a 0.6h, que encierran la subsección.
- d. El caudal de agua que pasa por el río es la suma de los caudales que pasan por las subsecciones.



Método de aforo de las Fajas Verticales.

- Modelo Bidimensional: en caso de ser un tramo no vadeable, se han realizado varios transectos de medidas de caudal, con un caudalímetro aforador batimétrico con control remoto, pasándolo, ayudado por una cuerda, transversalmente, perpendicularmente al flujo. De ésta manera se toman los registros de caudal, que posteriormente se descargan en el ordenador, obteniendo automáticamente el valor del caudal medido. En el caso de ser tramos vadeables se ha procedido con el molinete, midiendo los transectos

marcados como se explica en el apartado anterior de modelos unidimensionales.



### Sustrato

La toma de datos de sustrato varía según el tramo sea unidimensional ó bidimensional, ya que los requerimientos de entrada son diferentes en cada modelo:

- Para los tramos unidimensionales se han tomado datos de sustrato para cada una de las celdas en las que se ha dividido el transecto. El dato se toma como % de sustrato (por ejemplo, 25% de grava, 25% de arena y 50% roca madre).
- La toma de datos de sustrato para los modelos bidimensionales se ha realizado mediante croquis. Una vez observados los resultados en gabinete, esta es la base para asignar polígonos de sustrato al modelo bidimensional de una forma sencilla.

Los tipos de sustrato deben ser coherentes con los utilizados en estudios de microhábitat, ya que en la simulación se toman estos datos de campo para evaluar el hábitat con las funciones de idoneidad disponibles. Se seguirá la siguiente clasificación según el diámetro medio (Martínez Capel, 2000), simplificada a partir de la American Geophysical Union:

- 1 Limo: < 62  $\mu$ m. L
- 2 Arena. 62  $\mu$ m. – 2 mm. A
- 3 Gravilla. 2 - 8 mm. GV
- 4 Grava. 8 – 64 mm. GR
- 5 Cantos Rodados. 64 – 256 mm. CR
- 6 Bloques o bolos. > 256 mm. B
- 7 Roca Madre. RM
- 8 Vegetación. V

A parte, se han realizado la toma de otros tipos de datos, recogiendo toda la información posible para:

- la posterior simulación hidrobiológica del tramo (tipo de mesohábitat y de calidad de aforo para cada transecto, croquis del tramo, fotografías aguas arriba y aguas abajo de cada transecto, así como fotografías a cada una de las orillas...).
- la identificación y posterior localización de los tramos y transectos (fotografías, toma de datos de GPS siempre que sea posible, croquis, descripciones de las localizaciones...)
- si en algún momento se registra aumento ó disminución de caudal en la regleta, apuntar esa variación.

#### 4.1.1.2.3 SIMULACIÓN DE HÁBITAT

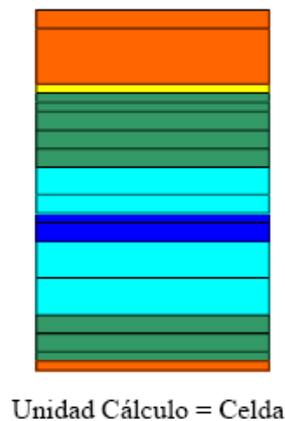
---

Las características hidráulicas de un río se generan como consecuencia del régimen de caudales; en un determinado instante, la velocidad y la profundidad de las aguas y la sección mojada sólo dependerán de la cantidad de agua, es decir, del caudal, si suponemos que la sección transversal del cauce es invariable. Se trata de ir viendo como a medida que varía este caudal se generan nuevas condiciones de profundidad, velocidad y sección mojada. Esto representa un problema de hidráulica fluvial que no está resuelto satisfactoriamente y requiere acudir a un proceso de simulación hidráulica.

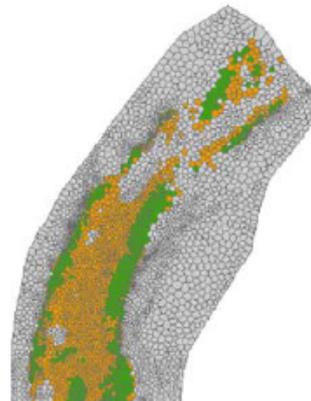
Para la simulación hidrobiológica de los tramos seleccionados se han utilizado dos programas diferentes:

- Programa en 1 dimensión: RHYHABSIM (“River Hydraulic and Habitat Simulation”; Jowett, I.G, 1989)
- Programa en 2 dimensiones: River2D (Ghanem, A.H., et al, 1996) de la University of Alberta-Canada.

## Cálculo de HPU comparativa según modelos 1D-2D



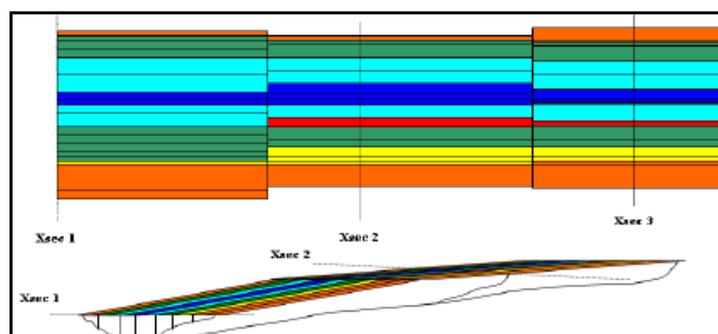
Unidad Cálculo = Celda



Unidad Cálculo =  
Polígonos de Thiessen  
(basado en TIN)

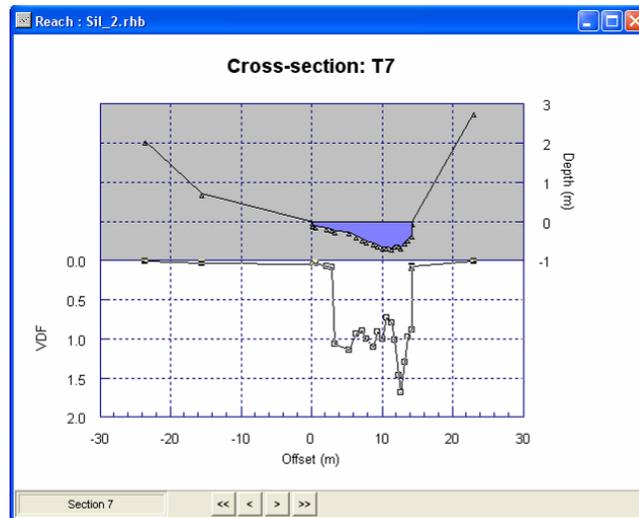
Como se ha comentado, se ha utilizado el programa RHYHABSIM (Ian G. Jowett, NIWA, NZ) para la **SIMULACIÓN HIDRÁULICA UNIDIMENSIONAL**, que es un programa similar al PHABSIM (el utilizado durante muchos años en la metodología IFIM) pero con mayores prestaciones.

El programa RHYHABSIM trabaja con celdas unidimensionales. Para hacer el estudio hidrobiológico de un tramo en donde el flujo tiene una sola dirección, éste se dividirá en transectos, y los transectos en celdas. Cada celda tendrá el valor de velocidad media, longitud, profundidad y sustrato.



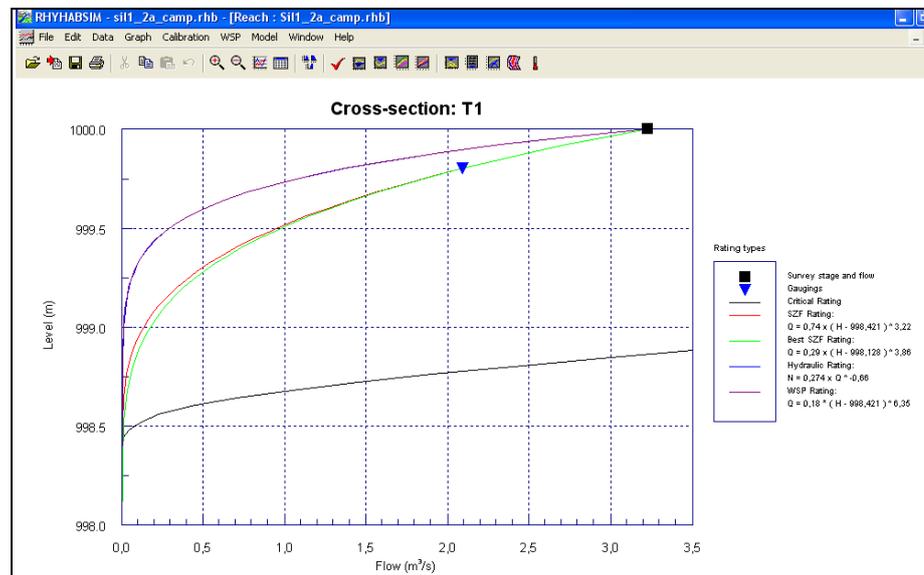
El proceso de calibración y simulación consta básicamente de varias fases, entre las que están:

- Chequeo del archivo de datos de campo. Son muy variados los errores que se pueden cometer, y el programa los chequea, o en algunos se pueden chequear con ayuda del mismo. Uno de los errores muy importantes que el simulador puede comprobarlo con las diferentes herramientas que posee el programa (representación de gráficos, como las curvas de gasto de cada transecto...), es que el caudal introducido de la segunda campaña, que tiene, por ejemplo, un caudal menor que en la primera, tenga una lámina de agua con una cota más elevada (segunda campaña con datos “no coherentes”). Suele ocurrir cuando no hay una gran variación de caudales entre una campaña y otra (ocurre en tramos muy regulados, por ejemplo).
- Cálculo del caudal e introducción del caudal de calibración.
- Cálculo y edición de los Factores de Distribución de Velocidad (Velocity Distribution Factors, VDF). Se trata del factor que corrige la velocidad en cada celda, respecto de la velocidad media de la sección. Dicha velocidad media, al simular otros caudales distintos al de calibración, es obtenida a partir de la cota de lámina de agua, que procede de la curva de gasto. También puede manejarse en términos del número de Manning, ya que  $V_{sección}/V_{celda} = N_{celda}/N_{sección}$ . Como este factor se basa en medidas reales de campo (tanto media como en cada celda), supone el elemento fundamental de calibración de velocidades que distingue a los modelos de simulación del hábitat detallados de otros de simulación hidráulica. En consecuencia, el programa aplica este coeficiente de corrección para cada celda cuando calcule las velocidades para distintos caudales. Dicho factor es invariable y no considera variaciones del caudal, ni viscosidad ni transmisión de energía de una celda otra. Por esta y otras razones, la simulación se realiza independientemente con modelos para caudales altos, medios y bajos.



Detalle de la calibración de los VDF's de una sección (transecto)

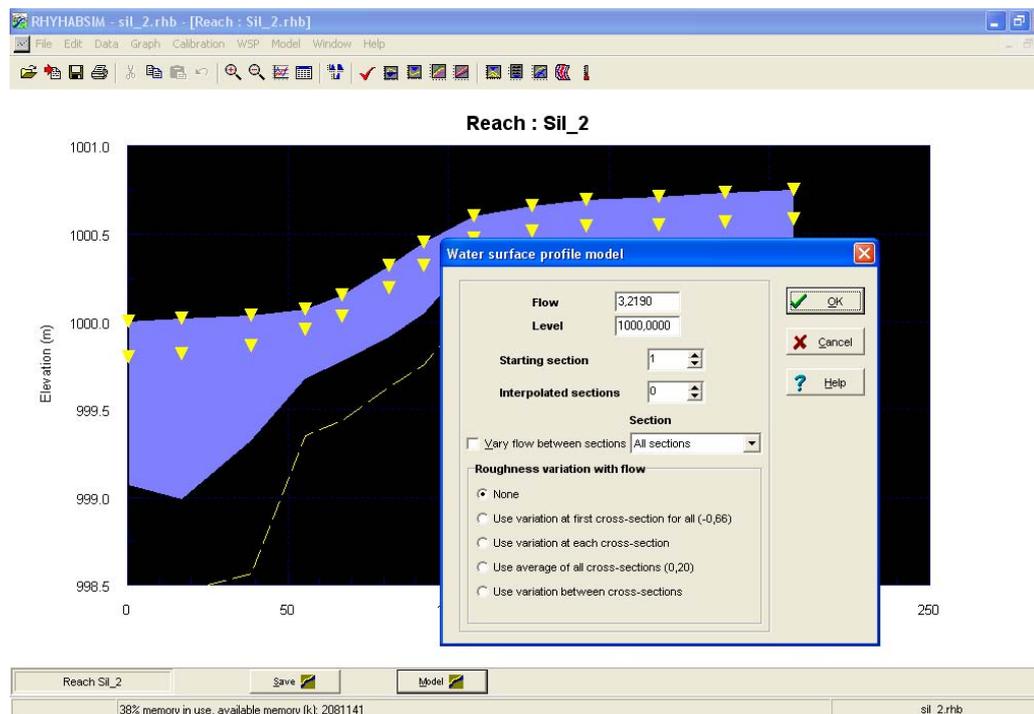
- Cálculo de las distintas curvas de gasto o altura-caudal para cada transecto, que el programa ajusta a los puntos de altura/caudal tomados en las dos campañas de campo realizadas. Estas curvas son la base del modelo hidráulico, ya que cuando se procede a la simulación, lo primero que necesita el programa son estas curvas para saber que altura de agua tenemos con cada caudal.



Detalle de las curvas de gasto de altura-caudal de una sección (transecto)

- Simulación del perfil longitudinal de la lámina de agua (WSP). Se trata de un "subprograma" que calcula el perfil de la lámina de agua a partir de la cota en una sección dada, siguiendo el método hidráulico clásico del paso estándar, del mismo

modo que hacen otros programas como HEC-Ras. Permite simular el perfil longitudinal del río para diversos caudales, de modo que genera para cada transecto varios pares de puntos (altura, caudal), con los cuales se puede calcular una curva de gasto. Este método es el menos fiable para obtener la cota de agua en cada transecto, por lo que se ha aplicado sólo en caso de que la segunda campaña de campo no era coherente con la primera (por ejemplo, en aquellos casos donde el caudal introducido de la segunda campaña, con, por ejemplo, un caudal menor que en la primera, tenga una lámina de agua con una cota más elevada). El programa calcula un valor N de Manning que podemos llamar “ficticio” ya que corresponde a todos los tipos de pérdidas (continuas y locales) que existen en el cauce entre dos transectos. En el caso de tener que utilizar éste modelo en algún caso excepcional, es necesario volver a calcular después las curvas de gasto, incorporándose un nuevo método de cálculo.



Detalle la Simulación del perfil longitudinal de la lámina de agua

- Selección de curvas de altura-caudal. El programa calcula 4 diferentes curvas de gasto: la de mejor ajuste a los puntos, mejor ajuste pasando por nivel de caudal cero o por sección mínima, curva basada en los puntos generados por simulación del perfil de lámina (WSP), o basada en fórmula de Manning, en caso de haber

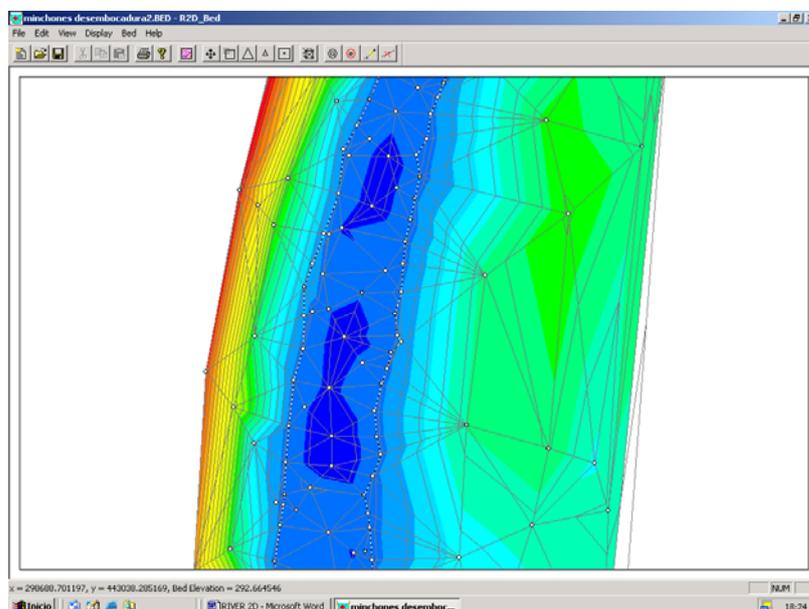
hecho dos campañas de campo mínimas. En el caso de que tan solo se pudiesen utilizar una campaña de campo, calcula tan solo dos (WSP y Manning).

- Seleccionar curvas de preferencia y obtención de la curva HPU – Q.

Para la **SIMULACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL** se ha utilizado el programa River 2D, un paquete informático integrado por cuatro programas con los que se modeliza el ecosistema fluvial sobre el que se va a llevar a cabo el estudio. Estos programas son los siguientes: R2D\_BED, R2D\_MESH, R2D\_ICE (que no ha sido necesaria su utilización en los presentes estudios, ya que es para la simulación de canales fluviales helados) y R2D. A continuación se detallan los pasos a seguir, usando los distintos programas que conforman River 2D:

- **R2D\_BED**

Se encarga de la edición de los datos topográficos obtenidos en el campo mediante estación total y GPS; permite principalmente retocar los nodos, crear líneas de rotura y crear un TIN (red irregular de triángulos) como modelo digital de elevaciones del cauce. En cada nodo, además de sus coordenadas, el archivo de datos almacena la rugosidad absoluta especificada en unidades métricas.

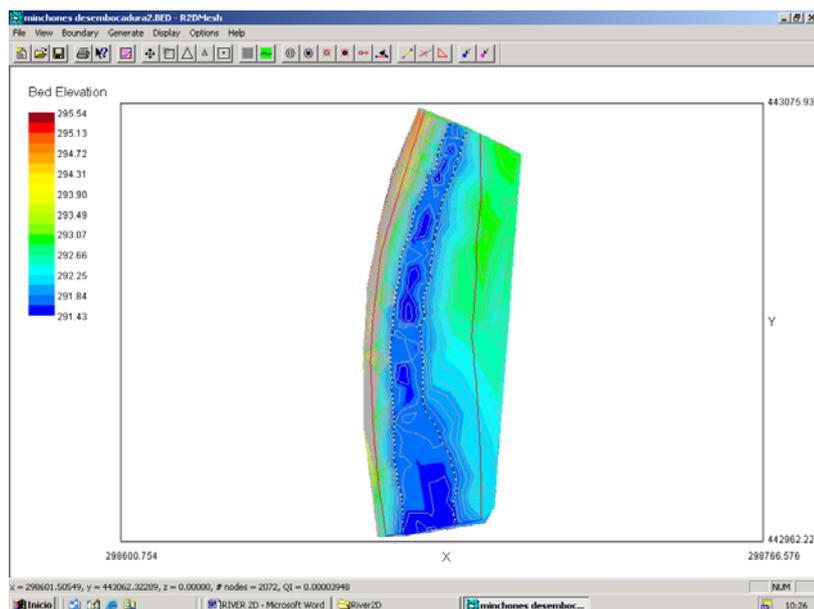


Detalle de la topografía representada en el BED

### ➤ 2D\_MESH

Donde se ajustará una malla de cálculo computacional a la topografía del lecho fluvial ya obtenida previamente mediante el RIVER BED. La malla también contiene sus propias líneas de rotura y se triangula formando un TIN. Así pues está formada por triángulos que conectan los nodos, entre los cuales las variables de cálculo se interpolan de modo lineal. La malla se ha creado con la densidad adecuada para conseguir un ajuste a la topografía real, manteniendo una calidad de la malla aceptable, que permita obtener soluciones de simulación en pocas horas.

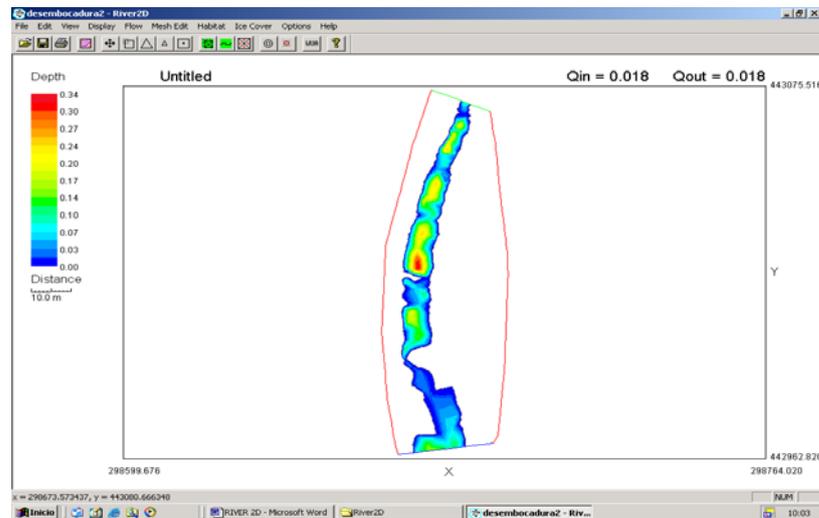
Esta malla constituye la auténtica topografía final que será utilizada en el programa de cálculo por elementos finitos, el RIVER-2D.



Detalle de la topografía representada en el MESH

### ➤ RIVER 2D

Es el programa específico de simulación hidráulica y del hábitat en dos dimensiones (basado en la velocidad media de la columna de agua), para determinar mediante metodología IFIM el Hábitat Potencial Útil (WUA).



Detalle del tramo representado en el RIVER 2D

Este modelo se basa en las ecuaciones de Saint Venant expresadas en forma conservativa, expresando en derivadas parciales la conservación de la masa en las dos componentes o direcciones del vector velocidad. Dichas ecuaciones son resueltas por el programa mediante el método de elementos finitos (formulación de residuos ponderados de Petrov-Galerkin). La formulación permite obtener soluciones estables independientemente de que se presenten zonas de flujo subcrítico y supercrítico.

Las variables dependientes en dichas ecuaciones son la profundidad y la velocidad media de la columna de agua en dos direcciones (contenida en el plano horizontal). Este programa considera como hipótesis de cálculo, para promediar las profundidades, que la distribución vertical de presiones sigue una ley hidrostática y que el perfil de velocidades en la columna de agua es aproximadamente uniforme.

Para la calibración del modelo, el programa debe correr y resolver satisfactoriamente los principios hidráulicos sobre los que se apoya. Estas operaciones se realizan nodo a nodo de tal forma que el caudal que se introduce como condición de contorno (caudal en la sección de entrada al tramo) debe coincidir razonablemente (error  $< 10^{-4}$ ) con el calculado por el simulador en la sección de salida.

El éxito de la operación anterior depende lógicamente 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.

La simulación de distintos escenarios provocados por incremento o descenso del caudal circulante requiere los parámetros  $m$  y  $k$  de la curva de gasto específica del tramo,  $q=khm$ , donde  $q$  es el caudal unitario y  $h$  la altura de la lámina. Esta curva de gasto debe ser característica de la sección donde se ha realizado la estimación del caudal, mediante la que se pasaría de la condición fija (en el momento del muestreo) a un modelo en el cual se pueden modificar las condiciones hidráulicas.

La obtención de estos parámetros de la curva se solventa realizando repetidas salidas de campo en las que se realicen aforos del caudal y medidas de la altura de la lámina de agua en el mismo punto del tramo (sección de salida) en distintas épocas del año, obteniéndose los puntos mínimos necesarios en la representación gráfica  $q/h$  para el ajuste de la curva. Se han efectuado dos salidas de campo.

Con el simulador hidráulico calibrado, es posible conocer características hidráulicas de cualquier punto del tramo como la profundidad o velocidad de la corriente para cualquier caudal deseado. A partir de aquí, fusionando los conceptos de habitabilidad y de caudal, se generarán las curvas HPU/Q, de la que se obtienen los valores de los caudales mínimos ecológicos.

Como se ha podido apreciar en la anterior descripción, los programas son completamente diferentes, tanto la entrada de datos, como en la calibración y la simulación. Pero ambos utilizan las mismas curvas de idoneidad de las especies con las tres variables de velocidad, profundidad y sustrato (el programa RHYHABSIM también podría funcionar con la variable temperatura).

Como norma general, para los ríos de menor entidad, se ha empleado modelos 1D (en unos pocos casos se han utilizado los modelos 2D), mientras que para aquellos que no han sido vadeables, se ha acudido a un modelo 2D mediante el empleo de una ecosonda que recoge los datos de batimetría acoplada a una embarcación.

En base a la experiencia, se puede afirmar que no existen grandes diferencias en la calidad de los resultados obtenidos mediante modelización con tramos unidimensionales ó bidimensionales.

#### 4.1.1.2.4 SELECCIÓN DE ESPECIES Y CURVAS EMPLEADAS

Una vez que se ha realizado el calibrado del modelo hidráulico, para proceder a la simulación de diferentes caudales y a la obtención de los valores del hábitat potencial útil (HPU ó WUA), 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 ha obtenido en función de la información bibliográfica de la que se ha dispuesto (censos piscícolas, Atlas y Libro Rojo, estudios de caudales ecológicos ya realizados, publicaciones específicas al respecto, etc.)

En el momento de inicio de los trabajos para la determinación de los caudales ecológicos en las Demarcaciones Intercomunitarias, la disponibilidad de curvas de preferencia era reducida.

De esta circunstancia surgió la necesidad de elaboración de curvas de preferencia de varios estadios de las especies objetivo, tarea realizada en el marco de los citados trabajos. Asimismo, se ha procedido a adaptar alguna de las curvas ya existentes, con vistas a posibilitar su utilización.

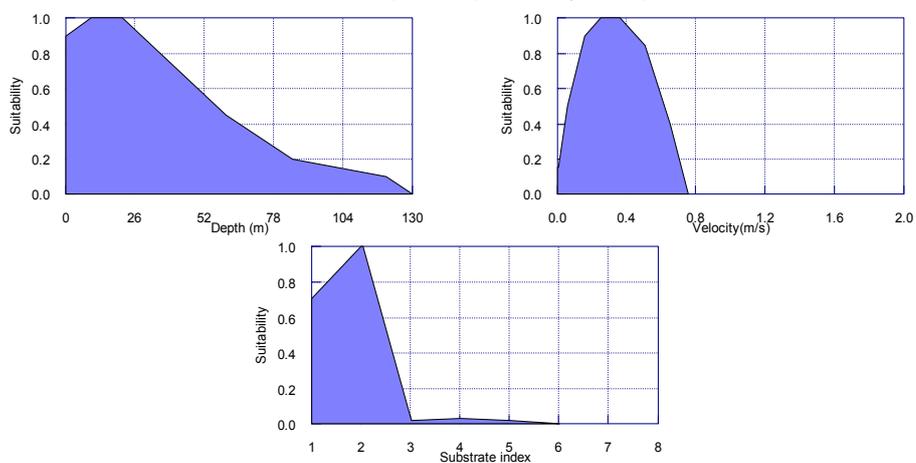
En las siguientes tablas se presentan las especies para las que se ha dispuesto de curvas de preferencia y que han podido ser introducidas en el proceso de simulación.

ESPECIES SIMULADAS MIÑO-SIL	FUENTE DE LA CURVA
<i>Alosa alosa</i> (Sábalo)	Para este estudio
<i>Alosa fallax</i> (Saboga)	Para este estudio
<i>Anguilla anguilla</i> (Anguila)	Bibliográfica
<i>Barbus bocagei</i> (Barbo común)	Bibliográfica
<i>Chondrostoma arcasii</i> (Bermejuela)	Para este estudio
<i>Chondrostoma duriense</i> (Boga del Duero)	Bibliográfica
<i>Petromyzon marinus</i> (Lamprea)	Para este estudio

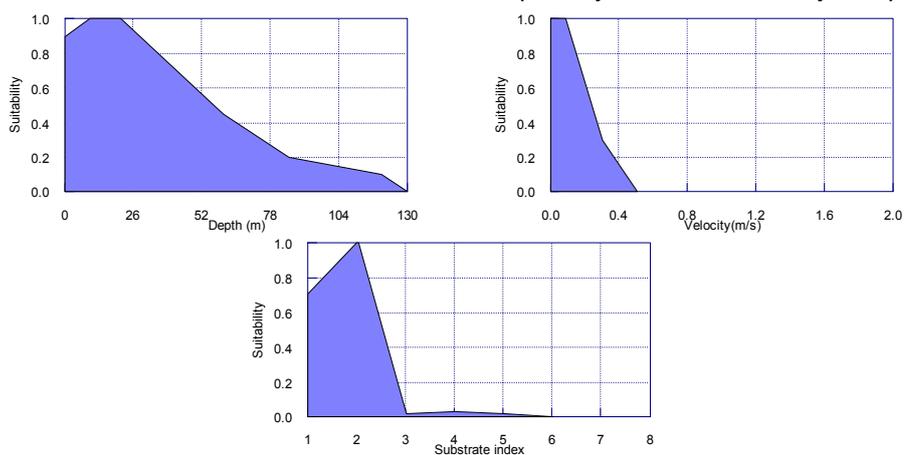
ESPECIES SIMULADAS MIÑO-SIL	FUENTE DE LA CURVA
<i>Salmo salar</i> (Salmón)	Bibliográfica
<i>Salmo trutta</i> (Trucha)	Bibliográfica/para este estudio
<i>Squalius carolitertii</i> (Bordallo)	Bibliográfica/para este estudio

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

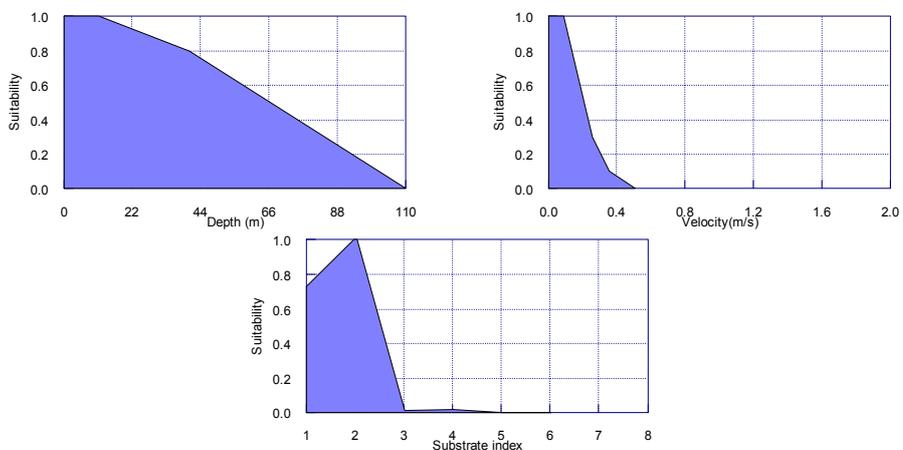
**Alosa sp, Freza (Martín Mayo 2009)**



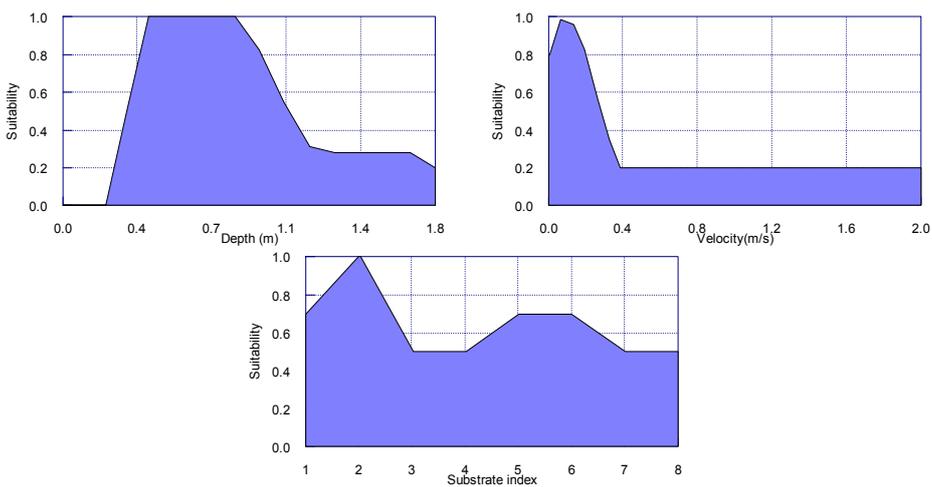
**LAMPREA DE MAR LARVA TODAS LONGITUDES ( Petromyzon marinus Martín Mayo 2009)**



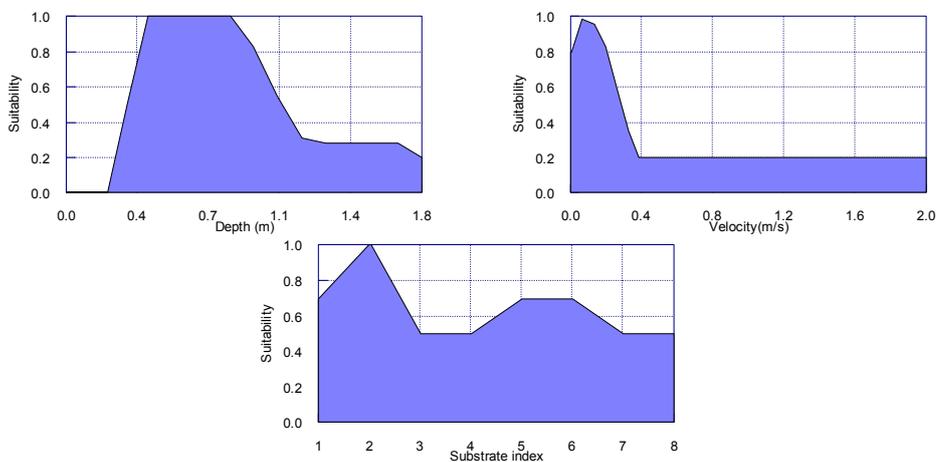
**LAMPREA DE MAR FREZA ( Petromyzon marinus Martín Mayo 2009)**



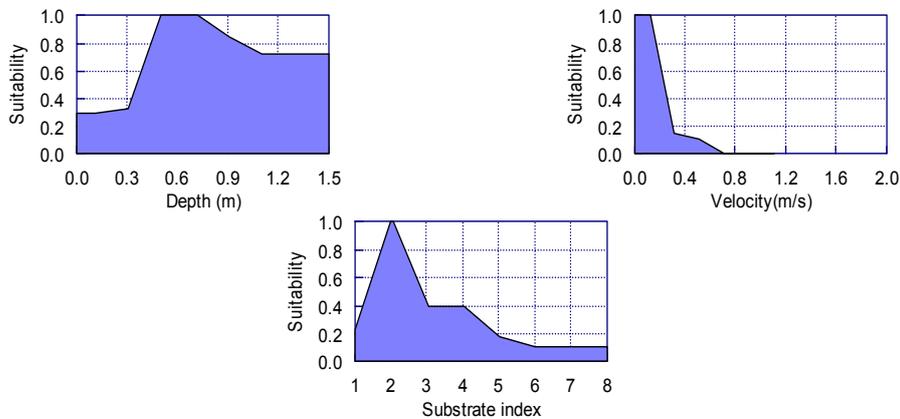
**'Chondrostoma arcasii -Talla única - Martínez-Capel 2009'**



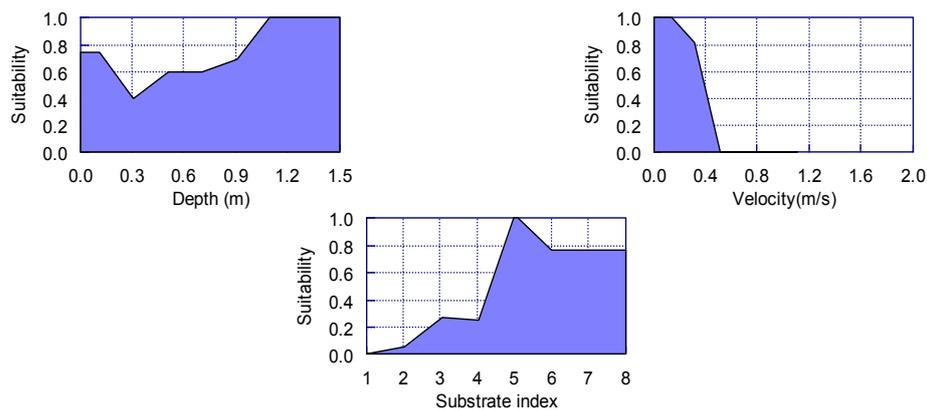
**BERMEJUELA AD-JU-AL (Martínez-Capel (2009))**



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



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



#### 4.1.1.2.5 ELABORACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LAS CURVAS HPU/Q

Las funciones de idoneidad se determinan para aquellos parámetros directamente ligados a las condiciones hidráulicas: velocidad, profundidad, sustrato, temperatura, refugio... Se presentan en forma de curvas de probabilidad de uso, cuyo pico representa la condición óptima o máxima idoneidad para un determinado parámetro.

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 freza, alevín, juvenil y 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.

Tradicionalmente, a escala local de un determinado tramo de un río (microhábitat) son modeladas tres variables abióticas clave, que son con las que posteriormente se hacen las “curvas de idoneidad”, para el cálculo de las curvas HPU-Q:

- La velocidad media de la columna de agua, que básicamente aporta información sobre el gasto bioenergético necesario por los individuos durante la natación y la búsqueda de alimento.
- La profundidad relacionada con la penetración de la luz y con la predación (por su valor como refugio, según sea la turbidez).
- Sustrato: tiene influencia en la calidad de los frezaderos, la producción de invertebrados y las oportunidades de refugio.

La valoración de cada microhábitat, en un modelo del hábitat acuático, se realiza a través de índices de idoneidad. Se trata de un valor entre 0 y 1, que puede corresponder a una sola o a varias variables en conjunto, según los métodos de cálculo utilizados. Para cada microhábitat, en función de las variables escogidas, se calcula un índice combinado de calidad o idoneidad. Los índices de cada variable pueden proceder de funciones binarias y curvas de idoneidad, pero también pueden utilizarse funciones multivariantes obtenidas por modelos estadísticos. Para la definición de la especie objetivo se ha efectuado 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 que se obtiene el estadio y especie objetivo como aquel que requiere 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 Hábitat Potencial Útil se expresa en Superficie Potencial Útil (HPU), calculada al multiplicar el Índice Combinado de idoneidad por la Superficie real de cada unidad en la que se ha dividido el río:

$$\text{HPU} = \text{ICi} \cdot \text{Sreal}$$

A escala de tramo para un caudal dado, el índice cuantitativo para valorar el hábitat disponible es el Hábitat Potencial Útil (HPU) o Área Ponderada Útil (Weighted Usable Area), cuando el modelo del medio acuático se desarrolla en 1 dimensión o en 2 dimensiones, respectivamente.

El valor potencial del hábitat fluvial es pues la apetencia de la especie acuática para cada uno de los posibles segmentos fluviales ó nodos simulados en los modelos hidráulicos. Esta preferencia se obtiene a partir de la combinación de tres parámetros, definidos a su vez por tres índices: la velocidad (Ivel), la profundidad (Iprof) y la composición del sustrato (Iprof). La idoneidad por una determinada velocidad, profundidad ó sustrato están tabuladas en función del caudal para los estadios de las especies a estudiar.

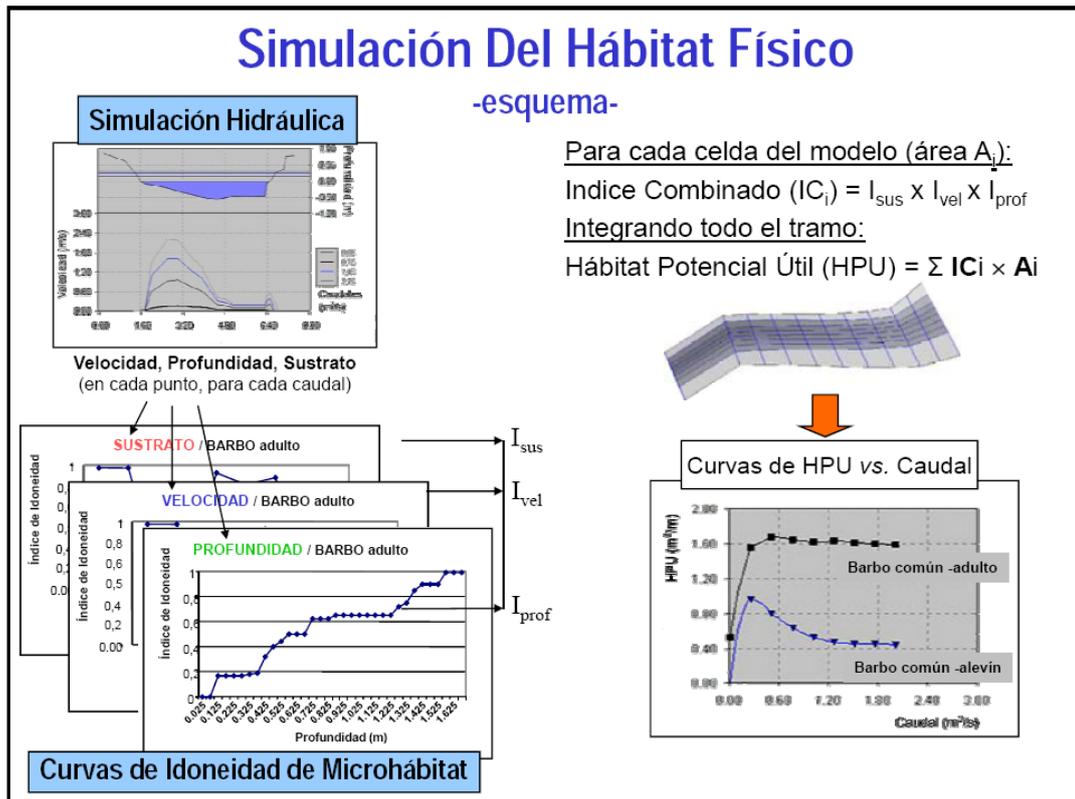
El Índice Combinado de idoneidad (ICi) puede relacionarse con los tres índices parciales por alguna de las fórmulas siguientes (multiplicativa o geométrica respectivamente).

$$\text{ICi} = (\text{Cv} \cdot \text{Ch} \cdot \text{Cs}); \quad \text{ICi} = (\text{Cv} \cdot \text{Ch} \cdot \text{Cs})^{1/3}$$

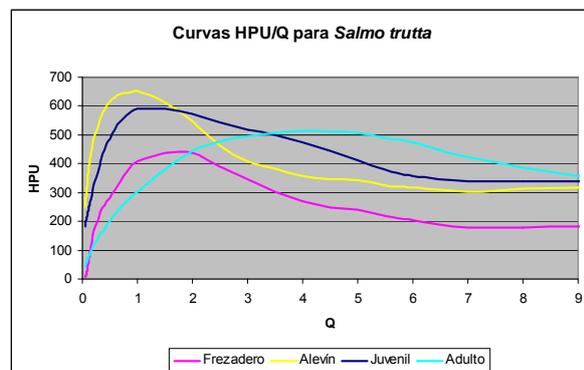
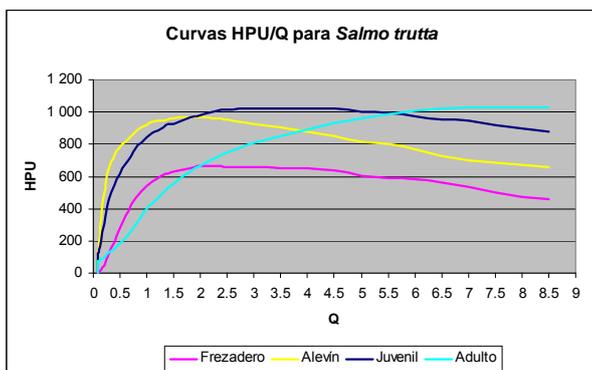
El estudio del Hábitat Potencial Útil permite conocer las posibilidades de uso del río por parte de la especie o especies consideradas, en función de las características de la corriente y a medida que va variando el caudal. Se trata de establecer una combinación de condiciones hidráulicas (velocidad y profundidad) y 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 en la puesta a punto de las curvas de preferencia, se dispone de una serie de datos sobre la profundidad, velocidad, tipo de sustrato y cobertura, así como su 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 con ese caudal. Realizando este cálculo para distintos caudales se obtendrán relaciones numéricas que permiten conocer como evoluciona el HPU en función del régimen de caudales, que constituyen las curvas HPU/Q.

Así, se han desarrollado curvas HPU/Q (Hábitat Potencial Útil/Caudal), a partir de las simulaciones de idoneidad del hábitat para, los distintos estadios fisiológicos de cada especie de la que se ha dispuesto de curvas de preferencia, o de los que se han construido curvas de preferencia.



A continuación, se muestran dos ejemplos de curvas HPU/Q, usando como especie objeto la trucha común.



#### 4.1.1.2.6 RESULTADOS HIDROBIOLÓGICOS

---

El resultado hidrobiológico deriva de la determinación, entre las especies y estadios autóctonos del tramo, de cuál es la que mayor caudal requiere para lograr su óptimo de habitabilidad.

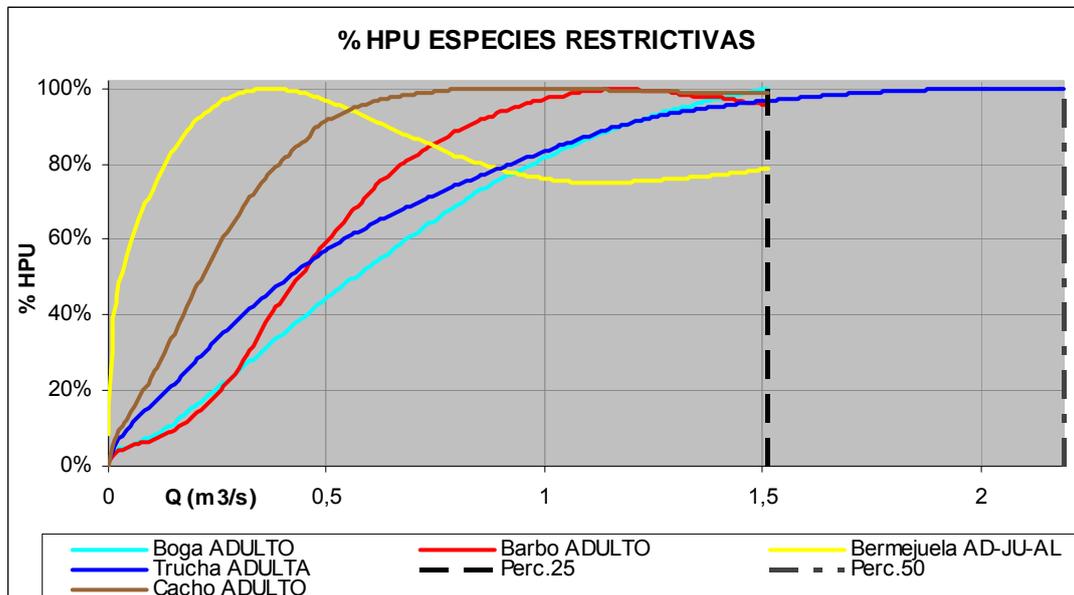
Debido a la gran disparidad de demandas de caudal existente, tanto entre tallas de una misma especie como entre diferentes individuos, se debe relativizar los valores absolutos de HPU ( $m^2$ ) con el fin de establecer un criterio unificador, que equipare todos los óptimos de habitabilidad de las especies y estadios, en el caso que las curvas de HPU/Q no presenten máximo (ni cambio significativo de pendiente), y éste haya que establecerlo a un determinado percentil de la serie de caudales medios diarios.

Así, y haciendo referencia a esto último, la Instrucción de Planificación Hidrológica, establece en su punto 3.4.1.4.1.1.3. lo siguiente:

*“En el caso de que la curva de hábitat potencial sea creciente y sin aparentes máximos, podrá adoptarse como valor máximo el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el rango de percentiles 10-25% de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.”*

Con este fin, en todas las curvas de hábitat se relativizará el HPU ( $m^2$ ) respecto del máximo de habitabilidad; fijándose éste, en el óptimo marcado por la curva o en el percentil 25% de la serie corta de caudales medios diarios (se opta por el umbral superior que permite la Instrucción, para poder realizar una mejor evaluación de la evolución de la curva, como ya se explicará más adelante en el apartado de toma de decisiones y conocimiento de la metodología).

Así en la gráfica inferior, se muestra cómo relativizando el máximo de HPU ( $m^2$ ) a percentil 25% en la curva de la boga adulta (sin máximo de habitabilidad), permite comparar las demandas de caudal de ésta respecto a los máximos absolutos de habitabilidad del resto de las especies que sí los presentan.



Ejemplo de curvas de %HPU/Q de las especies y estadios más restrictivos de un tramo.

Como se puede apreciar, la gráfica únicamente muestra el estadio más restrictivo de cada una de las especies presentes en el tramo simulado. Ello implica, que el resto de tallas no presentes, no demandan tanto caudal para alcanzar su óptimo (ya sea absoluto o relativo) y que por tanto, asegurando una habitabilidad adecuada para la talla más restrictiva, se garantizará un caudal más que aceptable para el resto de estadios de la especie.

ESTADIO	BOGA ADULTA	BARBO ADULTO	BERMEJUELA ADULTA	TRUCHA ADULTA	CACHO ADULTO
Q 100%	1,980	1,140	0,360	2,010	0,920
Q 80%	1,052	0,674	0,130	0,921	0,391
Q 50%	0,597	0,437	0,028	0,413	0,215
Q 30%	0,364	0,322	0,008	0,219	0,128
Q 25%	0,310	0,294	0,006	0,178	0,104

Relación de caudales demandados por las especies más restrictivas, en función del porcentaje de hábitat potencial útil requerido.

Para el ejemplo mostrado en la tabla superior, se verifica que la **especie y estadio objetivo** del tramo es la boga adulta; ya que para los caudales que demanda ésta a cualquier porcentaje de HPU, se va a garantizar un porcentaje de habitabilidad superior a éste para el resto de especies.

Así, para la obtención de resultados se considerará como **objetivo** aquella especie autóctona y estadio presente en el tramo con mayor requerimiento de caudal, o en el caso de ser un estadio que sólo esté presente en una época del año (será la especie más restrictiva, pero no la objetivo), se ha optado por buscar otro que no sobredimensione la necesidad de recurso en el periodo de año que no está presente el primero, pero que la adopción del segundo no suponga una disminución drástica de su habitabilidad.

Posteriormente como **resultado hidrobiológico preliminar**, se ha considerado 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 muy alterados hidrológicamente.

Para la consideración de los máximos de HPU ( $m^2$ ), o la desestimación de los mismos se ha seguido, en todo caso, el resto de criterios contemplados en la Instrucción de Planificación Hidrológica:

- En aquellos tramos en los que las especies presenten máximos en sus curvas, se han asumido dichos máximos, siempre que el valor de caudal al que vayan asociados sea coherente con los datos hidrológicos. En otras palabras, aquellos que se encuentre dentro de un rango de caudales que puedan ser asumidos de forma natural por el tramo.
- En los casos en los que ha entendido necesario (debido al impedimento que realiza la Instrucción respecto a que se debe tomar un valor único y no un umbral de caudales), se han estudiado también puntos concretos en las curvas HPU/Q, en las que en un determinado caudal se produzca un cambio significativo de pendiente.

En cualquier caso, el **resultado hidrobiológico definitivo**, se ha obtenido tras una comparación de los valores de %HPU-Q con los resultados obtenidos con el método hidrológico, así como otras consideraciones que aquí se resumen:

- Grado de alterabilidad.
- Cumplimiento de probabilidades mensuales.
- Presencia estacional de los estadios más restrictivos.
- Porcentajes de habitabilidad y percentil-caudal asociado.

Hay que indicar que cuando se han comparado los datos hidrológicos con los hidrobiológicos; al no coincidir en muchas ocasiones el punto de campo dónde se han llevado a cabo los trabajos con el final de masa, dónde se ha estimado la serie natural, se ha realizado un nuevo 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 trataban de masas con tributarios que dependiendo de la ubicación del punto de toma de datos en campo para la simulación, las aportaciones en dicho punto y en final de masa pueden tener un amplio margen de diferencia que puede dar al traste con una buena relación o toma de decisiones 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 posibles puntos de la masa en los que se tenga hidrológico, como al final de la misma e incluso a otras masas del mismo cauce.

---

#### 4.1.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES MÁXIMOS

---

##### 4.1.2.1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas y estadios más vulnerables, se han definido unos caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas.

Los caudales artificialmente altos y continuados pueden reducir las poblaciones piscícolas de los estadios y especies más sensibles por agotamiento al superar las velocidades críticas, produciendo su desplazamiento hacia aguas abajo o incluso su muerte. Es recomendable durante la gestión ordinaria no superar las velocidades críticas ( $V_{crit}$ ) o velocidad de agotamiento, asegurando el mantenimiento de unas condiciones medias en el medio fluvial asimilables a las velocidades óptimas de desplazamiento

(velocidades a las que el pez es capaz de desplazarse grandes distancias manteniendo un coste energético de desplazamiento mínimo).

Para el estudio de los caudales máximos se han seguido las instrucciones de la IPH, y la metodología expuesta en el apartado “3.2 *Distribución Temporal de Caudales Máximos*” de la “*Guía para la Determinación del Régimen de Caudales*”. Siguiendo las Instrucciones de la IPH, el régimen máximo de caudales máximos se ha verificado mediante el uso de los modelos hidrobiológicos, 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.

#### 4.1.2.2 ESTUDIO DE LA CAPACIDAD NATATORIA DE LA ICTIOFAUNA

Es preciso considerar las capacidades de natatorias de los distintos estadios objetivos piscícolas durante cada hidroperiodo que se considere. Para ello se han seguido los criterios que sobre velocidades son mencionados en el documento “*Guía para la Determinación de Caudales Ecológicos*”.

Según la misma, “*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*”.

Se ha recurrido a expertos y se ha buscado en la bibliografía información sobre las velocidades máximas que pueden soportar las diferentes especies, pero es muy poca y dispersa la información existente al respecto, por lo que se ha decidido tomar como intervalos limitantes de velocidad máximas las propuestas en la IPH:

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

#### 4.1.2.3 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 una posterior verificación de que dicho percentil (caudal) 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.

##### 4.1.2.3.1 CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL TRAMO

---

Según lo expuesto en la IPH, la caracterización de los caudales máximos se realizará 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 han calculado los percentiles 90% de los meses correspondientes a los años húmedos, para la serie larga (1940/41-2005/06) de caudales a régimen natural, con el fin de validar un caudal suficientemente alto que permita incluir y validar todos los inferiores a éste. Para ello, se ha hecho un estudio de años húmedos, según lo que considera el IAHRIS como tal, son aquellos años que tengan un percentil superior al 75% de la media anual, sobre la serie larga de caudales.

Posteriormente, se ha calculado el P90 con los datos mensuales de los años húmedos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos buscados a 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.

Se debe de subrayar que la IPH considera que hay que calcular los caudales máximos en *“dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año”*. Después de las reuniones mantenidas con la dirección de los proyectos para la puesta en común de la metodología, se ha llegado a la conclusión de que los hidroperiodos serán bioperiodos, marcados por el estadio más restrictivo, ya que no es lógico proponer una restricción hidrológica si el estadio en cuestión es capaz de soportar las velocidades que se dan para ciertos caudales. Por lo tanto, se ha propuesto

una distribución mensual de caudales máximos, limitados por la biología de las especies consideradas en los tramos.

Según la misma “*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.*” Por lo tanto, en los siguientes apartados se procederá a la verificación mediante el modelo hidráulico, siguiendo la metodología expuesta en la Guía de Caudales ecológicos.

#### 4.1.2.3.2 EVALUACIÓN DEL HÁBITAT DE REFUGIO

Se define 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 han considerado los intervalos limitantes de velocidades máximas propuestos en la IPH:

ESTADIO	VELOCIDAD LIMITANTE	PROFUNDIDAD LIMITANTE
Alevín	< 1	> 0,1
Juvenil	< 2	> 0,15
Adulto	< 2,5	> 0,25

Se ha hecho 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 1 dimensión y en 2 dimensiones, obteniendo el porcentaje de superficie de refugio sobre el total de la superficie mojada del tramo, representándose en una gráfica el % refugio frente a los caudales simulados.

Para aquellos caudales que proporcionan un refugio por debajo del 70% de la superficie mojada del tramo se ha comprobado la existencia/inexistencia de conectividad en el tramo, ya que según 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”.

#### 4.1.2.3.3 EVALUACIÓN DE LA CONECTIVIDAD

Para el cálculo de la conectividad se ha recurrido a los 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, el programa reproduce una gráfica de anchura de paso-caudal contigua, donde se muestra la mínima anchura de paso existente para cada caudal. El análisis de esta gráfica se ha utilizado para la comprobación de 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.

-En el caso de tramos bidimensionales, se ha observado espacialmente si existe o no conectividad, y para qué caudal se rompe solapando las capas de velocidad/profundidad.

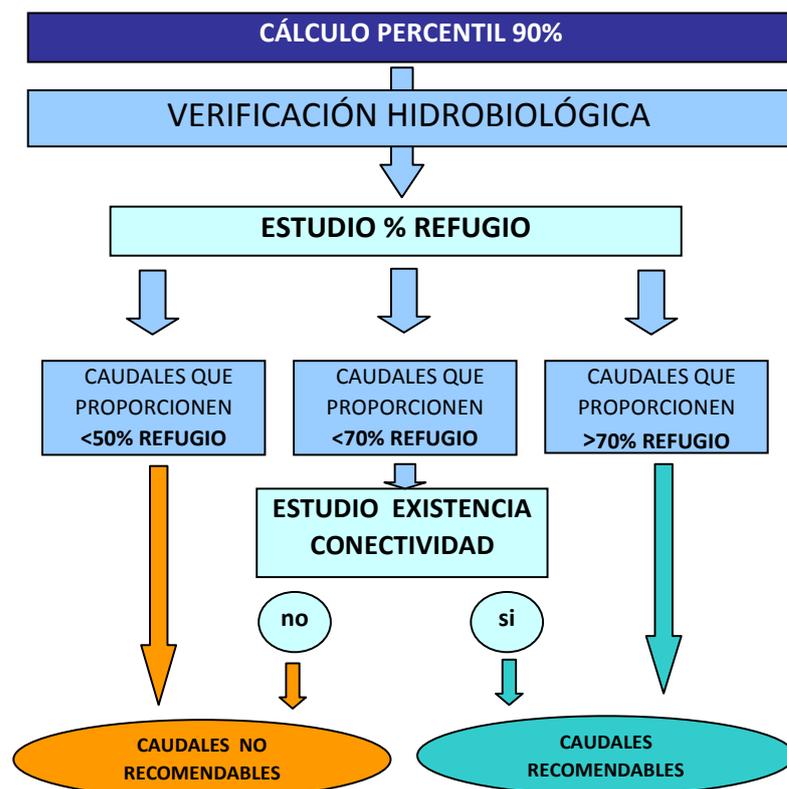
#### 4.1.2.3.4 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL RÉGIMEN DE CAUDALES MÁXIMOS

Para la verificación y el reparto del caudal mensual se han tenido en cuenta los estadios de las especies presentes en el tramo. Para ello se han caracterizado los tramos como salmonícolas, ciprinícolas ó ambos, y se ha seguido el siguiente esquema, que está dentro de la “Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos”, en el apartado 3.1.2.3. *Periodos biológicamente significativos*:

	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVER			VERANO		
Mes	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
<b>Grupo y Etapa Vital</b>												
CP - Alevines	X								X	X	X	X
CP - Juveniles		X	X	X	X	X	X	X				

	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVER			VERANO		
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						

Por lo tanto, se comprobará, según los estadios de las especies presentes en el tramo de estudio que se cumplen las condiciones de refugio y de conectividad del tramo, y a partir de qué caudal se rompen, y para qué estadio, siguiendo el siguiente esquema:



Se trata por tanto de comprobar a partir de qué caudal el % de refugio está por debajo del 70% sobre la superficie mojada total del tramo, y para qué estadios se rompe. En el momento en el que el refugio esté por debajo del 50%, ya se han considerado como caudales no recomendables en ese tramo, aunque existiese conectividad. Puede ocurrir, por ejemplo, que disminuya 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 podrá

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 es ciprinícola o salmonícola, la restricción de dicho caudal será en épocas diferentes, como se ha mostrado en la tabla anterior. Mientras que para los salmónidos la restricción ocurre de febrero a mayo, el de los ciprínidos tendría lugar en los meses de mayo a septiembre.

En el caso de que el refugio esté comprendido entre el 50% y el 70% del total de la superficie mojada del tramo, se ha comprobado la conectividad del tramo. En el momento en el que la conectividad se rompía con un determinado caudal, se consideraba que no era recomendable superar ese caudal, en los meses en los que el estadio en concreto estaba presente. En el caso de que la conectividad no se rompiese para ninguno de los estadios de las especies, y siguiese dentro de los rangos entre el 50% y el 70% de la totalidad de la superficie mojada del tramo, ese caudal si es recomendable.

---

#### 4.1.3 TASA DE CAMBIO Y RÉGIMEN DE CRECIDAS

En el estudio se han considerado dos tipos de tasas de cambio, una asociada a los eventos generadores (régimen de crecidas) y otra, calculada para los caudales máximos, definidos en masas consideradas como estratégicas a este fin. En estos últimos se ha trabajado con tasas de cambio horarias.

No se ha considerado tasa de cambio alguna en la variación temporal de los caudales mínimos entre meses o periodos de factor de variación distintos.

---

##### 4.1.3.1 TASA DE CAMBIO DIARIA

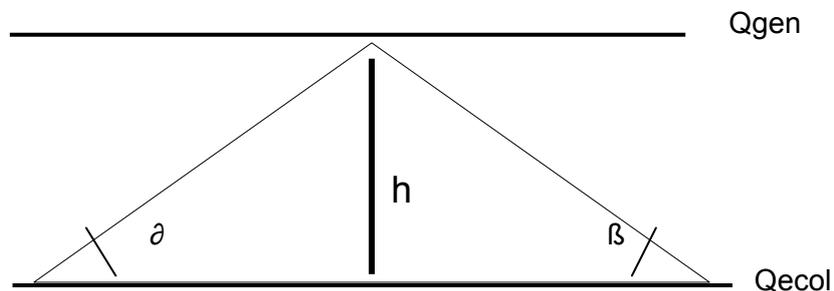
Su estimación se ha realizado a partir del análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios. Se han calculado las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se ha contado con una estimación

media de las tasas de cambio. La IPH recomienda que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso.

Así para cada evento seleccionado, se han calculado las tasas máximas de cambio (pendiente, m<sup>3</sup>/s/día) de las ramas ascendente y descendente de los hidrogramas, obteniéndose sendas series de tasas, de n/T elementos.

El evento tipo es un hidrograma triangular, con ramas ascendente y descendente de pendientes igual al percentil 70 ó 90 de las tasas máximas de cambio, tal como recomienda la IPH. También se puede analizar el hidrograma triangular con las tasas de cambio máximas.

El volumen del caudal generador viene dado por el área de un triángulo cuya altura es la diferencia entre Q<sub>gen.</sub> y el Q ecológico, y cuyos lados forman con la base unos ángulos que tienen por tangentes las tasas de cambio arriba descritas:



Representación del volumen del caudal generador; Tasa de cambio subida = Tangente  $\alpha$ ; Tasa de cambio bajada = Tangente  $\beta$ ;  $h = MCO - Q_{ecol}$

#### 4.1.3.2 TASA DE CAMBIO HORARIA

Para aquellas infraestructuras consideradas como especialmente estratégicas en las distintas Demarcaciones, se han definido tasas de cambio a nivel horario, siguiendo conceptos de dinámica de poblaciones (Margaleff, 1977; Krebs, 1985):

$$Q_t = \frac{Q_{final}}{1 + e^{a-rt}}$$

$$r = \frac{a - \ln\left(\frac{1}{b} - 1\right)}{T_{total}} \quad y \quad a = \ln\left(\frac{Q_{final}}{Q_{inicial}} - 1\right)$$

donde “ $Q_t$ ” es el caudal en un tiempo intermedio  $t$ ;  $b$  es un valor ajustable próximo a 1; y “ $Q_{inicial}$  y  $Q_{final}$ ” son respectivamente los caudales de partida y final al que se quiere llegar.

El tiempo total de la fase de ascenso y descenso entre dos caudales cualquiera vendrá dado por el número de escalones de 5 minutos que se deduce de las tablas del CEDEX, (editada en el informe técnico CEDEX para el Ministerio de Medio Ambiente titulado “*Realización de Estudios de ecología fluvial en tramos de ríos del ámbito de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir. Río Genil, Anejo II Tomo III*”, en diciembre de 1998).

Las masas consideradas como más estratégicas a este respecto entre las estudiadas son:

Cuenca	Masa de agua	Código	Central
Miño-Sil	Miño VIII	ES494MAR002260	Frieira
Miño-Sil	Avia III	ES480MAR001960	Albarellos
Miño-Sil	Embalse de Castrelo	ES472MAR001850	Velle
Miño-Sil	Sil VII	ES436MAR001180	San Martín
Miño-Sil	Sil V	ES425MAR001001	Bárcena

Se ha hecho una amplia recapitulación de bibliografía en torno a las tasas de cambio horarias, y no se ha encontrado ninguna metodología validada científicamente, por lo tanto se ha seguido la metodología explicada anteriormente, utilizada por el CEDEX, editada en el informe técnico CEDEX del río Genil.

#### 4.1.3.3 CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CRECIDAS

En la “*Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos*”, el caudal generador se asimila al caudal de sección llena o nivel de cauce ordinario (bankfull) o, en su defecto, por la Máxima Crecida Ordinaria (M.C.O.).

La M.C.O. es definida por la Ley de Aguas (RDL 1/2001, 20 de julio) como el caudal que conforma el cauce; y se obtiene, según el estudio “*Aspectos Prácticos de Definición de la Máxima Crecida Ordinaria*” del CEDEX, en base a la serie de máximos caudales medios diarios en régimen natural.

Los parámetros a determinar para caracterizar el caudal generador en una determinada masa de agua son los siguientes:

- Frecuencia
- Magnitud
- Tasas de cambio
- Duración
- Estacionalidad

#### 4.1.3.3.1 FRECUENCIA

Para determinar la periodicidad de los eventos generadores, se ha partido de la regionalización dispuesta por el CEDEX en la que asigna un coeficiente de variación (Cv) según la zona estudiada, tal como muestra la figura adjunta:



Coeficientes de variación del CEDEX

El período de retorno (T) de la MCO se ha estimado a partir del coeficiente de variación determinado por el CEDEX a partir de la expresión:  $T \text{ MCO (años)} = 5 * C_v$

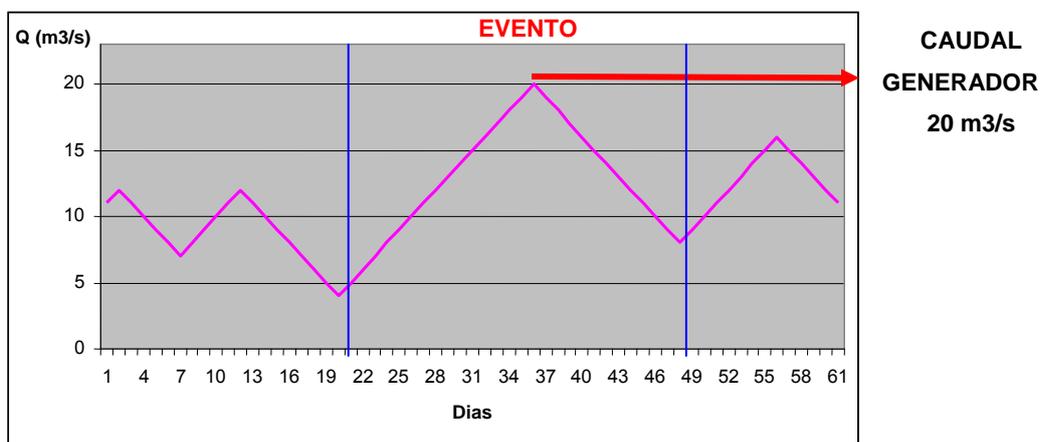
#### 4.1.3.4 MAGNITUD

La magnitud del caudal generador viene dada por el caudal de avenida asociado al periodo de retorno determinado anteriormente, T MCO.

Para la determinación de este caudal avenida se ha ajustado la ley de frecuencia de la serie de caudales máximos anuales a una función de distribución tipo Gumbel, habitual en este tipo de estudios:  $Q_{gen} (m^3/s) = Q_{TMCO}$

#### 4.1.3.5 NÚMERO DE EVENTOS A ESTUDIAR

Se ha analizado los  $n/T$  eventos con caudal punta más próximo al  $Q_{gen}$  (tanto por encima como por debajo del mismo) de entre todos los episodios de avenida identificados a lo largo de los  $n$  años de la serie de caudales.



#### 4.1.3.6 TASAS DE CAMBIO

Este aspecto ya ha sido tratado previamente. Como se ha comentado, para cada evento seleccionado, se han calculado las tasas máximas de cambio (pendiente,  $m^3/s/día$ ) de las ramas ascendente y descendente de los hidrogramas, obteniéndose sendas series de tasas, de  $n/T$  elementos.

#### 4.1.3.7 DURACIÓN DEL EVENTO

Viene definida por la tasas de ascenso y descenso, desde el caudal base hasta el  $Q_{gen}$  y viceversa.

#### 4.1.3.8 ESTACIONALIDAD

Se valora la estacionalidad como el mes en que se produce la mayor frecuencia de eventos o repeticiones en distintos periodos de rotación en función de dicha frecuencia.

#### 4.1.3.9 METODOLOGÍA ADICIONAL PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL PUNTA

Recientemente el CEDEX ha finalizado la elaboración de los mapas de caudales máximos en la red fluvial de las demarcaciones hidrográficas con cuencas intercomunitarias como parte de los trabajos llevados a cabo dentro del Convenio “Asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de gestión del dominio público hidráulico y explotación de obras”, firmado entre la Dirección General del Agua y el CEDEX. A partir de dichos trabajos, y aguas abajo de los grandes embalses, se ha elaborado un procedimiento alternativo de cálculo para el caudal generador, adicional al ya expuesto conforme establece la IPH.

Como resultado de los trabajos, el CEDEX ha obtenido seis capas SIG en cada una de las demarcaciones hidrográficas estudiadas, con las siguientes características:

- Formato raster.
- Resolución de 500x500 m.
- Los caudales corresponden al régimen natural, es decir, no se ha tenido en cuenta la alteración del régimen hidrológico provocada por la presencia de presas en la cuenca.
- Ofrece información en aquellos puntos de la red fluvial con una cuenca vertiente igual o superior a 50 km<sup>2</sup>.
- Cada uno de los seis mapas corresponde a uno de los siguientes periodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años. (Los caudales correspondientes a periodos de retorno intermedios pueden obtenerse interpolando entre los seis cuantiles proporcionados por los mapas).

De manera complementaria, el CEDEX ha realizado trabajos adicionales orientados a facilitar la estimación de la máxima crecida ordinaria a partir de la información proporcionada por los mapas. Estos trabajos se han basado en los resultados obtenidos a partir de los trabajos realizados para el informe “Aspectos prácticos de la definición de la máxima crecida ordinaria” (CEDEX, 1994).

En el citado informe se pudo establecer una relación entre el caudal de la máxima crecida ordinaria (identificado con el caudal que produce el inicio del desbordamiento del cauce) y diversas magnitudes descriptivas de las características estadísticas de la serie temporal de caudales máximos anuales. De forma aproximada, se puede determinar el caudal correspondiente a la máxima crecida ordinaria (QMCO) en función de la media ( $Q_m$ ) y el coeficiente de variación ( $C_v$ ) de la serie temporal de caudales máximos anuales mediante la siguiente expresión:

$$Q_{MCO} = Q_m (0,7 + 0,6 \cdot C_v)$$

Una expresión alternativa, para la que es necesario conocer la ley de frecuencia de caudales máximos, es la siguiente en la que se relaciona el periodo de retorno correspondiente al caudal de la máxima crecida ordinaria (TMCO) con el coeficiente de variación de la serie temporal:

$$T_{MCO} = 5 \cdot C_v$$

Esta última expresión es más útil que la anterior para estimar la máxima crecida ordinaria a partir de la información proporcionada por los mapas de caudales máximos. De esta forma, se ha realizado una estimación del coeficiente de variación regional para cada una de las regiones estadísticas identificadas, a partir del cual se ha estimado, mediante la expresión anterior, el periodo de retorno correspondiente, de forma aproximada, a la máxima crecida ordinaria.

En la siguiente tabla se recogen los valores regionales del coeficiente de variación para las regiones estadísticas correspondientes a las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias, así como los valores correspondientes al periodo de retorno aproximado de la máxima crecida ordinaria.

<b>Región</b>	<b>Cv</b>	<b>T (años)</b>
11	0.59	<b>3.0</b>
12	0.54	<b>2.5</b>
13	0.54	<b>2.5</b>
21	0.48	<b>2.5</b>
22	1.15	<b>6.0</b>
23	0.66	<b>3.5</b>
24	0.75	<b>4.0</b>
25	0.75	<b>4.0</b>
26	0.81	<b>4.0</b>
31	0.79	<b>4.0</b>
32	0.79	<b>4.0</b>
33	1.04	<b>5.0</b>
34	0.76	<b>4.0</b>
41	1.20	<b>6.0</b>
42	1.05	<b>5.5</b>
43	0.83	<b>4.0</b>
51	0.96	<b>5.0</b>
52	0.74	<b>3.5</b>
71	1.13	<b>5.5</b>
72	1.44	<b>6.5</b>
73	1.07	<b>5.5</b>
81	0.87	<b>4.5</b>
82	1.21	<b>6.0</b>
83	1.19	<b>6.0</b>
84	0.88	<b>4.5</b>
91	0.47	<b>2.5</b>
92	0.70	<b>3.5</b>
93	1.36	<b>7.0</b>
94	1.04	<b>5.0</b>
95	1.04	<b>5.0</b>
96	0.74	<b>3.5</b>

De esta forma, el caudal correspondiente a la máxima crecida ordinaria se puede estimar en cualquier punto de la red fluvial, conociendo su periodo de retorno aproximado, mediante interpolación entre los cuantiles proporcionados por los mapas.

Por otra parte, dado que, tanto el caudal de la máxima crecida ordinaria como el caudal generador, se identifican, de manera aproximada, con el caudal que produce el inicio de

desbordamiento del cauce, ambos conceptos pueden considerarse como equivalentes. De esta forma, los periodos de retorno expuestos anteriormente para la máxima crecida ordinaria pueden considerarse también válidos para el caudal generador, lo que ha permitido obtener su valor mediante interpolación entre la información proporcionada por los mapas.

Los resultados, comparados con los obtenidos con la metodología expuesta anteriormente, se presentan en el capítulo siguiente. Por otra parte, quiere hacerse notar, que en cualquier caso, los resultados teóricos obtenidos por una u otra de las metodologías, deberán ser validados en trabajos posteriores, mediante estudios hidráulicos detallados realizados al efecto.

## 4.2 RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN RÍOS TEMPORALES O EFÍMEROS

Para estos ríos, y tras el estudio que se cita a continuación para la temporalidad de los ríos, es de aplicación lo expuesto respecto a la selección de tramos, presencia de especies piscícolas en los tramos, procedimiento de desagregación de las series hidrológicas naturales empleadas, etc.

---

### 4.2.1 DETERMINACIÓN DE LA TEMPORALIDAD DE LOS RÍOS

La clasificación de los ríos, según la ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica, es la que a continuación se plasma literalmente:

*“A los efectos de la presente Instrucción, se entenderá por:...*

*57. ríos efímeros: cursos fluviales en los que, en régimen natural, tan sólo fluye agua superficialmente de manera esporádica, en episodios de tormenta, durante un periodo medio inferior a 100 días al año.*

*58. ríos intermitentes o fuertemente estacionales: cursos fluviales que, en régimen natural, presentan una elevada temporalidad, fluyendo agua durante un periodo medio comprendido entre 100 y 300 días al año.*

59. *ríos permanentes: cursos fluviales que en, régimen natural, presentan agua fluyendo, de manera habitual, durante todo el año en su cauce.*

60. *ríos temporales o estacionales: cursos fluviales que, en régimen natural, presentan una marcada estacionalidad, caracterizada por presentar bajo caudal o permanecer secos en verano, fluyendo agua, al menos, durante un periodo medio de 300 días al año.”*

Atendiendo a estas definiciones se ha propuesto la siguiente metodología:

Se ha partido de la serie temporal de aportaciones diarias (desagregadas de datos mensuales SIMPA 2) de cada una de las masas, las cuales contienen información del periodo de 1940 al 2006 (792 meses), en aquellos casos en los que no se dispone del total de la serie, cuando menos se presentan datos desde 1970.

Se ha optado por realizar la clasificación respetando la definición de la IPH pero, en vez de utilizar los días en los que fluye caudal se ha realizado en función de los días de cese de caudal; es decir una vez agrupados los datos por año hidrológico se han contabilizado los días que presentan caudales de 0 l/s, tal como propone la “*Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos*”.

El primer problema se presenta en la propia definición del cero, es importante acotar la precisión del dato, puesto que si presenta un número elevado de decimales se pueden obtener conclusiones erróneas, en este caso no se presentarían caudales nulos prácticamente nunca. Para subsanar este posible error y teniendo en cuenta los baremos utilizados en la clasificación se ha decidido considerar como valores nulos aquellos que son inferiores a 1 l/s.

Tal y como se expone en la “*Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos*”, un factor adicional a tener en cuenta en la clasificación de los ríos temporales está relacionado con su propia variabilidad hidrológica. Resulta necesario establecer un criterio alternativo a los valores medios (por ejemplo el promedio de días con caudal cero para todos los años). Entre otros posibles criterios, resultan muy intuitivos aquellos que se asocian a unas condiciones hidrológicas determinadas, como por ejemplo, el número de días que el río se encontraba sin caudal en un año seco.

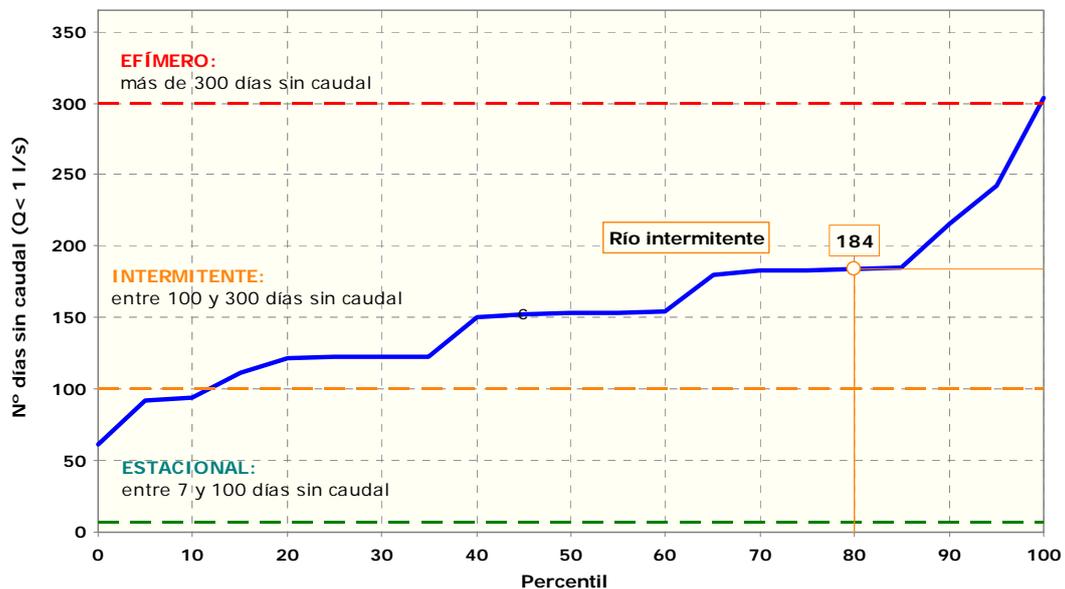
Esta aproximación permite una clasificación rápida de los ríos temporales una vez que se conoce el número de días al año que un río determinado está seco. Se ha optado por agrupar el conjunto de valores anuales de caudal nulo y establecer el percentil 80 como equivalente al año seco.

De esta manera se han mantenido los rangos propuestos por la Instrucción de Planificación Hidrológica con la salvedad de que se ha añadido una restricción para el caso de ríos permanentes (dada la interpretabilidad de la propia definición) dando un margen de siete días al año en los que el caudal se mantiene nulo (como explicita la Guía).

Los pasos seguidos para realizar la clasificación de los ríos (según el número de días de cese de caudal) se resumen a continuación:

- 1) Agrupar los caudales diarios en años hidrológicos (desde octubre a septiembre).
- 2) Contar para los años disponibles, el número de días al año con caudal de 0 l/s.
- 3) Sobre la serie de nº de días al año con caudal de 0 l/s, calcular el percentil 80.
- 4) Según el valor del percentil 80, clasificar el río según las siguientes clases:
  - PERMANENTES: fluyen habitualmente durante todo el año; se admite que no lo hagan no más de 7 días al año.
  - ESTACIONALES: presentan una marcada estacionalidad, con poco caudal o incluso dejando de fluir, normalmente en verano; se establece un periodo entre 7 y 100 días al año sin caudal.
  - INTERMITENTES: tienen una marcada estacionalidad, dejando de fluir entre 100 y 300 días al año.
  - EFÍMEROS: fluyen muy esporádicamente, en episodios de tormenta; no fluyen más de 300 días al año.

En la gráfica tipo siguiente se presentan los datos de clasificación de una masa de agua. En ella se enfrentan los días al año con caudal diario menor que 1l/s ( $Q_d < 1\text{l/s}$ ) y la frecuencia de excedencia en tanto por ciento o percentil (se han resaltado los diferentes rangos de caudal para cada tipo de río):



#### 4.2.2 DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE CESE ANUAL

Una vez identificada que la masa es temporal, la metodología para determinar los periodos de cese anuales –más adelante se establece una metodología complementaria para determinar periodos de cese hiperanuales– es la que se expone a continuación, siguiendo los criterios establecidos en la Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Mínimos:

- **Días sin caudal:** por debajo de un caudal diario de 1 l/s ( $Q < 1$  l/s) se considera que el río no fluye\*.
- **Evento de cese:** mes en el que el río no fluye en un determinado número de días. Se han considerado varios supuestos (10, 15 y 20 días) y en cada caso se selecciona el más apropiado, como se indica más abajo.

A partir de los datos de caudales diarios, se ha procedido como se indica a continuación:

\* Se adopta el mismo criterio ( $Q < 1$  l/s) seguido para la clasificación de los ríos en permanentes, estacionales, intermitentes y efímeros.

- 1º) Agrupación de los datos de caudal diario en años hidrológicos (desde octubre a septiembre).
- 2º) Contabilización, para cada año, del número de días sin caudal.

Para determinar la **frecuencia** de los eventos de cese de caudal:

- 3º) Cálculo del número de eventos de cese para cada uno de los años disponibles.
- 4º) Selección entre el percentil 25 y 75 para definir la frecuencia de eventos, a partir de la serie del número de eventos al año.

Seguidamente se expone el procedimiento seguido para determinar la **duración** del periodo de cese de caudal y su **estacionalidad** en una masa cualquiera.

- 5º) Selección entre el percentil 0 y 25 para la definición de la duración del período entre meses sin caudal, a partir de la serie del número de días al año sin caudal. Se han calculado los percentiles 0, 5, 10, 15 y 25, para seleccionar el más adecuado, en combinación con el número de días definitorio del evento (10, 15 ó 20 días/mes sin caudal).

<b>DURACIÓN DEL PERIODO DE CESE (DÍAS/AÑO)</b>	PERCENTIL 0:	61
	PERCENTIL 5:	92
	PERCENTIL 10:	94
	PERCENTIL 15:	112
	PERCENTIL 25:	123

Para determinar la **estacionalidad** de los eventos de cese de caudal:

- 6º) Se registra el mes de ocurrencia para cada uno de los días sin caudal.
- 7º) En el conjunto de todos los días sin caudal, se determinan las frecuencias de ocurrencia para cada uno de los meses del año. A partir de la distribución de frecuencias obtenida, se define la estacionalidad (%). Y con arreglo a estos porcentajes, se distribuyen los días del año sin caudal correspondientes a los percentiles calculados en el punto 5º.

ESTACIONALIDAD (%) Y DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LOS DÍAS SIN CAUDAL SEGÚN PERCENTIL DE DURACIÓN DEL PERIODO DE CESE													
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Total
Total nº días	498	330	240	310	280	310	513	943	1 474	1 860	1 883	1 200	<b>9 841</b>
Estacionalidad (%)	5%	3%	2%	3%	3%	3%	5%	10%	15%	19%	19%	12%	
Nº días sinQ (Perc. 0)	3,1	2,0	1,5	1,9	1,7	1,9	3,2	5,8	9,1	11,5	11,7	7,4	<b>61</b>
Nº días sinQ (Perc. 5)	4,7	3,1	2,2	2,9	2,6	2,9	4,8	8,8	13,8	17,4	17,6	11,2	<b>92</b>
Nº días sinQ (Perc. 10)	4,8	3,2	2,3	3,0	2,7	3,0	4,9	9,0	14,1	17,8	18,0	11,5	<b>94</b>
Nº días sinQ (Perc. 15)	5,7	3,8	2,7	3,5	3,2	3,5	5,8	10,7	16,8	21,1	21,4	13,6	<b>112</b>
Nº días sinQ (Perc. 25)	6,2	4,1	3,0	3,9	3,5	3,9	6,4	11,7	18,3	23,2	23,4	14,9	<b>123</b>

8º) Se determinan los meses en los que se produce cese. Como ya se ha dicho anteriormente, se considera que un mes cesa cuando deja de fluir un determinado número de días en ese mes. Dependiendo de este número de días, y para cada percentil calculado, se obtiene la siguiente tabla:

CESE ANUAL SEGÚN EL NÚMERO DE DÍAS AL MES SIN CAUDAL DEFINITORIO DEL EVENTO DE CESE														
EVENTO DE CESE		OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Total (días/año)
PERCENTIL 0	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								
	15 días/mes sinQ	NO	0											
	20 días/mes sinQ	NO	0											
PERCENTIL 5	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	SI	120							
	15 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								
	20 días/mes sinQ	NO	0											
PERCENTIL 10	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	SI	120							
	15 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								
	20 días/mes sinQ	NO	0											
PERCENTIL 15	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	SI	SI	150						
	15 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	NO	90							
	20 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								
PERCENTIL 25	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	SI	SI	150						
	15 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	NO	90							
	20 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								

9º) Para elegir el periodo de cese anual de entre estas 15 posibilidades (5 percentiles con tres posibilidades de número de días sin caudal en un mes concreto que implican el cese de ese mes) se ha procedido de la siguiente forma:

- a) Se totaliza el número de días al año que se produce cese, considerando 30 días por cada mes sin caudal (columna de la derecha), y se calcula, en valor absoluto, la diferencia con respecto a la duración del percentil de referencia correspondiente. Para no desvirtuar los resultados, los casos sin ningún día de cese (total= 0) no se tienen en cuenta.

EVENTO DE CESE		Total (días/año)	Diferencia respecto al percentil de referencia
PERCENTIL 0	10 días/mes sinQ	60	1
	15 días/mes sinQ	0	-
	20 días/mes sinQ	0	-
PERCENTIL 5	10 días/mes sinQ	120	28
	15 días/mes sinQ	60	32
	20 días/mes sinQ	0	-
PERCENTIL 10	10 días/mes sinQ	120	26
	15 días/mes sinQ	60	34
	20 días/mes sinQ	0	-
PERCENTIL 15	10 días/mes sinQ	150	38
	15 días/mes sinQ	90	22
	20 días/mes sinQ	60	52
PERCENTIL 25	10 días/mes sinQ	150	28
	15 días/mes sinQ	90	33
	20 días/mes sinQ	60	63

- b) Para cada bloque correspondiente a un percentil, se calcula la media aritmética de estas diferencias.

EVENTO DE CESE		Total (días/año)	Diferencia respecto al percentil de referencia	Media
PERCENTIL 0	10 días/mes sinQ	60	1	-
	15 días/mes sinQ	0	-	
	20 días/mes sinQ	0	-	
PERCENTIL 5	10 días/mes sinQ	120	28	-
	15 días/mes sinQ	60	32	
	20 días/mes sinQ	0	-	
PERCENTIL 10	10 días/mes sinQ	120	26	-
	15 días/mes sinQ	60	34	
	20 días/mes sinQ	0	-	
PERCENTIL 15	10 días/mes sinQ	150	38	37,3
	15 días/mes sinQ	90	22	
	20 días/mes sinQ	60	52	
PERCENTIL 25	10 días/mes sinQ	150	28	40,8
	15 días/mes sinQ	90	33	
	20 días/mes sinQ	60	63	

- c) Se elige el percentil con menor diferencia media, en este caso 37,3 (Percentil 15), y a su vez, dentro de él, el evento de cese cuya diferencia es menor, 22, que corresponde con 15 días/mes sinQ.

CESE ANUAL SEGÚN EL NÚMERO DE DÍAS AL MES SIN CAUDAL DEFINITORIO DEL EVENTO DE CESE														
EVENTO DE CESE		OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Total (días/año)
PERCENTIL 0	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								
	15 días/mes sinQ	NO	0											
	20 días/mes sinQ	NO	0											
PERCENTIL 5	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	SI	120							
	15 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								
	20 días/mes sinQ	NO	0											
PERCENTIL 10	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	SI	120							
	15 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								
	20 días/mes sinQ	NO	0											
PERCENTIL 15	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	SI	SI	150						
	15 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	NO	90							
	20 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								
PERCENTIL 25	10 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	SI	SI	150						
	15 días/mes sinQ	NO	SI	SI	SI	NO	90							
	20 días/mes sinQ	NO	SI	SI	NO	60								

En el ejemplo, el cese anual de caudal se establece en los meses de junio, julio y agosto.

#### 4.2.3 DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE CESE HIPERANUAL

Para completar esta caracterización, se ha procedido a determinar los periodos de cese que se puedan producir con una periodicidad mayor que la anual (cese hiperanual), en concreto, los ceses de caudal en años alternos (periodicidad bienal) y cada cinco años (periodicidad quinquenal). El análisis del número de años consecutivos en los que, en un determinado mes, se ha producido cese o no de caudal permite establecer esta periodicidad. La periodicidad se determina, para cada mes, tal como se detalla a continuación:

- 1º) Se determina la serie de años consecutivos sin caudal, la serie de años alternos consecutivos y la serie de años consecutivos con caudal.
- 2º) Se calcula el número de años consecutivos correspondiente al percentil 80\* de cada una de estas tres series (*sin Q*, *alternos* y *con Q*).

\* Se adopta el mismo percentil que el utilizado para clasificar las masas de agua en permanentes, estacionales, intermitentes y efímeros

En base a estos tres valores de percentil 80 se establece:

- Periodicidad BIENAL (cese de caudal en años alternos): el número de años consecutivos alternos es mayor o igual que el de años consecutivos con caudal (**alternos**  $\geq$  **conQ**)
- Periodicidad **QUINQUENAL** (cese de caudal cada 5 años): el número de años consecutivos con caudal menos el número de años consecutivos sin caudal es menor que cinco (**conQ-sinQ**  $<$  **5 años**)

La propuesta de periodos de cese de caudal para la masa que viene ilustrando esta metodología se recoge en la tabla siguiente.

PROPUESTA DE PERIODOS DE CESE DE CAUDAL													
MESES CON CESE DE CAUDAL Y PERIODICIDAD													
PERIODICIDAD	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Total (días/año)
ANUAL	NO	SI	SI	SI	NO	90							
BIENAL (alternos $\geq$ conQ)	NO	SI	-	-	-	SI	60						
QUINQUENAL (conQ-sinQ $<$ 5 años)	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	-	-	-	-	-	60

En este caso, y en resumen, se puede observar una marcada estacionalidad de los días sin caudal, que se concentran en los meses de julio (19%) y agosto (19%), se extienden a junio (15%) y algo a septiembre (12%) y mayo (10%). En el resto del año, los días sin caudal prácticamente no superan el 5%. En cuanto a la periodicidad, los meses de junio, julio y agosto cesan todos los años; mayo y septiembre lo hacen en años alternos (bienal); y en los meses de octubre y abril el cese es uno de cada cinco años (quinquenal).

Una vez conocidos los meses en los que por el río no circula caudal, se realiza un estudio similar al de ríos permanentes, evidentemente con las peculiaridades oportunas y descartando los meses sin caudal.

#### 4.2.4 CÁLCULO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS POR MÉTODOS HIDROLÓGICOS

La caracterización ha aportado masas con periodos de cese anuales, con periodos de cese hiperanuales (bienales y quinquenales) y masas, que aún siendo temporales, según la IPH no presentan periodos de cese concretos, pues no se dan las secuencias necesarias de días consecutivos sin caudal para cesar un mes completo, es decir, se comportan o se han de tratar pues como si fueran permanentes.

MESES CON CESE DE CAUDAL Y PERIODICIDAD												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
PERIODICIDAD (A = Anual; B = Bienal; Q: Quinquenal)	-	B	B	-	-	Q	-	-	A	A	A	A

NOTA:

El cese en los meses con periodicidad bienal o quinquenal debe ser entendido como recomendable, siempre que sea compatible con la mejor gestión

A partir de aquí se elaboran los indicadores hidrológicos obtenidos de la serie completa anual y los indicadores obtenidos al quitar los periodos de cese anuales, lo que hace subir dichos indicadores. Es decir, se calculan los mismos indicadores Percentiles 5 y 15, caudal básico, Q21 y Q25. Para los resultantes de las medias móviles se toma como inicio de la serie los meses siguientes al cese.

RESULTADOS INDICADORES DEL CAUDAL ECOLÓGICO	SIN CONSIDERAR PERIODOS DE CESE			CONSIDERANDO PERIODOS DE CESE ANUAL		
	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Aportación anual (hm <sup>3</sup> /año)	% s/Qnat	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Aportación anual (hm <sup>3</sup> /año)	% s/Qnat
Q Básico (serie anuales de datos diarios)	0,005	0,16	2,36%	0,012	0,38	5,66%
Percentil 5 (serie de datos diarios) *	0,013	0,41	6,13%	0,024	0,76	11,31%
Percentil 15 (serie de datos diarios) *	0,041	1,29	19,32%	0,052	1,64	24,51%
Q21 (serie anuales de datos diarios)	0,020	0,63	9,43%	0,045	1,42	21,21%
Q25 (serie anuales de datos diarios)	0,027	0,85	12,73%	0,053	1,67	24,98%

Como factor fundamental, se ha incorporado el concepto, del **Caudal Mínimo de las Medias, entendiéndose éste como el caudal hidrológico mínimo a adoptar.**

Este caudal se corresponde con el mínimo de los caudales medios mensuales, para cada mes, a lo largo de la serie, y se aplica como método de filtrado de posibles resultados

anómalos obtenidos con las medias móviles, al quitar a éstas de su análisis, parte de los datos diarios con los que trabajan, es decir, al quitarle los meses de cese anual.

Tras obtener los resultados de las medidas móviles, se incorporan los correspondientes factores de variación con los que se ha trabajado en las otras etapas, aplicándose el factor de variación igual a la unidad, al mes de menor caudal natural, de los que quedan tras eliminar los meses que cesan.

Finalmente se comparan para cada factor de variación, los resultados de las medias móviles y el caudal mínimo de las medias, y **se adopta para cada mes, aquel que es mayor de ellos**, lo que se localiza en la fila de los caudales adoptados.

**MEDIA DE CAUDALES (m³/s)**

		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual
	Q natural	0,120	0,171	0,447	0,445	0,351	0,291	0,272	0,199	0,145	0,099	0,082	0,078	0,212
	Perc 5 *	0,024	0,024	0,045	0,030	0,052	0,050	0,052	0,037	-	-	-	-	0,039
	Perc 15 *	0,052	0,052	0,064	0,055	0,071	0,072	0,073	0,062	-	-	-	-	0,063
	Qmin.de medias**	0,037	0,047	0,052	0,046	0,043	0,069	0,056	0,056	-	-	-	-	0,051
<b>Factor de variación</b>	F var 1	1,000	1,194	1,930	1,926	1,710	1,557	1,506	1,288	-	-	-	-	
$F \text{ var } 1 = \sqrt{\frac{Q_i}{Q_{\min}}}$	Q básico	0,012	0,014	0,023	0,023	0,021	0,019	0,018	0,015	-	-	-	-	0,018
	Q 25	0,053	0,063	0,102	0,102	0,091	0,083	0,080	0,068	-	-	-	-	0,080
$F \text{ var } 2 = 3 \sqrt{\frac{Q_i}{Q_{\min}}}$	F var 2	1,000	1,125	1,550	1,548	1,430	1,343	1,314	1,184	-	-	-	-	
	Q básico	0,012	0,014	0,019	0,019	0,017	0,016	0,016	0,014	-	-	-	-	0,016
	Q 25	0,053	0,060	0,082	0,082	0,076	0,071	0,070	0,063	-	-	-	-	0,070
$F \text{ var } 3 = 1 + \sqrt{\frac{Q_i - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}}}$	F var 3	1,000	1,395	2,000	1,997	1,840	1,723	1,682	1,492	-	-	-	-	
	Q básico	0,012	0,017	0,024	0,024	0,022	0,021	0,020	0,018	-	-	-	-	0,020
	Q 25	0,053	0,074	0,106	0,106	0,098	0,091	0,089	0,079	-	-	-	-	0,087
$F \text{ var } 4 = \sqrt{\frac{\text{Perc } 15_i}{\text{Perc } 15_{\min}}}$	F var 4	1,000	1,000	1,109	1,028	1,168	1,177	1,185	1,092	-	-	-	-	
	Q básico	0,012	0,012	0,013	0,012	0,014	0,014	0,014	0,013	-	-	-	-	0,013
	Q 25	0,053	0,053	0,059	0,055	0,062	0,062	0,063	0,058	-	-	-	-	0,058
<b>Q adoptado ***</b>	F var 1	0,053	0,063	0,102	0,102	0,091	0,083	0,080	0,068	-	-	-	-	0,080
	F var 2	0,053	0,060	0,082	0,082	0,076	0,071	0,070	0,063	-	-	-	-	0,070
	F var 3	0,053	0,074	0,106	0,106	0,098	0,091	0,089	0,079	-	-	-	-	0,087
	F var 4	0,053	0,053	0,059	0,055	0,062	0,069	0,063	0,058	-	-	-	-	0,059

Los resultados en rojo del caudal adoptado, son aquellos en los que se ha cambiado el Qbas o el Q25 por el Caudal Mínimo de las Medias.

#### 4.3 MASAS DE AGUA MUY ALTERADAS HIDROLÓGICAMENTE

Tal y como establece la IPH, se ha analizado el grado de alteración hidrológica de las masas de agua de la categoría río mediante el cálculo de índices de alteración

hidrológica, los cuales evalúan la distorsión originada en los caudales circulantes con respecto a los caudales naturales, identificándose aquellas masas que se encuentren en un grado severo de alteración hidrológica en la situación actual, presentando conflictos entre los usos existentes y el régimen de caudales ecológicos.

Este trabajo, se ha realizado para las masas simuladas hidrobiológicamente, con el fin de poder ajustar, tal y como dice la IPH, los caudales mínimos a una potencial habitabilidad del 30%.

Para realizar esta evaluación se ha empleado el programa IAHRIS, software diseñado a partir de un convenio entre la DGA y el CEDEX para la aplicación práctica de los índices de alteración hidrológica, basado en el manual “*Índices de Alteración Hidrológica en ecosistemas fluviales*” (Fernández Yuste & Martínez Santa-María, 2006).

Esta metodología propone un conjunto de índices denominados de Alteración Hidrológica (IAH) que permiten evaluar de manera objetiva y eficiente, los cambios que sobre los elementos del régimen de caudales con mayor trascendencia ambiental, inducen los aprovechamientos de los recursos hídricos.

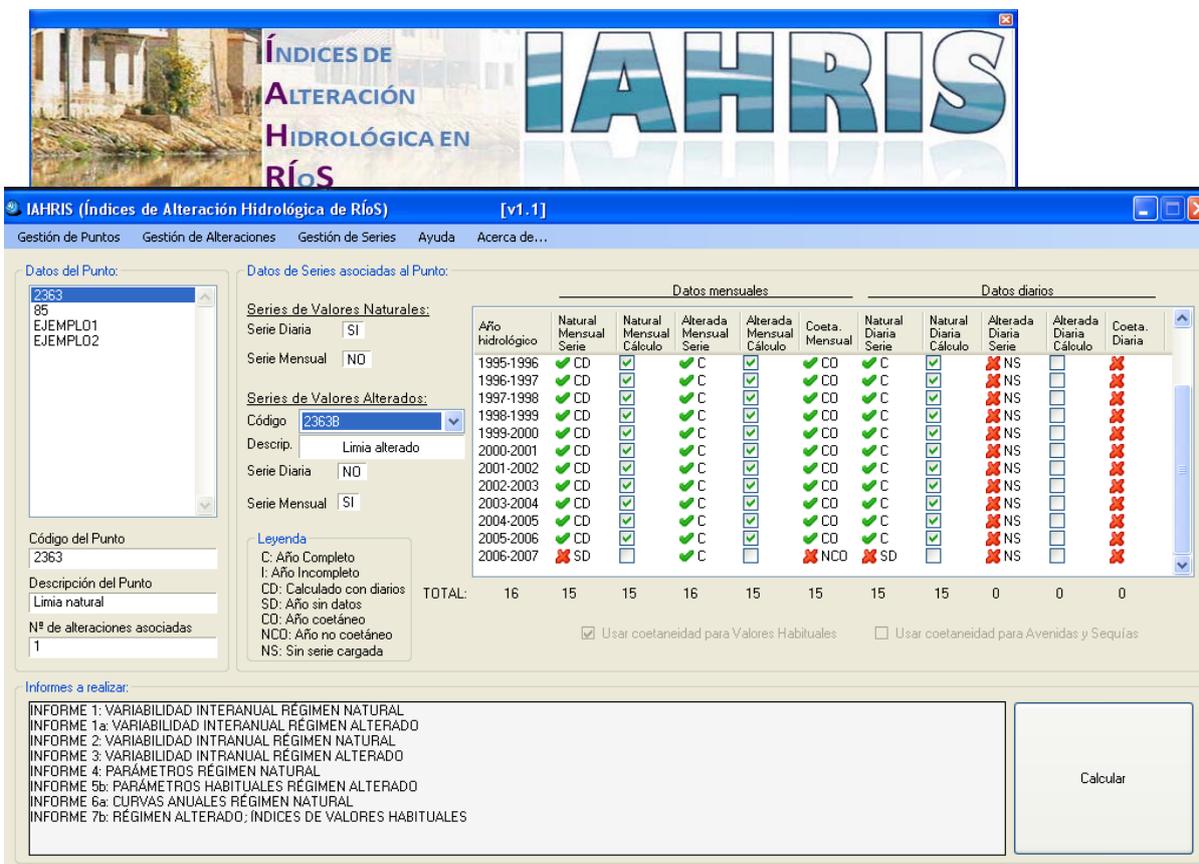
El proceso consta de dos fases principales encaminadas a la caracterización del régimen natural y a la evaluación de la alteración hidrológica gracias a los índices de alteración hidrológica (IAH).

La caracterización del régimen natural de caudales se realiza, siguiendo dos vías paralelas:

- atendiendo a los valores medios o habituales como determinantes de la disponibilidad general de agua en el ecosistema.
- atendiendo a los valores extremos de dicho régimen: máximos -avenidas- y mínimos -sequías- al representar las condiciones ambientalmente más críticas.

A su vez, cada uno de estos componentes debe ser analizado en aquellos aspectos ambientalmente significativos.

Los datos de partida están conformados por series de datos de caudal diario o aportaciones mensuales de, al menos, 15 años completos, tanto para el régimen natural como para otro régimen distinto, considerado como alterado. En la figura siguiente se muestra un ejemplo de introducción de datos al programa IAHRIS: en este caso, se disponía de 15 años completos coetáneos, pero mientras para la serie natural se dispone de datos diarios para el régimen alterado los datos disponibles son mensuales.



**IAHRIS (Índices de Alteración Hidrológica de Ríos) [v1.1]**

Gestión de Puntos    Gestión de Alteraciones    Gestión de Series    Ayuda    Acerca de...

**Datos del Punto:**  
 2363  
 EJEMPL01  
 EJEMPL02

**Datos de Series asociadas al Punto:**

**Serie de Valores Naturales:**  
 Serie Diaria  SI  
 Serie Mensual  NO

**Serie de Valores Alterados:**  
 Código: 2363B  
 Descripción: Limia alterado  
 Serie Diaria  NO  
 Serie Mensual  SI

**Leyenda:**  
 C: Año Completo  
 I: Año Incompleto  
 CD: Calculado con diarios  
 SD: Año sin datos  
 CO: Año coetáneo  
 NCD: Año no coetáneo  
 NS: Sin serie cargada

Año hidrológico	Datos mensuales					Datos diarios				
	Natural Mensual Serie	Natural Mensual Cálculo	Alterada Mensual Serie	Alterada Mensual Cálculo	Coeta. Mensual	Natural Diaria Serie	Natural Diaria Cálculo	Alterada Diaria Serie	Alterada Diaria Cálculo	Coeta. Diaria
1995-1996	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
1996-1997	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
1997-1998	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
1998-1999	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
1999-2000	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
2000-2001	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
2001-2002	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
2002-2003	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
2003-2004	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
2004-2005	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
2005-2006	✓ CD	✓	✓ C	✓	✓ CO	✓ C	✓	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
2006-2007	✗ SD	<input type="checkbox"/>	✓ C	<input type="checkbox"/>	✗ NCD	✗ SD	<input type="checkbox"/>	✗ NS	<input type="checkbox"/>	✗
<b>TOTAL:</b>	16	15	15	16	15	15	15	0	0	0

Usar coetaneidad para Valores Habituales     Usar coetaneidad para Avenidas y Sequías

**Informes a realizar:**  
 INFORME 1: VARIABILIDAD INTERANUAL RÉGIMEN NATURAL  
 INFORME 1a: VARIABILIDAD INTERANUAL RÉGIMEN ALTERADO  
 INFORME 2: VARIABILIDAD INTRANUAL RÉGIMEN NATURAL  
 INFORME 3: VARIABILIDAD INTRANUAL RÉGIMEN ALTERADO  
 INFORME 4: PARÁMETROS RÉGIMEN NATURAL  
 INFORME 5a: PARÁMETROS HABITUALES RÉGIMEN ALTERADO  
 INFORME 6a: CURVAS ANUALES RÉGIMEN NATURAL  
 INFORME 7b: RÉGIMEN ALTERADO; ÍNDICES DE VALORES HABITUALES

Calcular

Ejemplo de datos disponibles y datos utilizados para estudio alteración hidrológica con el IAHRIS.

La primera versión de esta aplicación, de libre difusión, apareció en 2007 habiéndose utilizado en numerosas masas de agua de distintas cuencas hidrográficas españolas. Se espera que a lo largo del presente año 2010 esté disponible la segunda versión, con aumento de la gama de parámetros hidrológicos evaluados e inclusión de nuevos criterios para la caracterización final del grado de alteración de una masa de agua.

La versión actual permite obtener:

- Hasta 19 parámetros descriptivos del régimen natural. Estos parámetros valoran aspectos del régimen de caudales con marcada trascendencia ambiental (magnitud, variabilidad, estacionalidad y duración). En su definición ha sido objetivo prioritario reflejar las peculiaridades de los regímenes mediterráneos, lo que conlleva un tratamiento detallado de avenidas y sequías en los aspectos antes citados.
- Hasta 21 índices de alteración hidrológica, que evalúan la distorsión de cualquier régimen circulante respecto del natural, considerando siempre a este último régimen como estado de referencia. Si el usuario facilita datos del régimen natural y de cualquier otro régimen posible para el mismo punto o tramo (régimen alterado, ambiental, propuesta de gestión...) la aplicación calcula unos índices (21 índices en la situación más general) que permiten valorar el grado de alteración del régimen hidrológico respecto a la situación natural. Estos índices de alteración han sido definidos atendiendo a las recomendaciones respecto a niveles y asignación de colores recogida en CIS-WDF, 2003 (EU Common Implementation Strategy (CIS) for the Water Framework Directive) para los Ecological Quality Ratios (EQR).

El tipo de información suministrada a IAHRIS determina los resultados obtenidos. En particular, esos resultados dependen de la periodicidad de los registros –diarios o mensuales-, y de si los datos de los regímenes natural y alterado que se comparan son o no coetáneos.

Como resumen y conclusión de la evaluación se presentan tres índices globales de alteración, uno para cada componente (valores habituales, sequías y avenidas).

ÍNDICES DE ALTERACIÓN GLOBAL			EXCELENTE	BUENO	MODERADO	DEFICIENTE	MUY DEF.
ASPECTO	VALOR	CÓDIGO	$0,64 < I \leq 1$	$0,36 < I \leq 0,64$	$0,16 < I \leq 0,36$	$0,04 < I \leq 0,16$	$0 < I \leq 0,04$
VALORES HABITUALES AÑO HÚMEDO	0.40	IAG <sub>H</sub> AÑO HÚMEDO					
VALORES HABITUALES AÑO MEDIO	0.33	IAG <sub>H</sub> AÑO MEDIO					
VALORES HABITUALES AÑO SECO	0.27	IAG <sub>H</sub> AÑO SECO					
VALORES HABITUALES AÑO PONDERADO	0.33	IAG <sub>H</sub> AÑO PONDERADO					

ÍNDICES DE ALTERACIÓN GLOBAL			EXCELENTE	BUENO	MODERADO	DEFICIENTE	MUY DEF.
ASPECTO	VALOR	CÓDIGO	$0,64 < I \leq 1$	$0,36 < I \leq 0,64$	$0,16 < I \leq 0,36$	$0,04 < I \leq 0,16$	$0 < I \leq 0,04$
AVENIDAS	0.67	IAG <sub>A</sub>					
SEQUIÁS	0.23	IAG <sub>S</sub>					

Ejemplo de asignación de categorías cualitativas a los índices de alteración para valores habituales (arriba) y extremos (abajo).

El IAHRIS se ha aplicado en todas las Demarcaciones del Proyecto, con resultados en general satisfactorios. En aquellos puntos en que se presentaban resultados incoherentes, con la situación real de las masas, incoherencias procedentes de una mala interpretación de los resultados o datos de partida erróneos, se ha tenido en cuenta el criterio de los gestores de la cuenca para identificar la alteración de las masas.

En definitiva, se ha considerado que una masa se encuentra muy alterada hidrológicamente cuando, de los tres indicadores globales que genera el modelo, uno de ellos presenta un valor muy deficiente (5), o dos de ellos un valor deficiente (4), o tres de ellos, simultáneamente, un valor igual o inferior a moderado (menor o igual de 3).

En los casos en que el modelo IAHRIS indica que se trata de masas muy alteradas hidrológicamente, identificación corroborada con el criterio de experto, la estimación para fijar el régimen de mínimos se realiza utilizando el rango comprendido entre el 30% y el 80% del hábitat potencial útil máximo para las especies seleccionadas.

Para los demás componentes del régimen de caudales se proponen escenarios adecuados a la intensidad de alteración que presentan.

#### 4.4 EXTRAPOLACIÓN MEDIANTE HIDRORREGIONES DE LOS VALORES DE CAUDALES MÍNIMOS CALCULADOS POR MÉTODOS HIDROBIOLÓGICOS

---

##### 4.4.1 INTRODUCCIÓN

La extrapolación de resultados de caudales ambientales, de las masas estudiadas hidrobiológicamente a las masas no simuladas, se ha realizado partiendo del mapa nacional de hidrorregiones generado por el CETA-CEDEX, y de las zonas con patrones hidrológicos semejantes que se han obtenido.

Para ello, se han agrupado las masas simuladas correspondientes a una misma hidrorregión. En estas masas, se ha calculado un promedio de los resultados hidrológicos

e hidrobiológicos para extrapolarlos por medio de un factor de equivalencia al resto de masas no simuladas de la hidrorregión.

Las **hidrorregiones** se definen como zonas delimitadas territorialmente que presentan unas características homogéneas desde un punto de vista hidrológico según los parámetros definidos en su momento por el CEDEX. La última versión del Mapa de Hidrorregiones a escala nacional del CEDEX es de septiembre del 2009, y para la elaboración del mismo se ha empleado:

- Datos de aportación específica mensual procedente del SIMPA en formato ráster.
- Modelos de Direcciones de 500x500 m, sobre el que se ha acumulado la aportación específica. Obtenido en su momento por el CEDEX por derivación del modelo de direcciones de 100x100 m., correspondiente al modelo Digital del Elevaciones del Servicio Geográfico del Ejército, y corregido con las capas de red hidrográfica del CEDEX
- Subcuencas del modelo 100x100 realizadas por el CEDEX. Cada subcuenca está asociada a un tramo de río.
- Capa de masas de agua definida para cada Demarcación Hidrográfica.
- Subcuencas asociadas a las masas de agua, elaborada a partir de las masas de agua aportadas por cada organismo de cuenca y del Modelo Digital de Elevaciones.

Transformando los valores continuos a valores discretos (agrupados en cuencas), para el cálculo de indicadores, se obtienen valores de aportaciones por subcuencas para el mes más seco y luego se procederá a agrupar la información por año, para poder trabajar de forma conjunta. Mediante el proceso, se han obtenido **90 supra-regiones**, que han sido las empleadas para el proceso de extrapolación.

---

#### 4.4.2 METODOLOGÍA

Este apartado explica el procedimiento seguido para la extrapolación de los resultados de caudal mínimo, obtenido por métodos hidrobiológicos, a todos los finales de las masas de agua de cada Demarcación.

#### 4.4.2.1 EXTRAPOLACIÓN DE VALORES HIDROBIOLÓGICOS DEL PUNTO DE CAMPO AL FINAL DE MASA EN TRAMOS SIMULADOS

Al disponer de las series naturales de caudales, tanto en el punto de campo como en el final de masa, se ha calculado una relación entre el caudal medio mensual mínimo de cada masa con estudios hidrobiológicos.

Para el ejemplo que se muestra en la siguiente tabla, se presentan las relaciones existentes entre el caudal mensual del punto de campo y el de final de masa:

Serie Natural Caudales	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Punto campo	0,81	0,89	1,06	0,72	0,74	0,62	0,58	0,41	0,20	0,12	<b>0,11</b>	0,27
Final masa	4,16	4,94	6,01	4,23	3,82	3,13	3,12	2,17	1,02	0,62	<b>0,59</b>	3,00
Relación	0,20	0,18	0,18	0,17	0,19	0,20	0,19	0,19	0,20	0,19	<b>0,19</b>	0,09

Relación entre la serie natural del punto de campo y el final de masa.

En este caso, el mes de agosto, es el que menor caudal proporciona para ambos puntos de la masa. Por ello, la relación existente entre ambos valores de este mes es la que establece la equivalencia, entre los caudales hidrobiológicos simulados del punto de campo y los caudales hidrobiológicos que se quiere obtener por extrapolación en el final de masa.

PUNTO DE CAMPO	relación R = 0,19	FIN DE MASA
Q 80%HPU <sub>PC</sub> = 0,093 m <sup>3</sup> /s	→ 0,093 · 1/0,19 →	Q 80%HPU <sub>FM</sub> = 0,489 m <sup>3</sup> /s
Q 50%HPU <sub>PC</sub> = 0,078 m <sup>3</sup> /s	→ 0,078 · 1/0,19 →	Q 50%HPU <sub>FM</sub> = 0,411 m <sup>3</sup> /s
Q 30%HPU <sub>PC</sub> = 0,066 m <sup>3</sup> /s	→ 0,066 · 1/0,19 →	Q 30%HPU <sub>FM</sub> = 0,347 m <sup>3</sup> /s
Q 20%HPU <sub>PC</sub> = 0,059 m <sup>3</sup> /s	→ 0,059 · 1/0,19 →	Q 20%HPU <sub>FM</sub> = 0,311 m <sup>3</sup> /s

#### 4.4.2.2 PROMEDIOS HIDROBIOLÓGICOS PARA LOS FINALES DE MASA DE TRAMOS SIMULADOS, AGRUPADOS EN HIDRORREGIONES DE UNA MISMA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA.

Se han agrupado las masas de agua en función de las hidrorregiones, obteniéndose, la relación de masas simuladas y no simuladas que pertenecen a alguna de las 91 hidrorregiones.

Hay un total de 5 hidrorregiones representadas por las 270 masas de agua del Miño-Sil; y sólo 2 de estas hidrorregiones disponen de al menos una de las 24 masas simuladas dentro de su espacio.

Ello implica, que las masas no simuladas, pertenecientes a las 3 hidrorregiones restantes (sin ninguna masa simulada en su superficie), no podrán obtener por extrapolación valores de caudal hidrobiológico, ante la ausencia de un valor promedio de Q-%HPU representativo de la hidrorregión.

Hidrorregión	MIÑO-SIL		
	Masas Simuladas	Masas No Simuladas	Total Masas
A_A_B_B_4	15	143	158
A_B_B_B_4	9	100	109
A_B_D_B_4		1	1
A_D_B_B_4		1	1
C_D_B_B_4		1	1
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>246</b>	<b>270</b>

Las tablas anteriores muestran el conjunto de hidrorregiones pertenecientes a cada Demarcación Hidrográfica; así como el número de masas pertenecientes a cada una de ellas (simuladas y no simuladas).

Por lo tanto, se han extrapolado los valores hidrobiológicos de las masas simuladas dentro de una misma hidrorregión de una Demarcación. Por el contrario, las

hidrorregiones que no posean ni una sola masa simulada dentro de sus límites no han podido ser extrapoladas ante la ausencia de un “representante” de valores hidrobiológicos para tal efecto.

La siguiente tabla muestra, para las hidrorregiones existentes en las cuatro Demarcaciones Hidrográficas, la relación de masas que pueden presentar valores de caudal hidrobiológico (por simulación de hábitat o por extrapolación), así como las que no.

		MIÑO-SIL	Total
VALORES HIDROBIOLÓGICOS	SIMULADOS	24	127
	EXTRAPOLADOS	243	1287
SIN VALORES HIDROBIOLÓGICOS (no extrapolables)		3	172
Total		270	1586

Número de masas con valores hidrobiológicos simulados o que pueden ser obtenidos por extrapolación.

Posteriormente se ha calculado un valor promedio de los caudales correspondientes al 80% HPU, 50% HPU, 30% HPU y 25% HPU extrapolados a final de masa, para cada hidrorregión donde existan tramos simulados.

Igualmente, se ha calculado un factor de correspondencia entre las masas extrapoladas hidrobiológicamente, y los que se no tienen simulación, pero pertenecen a la misma hidrorregión. Para ello se ha utilizado un factor de equivalencia, calculado, como en el punto anterior (de extrapolación de valores al fin de masa), a través del caudal medio mensual del mes mínimo.

El procedimiento realmente obtiene factores promedio de extrapolación (relación entre cada caudal hidrobiológico y el caudal medio mensual del mes mínimo) de Q80% HPU, Q50% HPU, Q30% HPU y Q25% HPU para cada una de las hidrorregiones, como se explica a continuación (ejemplo para una hidrorregión):

### Masas simuladas en Hidrorregión AA:

- Datos de partida:

- Masa 1 →  $Q_{80\%HPU_1}$ ,  $Q_{50\%HPU_1}$ ,  $Q_{30\%HPU_1}$ ,  $Q_{25\%HPU_1}$ ,  $Q_{mes_{min1}}$
- Masa 2 →  $Q_{80\%HPU_2}$ ,  $Q_{50\%HPU_2}$ ,  $Q_{30\%HPU_2}$ ,  $Q_{25\%HPU_1}$ ,  $Q_{mes_{min2}}$
- Masa 3 →  $Q_{80\%HPU_3}$ ,  $Q_{50\%HPU_3}$ ,  $Q_{30\%HPU_3}$ ,  $Q_{25\%HPU_3}$ ,  $Q_{mes_{min3}}$

- Cálculo de los factores promedio hidrobiológicos:

- Factor 1 →	$\frac{Q_{80\%HPU_1}}{Q_{mes_{min1}}}$	,	$\frac{Q_{50\%HPU_1}}{Q_{mes_{min1}}}$	,	$\frac{Q_{30\%HPU_1}}{Q_{mes_{min1}}}$	,	$\frac{Q_{25\%HPU_1}}{Q_{mes_{min1}}}$
- Factor 2 →	$\frac{Q_{80\%HPU_2}}{Q_{mes_{min2}}}$	,	$\frac{Q_{50\%HPU_2}}{Q_{mes_{min2}}}$	,	$\frac{Q_{30\%HPU_2}}{Q_{mes_{min2}}}$	,	$\frac{Q_{25\%HPU_2}}{Q_{mes_{min2}}}$
- Factor 3 →	$\frac{Q_{80\%HPU_3}}{Q_{mes_{min3}}}$	,	$\frac{Q_{50\%HPU_3}}{Q_{mes_{min3}}}$	,	$\frac{Q_{30\%HPU_3}}{Q_{mes_{min3}}}$	,	$\frac{Q_{25\%HPU_3}}{Q_{mes_{min3}}}$
	↓		↓		↓		↓

#### Factores

Promedio →  $F(Q_{80\%HPU})_{AA}$ ,  $F(Q_{50\%HPU})_{AA}$ ,  $F(Q_{30\%HPU})_{AA}$ ,  $F(Q_{25\%HPU})_{AA}$

### 2.3. EXTRAPOLACIÓN DE PROMEDIOS HIDROBIOLÓGICOS DE UNA HIDRORREGIÓN A LOS FINALES DE MASA NO SIMULADO

Alcanzado este último punto, para todas las hidrorregiones de cada Demarcación con masas simuladas se han calculado factores promedio de extrapolación para cada uno de los índices hidrobiológicos.

Para el resto de masas no simuladas en estas hidrorregiones, se han obtenido los valores de caudal hidrobiológico para sus puntos de final de masa, a través de los factores promedios calculados según el punto previo, y el caudal medio mensual del mes mínimo

propio cada masa. El procedimiento se detalla a continuación (ejemplo para una hidrorregión):

#### Masas NO simuladas en Hidrorregión AA:

- Datos de partida:

- Masa 4 →  $Q_{mesmin4}$

- Masa 5 →  $Q_{mesmin5}$

- Masa 6 →  $Q_{mesmin6}$

- Factores promedio de la hidrorregión AA:

$F(Q80\%HPU)_{AA}$ ,  $F(Q50\%HPU)_{AA}$ ,  $F(Q30\%HPU)_{AA}$ ,  $F(Q25\%HPU)_{AA}$

- Extrapolación hidrobiológica:

- Masa 4 →  $Q80\%HPU_4 = F(Q80\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin4}$

- $Q50\%HPU_4 = F(Q50\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin4}$

- $Q30\%HPU_4 = F(Q30\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin4}$

- $Q25\%HPU_4 = F(Q25\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin4}$

- Masa 5 →  $Q80\%HPU_5 = F(Q80\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin5}$

- $Q50\%HPU_5 = F(Q50\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin5}$

- $Q30\%HPU_5 = F(Q30\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin5}$

- $Q25\%HPU_5 = F(Q25\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin5}$

- Masa 6 →  $Q80\%HPU_6 = F(Q80\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin6}$

- $Q50\%HPU_6 = F(Q50\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin6}$

- $Q30\%HPU_6 = F(Q30\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin6}$

- $Q25\%HPU_6 = F(Q25\%HPU)_{AA} \cdot Q_{mesmin6}$

Para la definición de un régimen de caudales ecológicos mediante la extrapolación de los datos hidrobiológicos se deberá de considerar el tipo de masa (permanente, temporal, ocasional, efímera), y la existencia de otros aspectos que puedan condicionar el régimen final (alteración de la masa, masa protegida...)

#### 4.5 SITUACIÓN PATRÓN DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA

Para el estudio de la situación inicial o patrón del estado de la vegetación de ribera, que permita con el tiempo valorar la repercusión y funcionalidad de los caudales ecológicos que se han definido, se ha realizado un estudio en las masas simuladas hidrobiológicamente, consistente en la aplicación de los índices de vegetación QBR (Qualitat del Bosc de Ribera) y RFV (Riparian Forest Evaluation)

Se expone a continuación los aspectos que consideran ambos índices:

##### INDICE QBR

###### Calificación de la zona de ribera de los ecosistemas fluviales

Bloque	Descripción	Aspectos considerados
1	Grado cubierta de la zona de ribera	% cobertura ribera y conectividad con ecosistema adyacente
2	Estructura de la cubierta	Cobertura de los árboles y arbustos y si continuidad entre ellos, en manchas, linealidad...
3	Calidad de la cubierta *	Nº especies de árboles y arbustos autóctonos e impactos (alóctonas, mano hombre...)
4	Grado de naturalidad del canal fluvial	Río natural, modificado, canalizado

###### Determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera

Tipo	Tipo ribera * (necesario para calidad cubierta)	Tipo de ribera, cerrada, con terrazas, etc
------	---	--

<b>PUNTUACIÓN FINAL QBR</b>	
-----------------------------	--

##### INDICE RFV

Descripción	Aspectos considerados
<b>Análisis de la zona de bankfull</b>	Tamaño bankfull
<b>Continuidad longitudinal del bosque de ribera</b>	Longitud del tramo de 10 veces bankfull, valoración de ambas orillas en conjunto, sólo se valora árboles y arbustos. Taxones alóctonos son discontinuidad. No es discontinuidad la existencia de sustrato rocoso. La continuidad se valora en la línea perimetral de bankfull más próxima al cauce, en proyección vertical en ambas márgenes en conjunto

### INDICE RFV

<b>Continuidad transversal bosque de ribera</b>	Tomar 5 secciones transversales y valorar por márgenes. Valorar árboles y arbustos autóctonos y macrófitas, en una anchura de bankfull a cada margen o todo la anchura vegetación ribera. Discontinuidad es falta cobertura de leñosas autoctonas, presencia de aloctonas o mano del hombre. Valor final es promedio del valor de las secciones
<b>Complejidad del bosque ripario</b>	En mismas 5 secciones transversales y cada margen. Valorar composición y estructura (densidad, sotobosque, presencia de aloctonas, ruderales y nitrófilas). Valor final es promedio valores secciones y márgenes
<b>Regeneración bosque ripario</b>	En tramo de 10 veces longitud bankfull se valora presencia de retoños, renuevos, etc de la vegetación, en cada orilla. No valora negativamente la inexistencia de generación o retoños por falta de luz por competencia con adultos o sustrato rocoso.
<b>Valor final</b>	Asignación de dígitos de 1 a 5 para cada criterio en conjunto

## Factores analizados por el índice RFV y puntuaciones dadas

### Continuidad longitudinal

Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Más del 90% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 70 y 90% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 50 y un 70% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 30 y un 50% de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Menos de un 30 % de la longitud de las riberas del cauce están cubiertas por bosque de ribera autóctono
valor 5	Valor 4	Valor 3	Valor 2	Valor 1

### Continuidad transversal

Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Más del 90% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 70 y 90% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 50 y un 70% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Entre un 30 y un 50% de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono	Menos de un 30 % de la longitud de las secciones están cubiertas por bosque de ribera autóctono
valor 5	Valor 4	Valor 3	Valor 2	Valor 1

### Complejidad bosque ripario

Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Bosques muy densos de especies autóctonas con sotobosque formado por diferentes especies arbustivas, y presencia de especies lianoides, nemorales y epífitas	Bosques densos de especies autóctonas, con sotobosque formado por pocas especies arbustivas, escasez de especies lianoides, nemorales y epífitas. Presencia puntual de algunas especies nitrófilas y ruderales, o de algunas especies alóctonas.	Bosques claros de especies autóctonas y alóctonas, con escaso sotobosque, y presencia notoria de especies nitrófilas y ruderales	Bosques muy claros con abundancia de especies alóctonas, nitrófilas y ruderales sin apenas sotobosque	Pies aislados, en su mayor parte de especies alóctonas. Dominancia de especies nitrófilas y ruderales.
valor 5	Valor 4	Valor 3	Valor 2	Valor 1

### Regeneración bosque ripario

Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Abundancia de ejemplares jóvenes de las especies arbóreas y arbustiva, tanto en el bosque consolidado como en los espacios abiertos del cauce (barras, islas, etc)	Presencia de ejemplares jóvenes de las especies arbóreas y arbustivas, tanto en el bosque consolidado como en los espacios abiertos del cauce (barras, islas, etc)	Presencia puntual de ejemplares jóvenes condicionado por una dinámica artificial del cauce, o por actividades antrópicas.	Inexistencia de ejemplares jóvenes, condicionada por una dinámica artificial del cauce, o por actividades antrópicas	Sólo existen pies extremaduros y con problemas fitopatológicos
valor 5	Valor 4	Valor 3	Valor 2	Valor 1

### Combinación de códigos

Suma	Combinación de códigos	
20	5555	-
19	5554	-
18	5553-5544	-
17	5444-5543	5552
16	5443-4444	5533-5542-5551
15	5433-4443	5541-5532-5442
14	5333-4433-4442	5432-5522-5531-5441
13	5332-4333-4432	5422-4441-5521-5431
12	3333	5322-4422-4332-5421-5511-5331-4431
11	4322-3332	5411-4421-5321-4331-5222
10	3322-4222	4411-4321-3331-5311-5221
9	3222	4311-3321-5211-4221
8	2222	3311-3221-5111-4211
7	4111-3211-2221	-
6	2211-3111	-



<b>Suma</b>	<b>Combinación de códigos</b>	
5	2111	-
4	1111	-

Adicionalmente a la vegetación de ribera se ha estudiado en la misma ficha de compendio de resultados, el índice IHF para valoración del hábitat fluvial.

#### 4.6 CONCERTACIÓN

Los trabajos de Concertación son evidentemente posteriores a los trabajos técnicos. La implantación de los regímenes de caudales ecológicos se desarrollará conforme a un proceso de Concertación que tendrá en cuenta los usos y demandas actualmente existentes, su régimen concesional y las buenas prácticas.