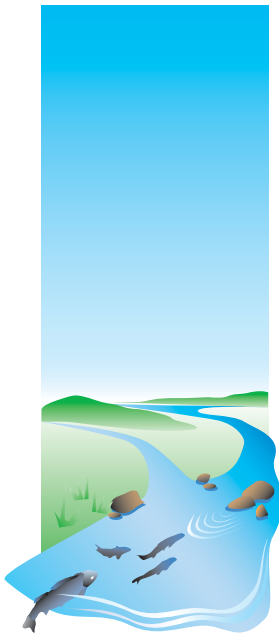


El régimen de caudales mínimos en el nuevo ciclo de la planificación hidrológica

Aspectos metodológicos y procesos de concertación social

Javier Ferrer Polo y José María Hernández Torres



DESCRIPTORES

RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS
RÉGIMEN DE CAUDALES MÍNIMOS
PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA
PLAN HIDROLÓGICO DE CUENCA
DIRECTIVA MARCO DEL AGUA
PARTICIPACIÓN PÚBLICA

Introducción

La Directiva Marco del Agua (DMA) establece como uno de sus objetivos asegurar el buen estado ecológico o buen potencial ecológico de las masas de agua para el año 2015. Aunque las referencias a los caudales ecológicos en la DMA son escasas, en ríos con una explotación tan intensa como la existente en nuestras cuencas, la implantación de un régimen de caudales ecológicos contribuirá de forma importante a alcanzar los objetivos ambientales en las masas de agua. Hasta el momento, los caudales ecológicos establecidos en los planes de cuenca no aportaban en general estudios de las necesidades ecológicas reales por tramos fluviales y tampoco incluían una modulación estacional de los caudales. En este sentido, cabe destacar como uno de los elementos importantes del nuevo ciclo de planificación hidrológica, acorde con los objetivos de la DMA, la estimación e implantación de un régimen de caudales ecológicos que responda asimismo a un proceso de concertación social para poder analizar también su incidencia en los usos existentes.

En el momento actual, se está trabajando intensamente en la definición del régimen de caudales mínimos e iniciando la definición del resto de componentes que completan un verdadero régimen de caudales ecológicos (régimen de máximos, tasa de cambio y caudal generador). La complejidad técnica de los trabajos necesarios, ha hecho que se haya desarrollado un enfoque metodológico al problema en la Instrucción de Planificación Hidrológica, recientemente aprobada mediante Orden del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) (Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, BOE núm. 229, de 22 de septiembre de 2008).

El presente texto resume tanto el marco legal previo, como los contenidos técnicos incluidos en la mencionada Instrucción, intentando aportar información adicional respecto a las dificultades y oportunidades que presenta la incorporación de un régimen de caudales ecológicos en los planes hidrológicos. Para ello, se han aprovechado los trabajos y ex-

periencias actualmente en curso en la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) respecto a los caudales mínimos en cursos fluviales permanentes.

Aspectos generales

La visión actual del concepto de caudal ecológico no se reduce únicamente a un mero valor mínimo y constante del caudal, sino que requiere a su vez de una modulación temporal del mismo, que permite cubrir las necesidades y requerimientos ambientales asociados al ámbito fluvial. Asimismo, este concepto de régimen de caudales mínimos debe complementarse por otras características adicionales que mejoren la conservación del medio natural, permitiendo, por ejemplo, el mantenimiento de las riberas y el dinamismo morfológico de los lechos mediante la generación de avenidas en caso necesario, o limitando la máxima tasa de cambio de los caudales para mejorar las condiciones de hábitat, aspectos mucho más novedosos, pero de indudable interés. También es indudable que estos requerimientos ambientales no sólo deben aplicarse a las masas de agua superficiales de la categoría ríos, sino que también tendrán que estimarse en el conjunto de masas de agua superficiales y especialmente en las aguas de transición y zonas húmedas, aun- que el grado de conocimiento técnico en estos casos es menor.

Marco legal. De la Ley de Aguas al Reglamento de Planificación Hidrológica

En la legislación nacional vigente existen numerosas referencias al concepto de caudales ecológicos, entre las que destacan:

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA), en su artículo 59.7 indica que: “Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso a efectos de lo previsto en este artículo y siguientes, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter

general a los sistemas de explotación. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en el párrafo final del apartado 3 del artículo 60. Los caudales ecológicos se fijarán en los Planes Hidrológicos de cuenca. Para su establecimiento, los organismos de cuenca realizarán estudios específicos para cada tramo de río”.

- Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio de 2001, del Plan Hidrológico Nacional, que aprovecha también para modificar diversos artículos del TRLA. En particular, en el artículo 42, “Contenido de los planes hidrológicos de cuenca”, se incluye la siguiente nueva definición: “Los caudales ecológicos, entendiéndose como tales los que mantiene como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera”.
- Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) aprobado por Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, que en su artículo 18, “Caudales ecológicos”, incluye de forma sintética numerosos conceptos relacionados con el establecimiento e implantación de un régimen de 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, que en su apartado “Caudales ecológicos” establece un programa por fases que incluye los correspondientes estudios técnicos, el análisis de las repercusiones de dicho régimen sobre los

usos del agua y un proceso de concertación, finalizando con un sistema de seguimiento del efecto del nuevo régimen. En las recomendaciones metodológicas, se distingue entre el régimen de caudales ecológicos en ríos y aguas de transición y los requerimientos hídricos de lagos y humedales, concretando en el caso de ríos permanentes la caracterización de caudales mínimos y máximos, la tasa de cambio y el régimen de crecidas. También se introduce la posibilidad de modificar el régimen de caudales ecológicos en las denominadas masas muy alteradas hidrológicamente o en situación de sequías prolongadas.

El nuevo ciclo de Planificación Hidrológica.

Retos y oportunidades para la definición de los caudales ecológicos

La determinación de los caudales ecológicos, contenido obligado de los planes hidrológicos según el TRLA, y sus efectos en las asignaciones y reservas para los usos actuales y futuros es abordado en el artículo 26, “Caudales ambientales”, del Título II, “Normas complementarias a la planificación”, de la Ley 10/2001, de 5 de julio de 2001, del Plan Hidrológico Nacional.

Respecto a los aspectos metodológicos se reitera que “los Organismos de cuenca realizarán estudios específicos para cada tramo de río, teniendo en cuenta la dinámica de los ecosistemas y las condiciones mínimas de su biocenosis”.

En dicho artículo se indica que “a los efectos de la evaluación de disponibilidades hídricas, los caudales ambientales que se fijen en los Planes Hidrológicos de cuenca 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”. En ese sentido, solo “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”.

Resulta claro que estos caudales ambientales condicionarán las asignaciones y reservas de los usos futuros, a incluir en los nuevos planes de cuenca, aunque el efecto en los usos concesionales actuales no resulta directo. En este sentido, el mismo artículo 26 indica lo siguiente:

“La inexistencia de obligación expresa en relación con el mantenimiento de caudales ambientales en las autorizaciones y concesiones otorgadas por la Administración hidráulica, no exonerará al concesionario del cumplimiento de las obligaciones generales que, respecto a tales caudales, serán recogidas por la planificación hidrológica, sin perjuicio del posible derecho de indemnización establecido en el artículo 63.3 de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas”.

Es decir, los nuevos planes hidrológicos pueden incluir condicionantes a los usos concesionales actuales, pero en ese caso es preciso un análisis de los posibles derechos preexistentes. La existencia y cuantificación de ese posible derecho debe ser tenido en cuenta en el proceso de redacción de los planes hidrológicos y, en ese sentido, el proceso de concertación previo propuesto en la Instrucción e incluido en el proceso de planificación resulta de gran interés para una eficaz implantación de ese régimen de caudales.



La oportunidad de establecer un nuevo régimen de caudales ecológicos, más respetuoso con el medio ambiente, en la nueva planificación hidrológica es un importante reto que tendrá un efecto directo sobre las asignaciones y reservas futuras. Su incidencia práctica sobre los usos actuales dependerá, no solo del mencionado proceso de concertación y su resultado final, sino de su posterior implantación, actuación más integrada en el ámbito de la gestión del dominio público hidráulico, que de la planificación hidrológica propiamente dicha.

Un último elemento importante es considerar que el horizonte temporal de los planes hidrológicos es de 6 años, por lo que el seguimiento de los efectos que el nuevo régimen de caudales tenga en los ecosistemas resulta imprescindible para refinar metodologías y asegurar unas actuaciones ambientalmente eficaces y socialmente abordables.

La Instrucción de Planificación Hidrológica y los caudales ecológicos

El desarrollo de los planes hidrológicos incluidos en el nuevo ciclo de planificación presenta una necesidad de coordinación superior a la de los actualmente vigentes para adaptarse a los requerimientos de la Directiva Marco del Agua, lo que ha aconsejado al MARM la redacción de una extensa Instrucción de Planificación Hidrológica, recientemente aprobada. En esta Instrucción, en su apartado Usos, presiones e incidencias antrópicas significativas, se incluye específicamente un apartado con las recomendaciones normativas para el establecimiento de los caudales ecológicos. Este apartado está basado en las propuestas de un grupo de trabajo compuesto por miembros de ONG, expertos de distintas universidades, centros de investigación y administraciones con sucesivas reuniones de trabajo celebradas especialmente en el último trimestre del año 2006 y primer semestre de 2007. Este grupo de trabajo actualmente está abordando la redacción de una guía metodológica que ilustre aspectos prácticos de los trabajos a realizar.

Asimismo, la redacción final ha incorporado también sugerencias de los distintos organismos de cuenca realizadas a lo largo de distintas sesiones de trabajo que tuvieron lugar en el segundo trimestre de 2007.

En el presente apartado se resume brevemente la estructura y contenido de la Instrucción, que plantea la determinación del régimen de caudales ecológicos a lo largo de tres etapas:

- Desarrollo de los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en las masas de agua.
- Proceso de concertación.
- Proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos y su seguimiento adaptativo.

Régimen de caudales ecológicos

El objetivo del régimen de caudales ecológicos es permitir mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición.

El ámbito espacial para la caracterización del régimen de caudales ecológicos se extiende, por tanto, a las masas de agua superficial clasificadas en la categoría de *ríos* o de *aguas de transición*.

El régimen de caudales ecológicos en ríos deberá incluir los siguientes componentes:

- Caudales mínimos que deben ser superados, con objeto de mantener la diversidad espacial del hábitat y su conectividad.
- Caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras.
- Distribución temporal de los anteriores caudales mínimos y máximos.
- Caudales de crecida, al objeto de mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica y los distintos procesos hidrológicos asociados.
- Tasa de cambio, con objeto de evitar los inconvenientes de una variación bruscamente artificial de los caudales.

En el caso de las aguas de transición, el régimen de caudales definirá al menos:

- Caudales mínimos y su distribución temporal, con objeto de mantener unas adecuadas condiciones de hábitat y controlar la penetración de la cuña salina.
- Caudales altos y crecidas que favorezcan la dinámica sedimentaria, la distribución de nutrientes y el control de la intrusión en los acuíferos adyacentes.

La Instrucción proporciona criterios metodológicos para la caracterización de: a) ríos permanentes, b) ríos temporales, intermitentes y efímeros, y c) aguas de transición, aunque el desarrollo está mucho más definido en el primer caso. La complejidad es mayor en el caso de los ríos no permanentes y aguas de transición, y los trabajos de desarrollo de la ya mencionada guía mejorarán el grado de concreción alcanzado hasta el momento.

Asimismo, el grado de desarrollo de la caracterización del régimen de caudales mínimos en régimen permanente es mayor que el del resto de elementos: máximos, crecidas y tasa de cambio, y deberán irse mejorando en lo sucesivo, pero se considera que en el texto de la Instrucción se ha realizado un importante avance.

Determinación del régimen de caudales mínimos en ríos permanentes.

Propuestas para su determinación

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la Instrucción plantea de forma general la problemática asociada tanto al establecimiento del régimen de caudales ambientales en ríos y aguas de transición, como a la determinación de requerimientos hídricos en lagos y humedales.

No obstante, el grado de concreción alcanzado y la experiencia existente es claramente superior en lo referente a la distribución temporal de caudales mínimos en ríos permanentes, aspecto en el que se centra el presente artículo. La propuesta planteada se basa en el uso de métodos hidrológicos, cuyos resultados deberán ser ajustados mediante la modelación de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada tipo de río.

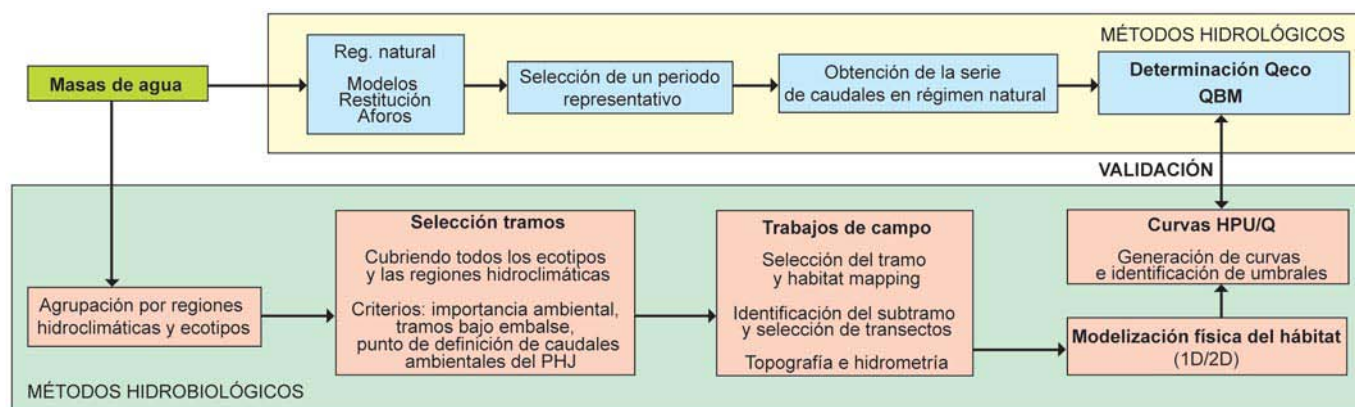


Fig. 1. Esquema metodológico aplicado al estudio del Júcar.

Este apartado pretende hacer un repaso de las metodologías propuestas en la Instrucción exponiendo los resultados e interpretaciones desarrollados en los trabajos de caracterización de los caudales ecológicos desarrollados hasta la fecha por la CHJ.

Según la Instrucción, para la estimación del rango de caudales mínimos en ríos permanentes se seleccionarán periodos homogéneos y representativos en función de la naturaleza hidrológica de la masa de agua y de los ciclos biológicos de las especies autóctonas, identificándose al menos dos periodos distintos dentro del año.

El rango de caudales mínimos se obtendrá aplicando *métodos hidrológicos* y sus resultados serán ajustados mediante *métodos hidrobiológicos*, aplicados en tramos fluviales representativos de cada tipo de río (fig. 1). A continuación, se recoge un resumen de los puntos desarrollados para la aplicación de las dos metodologías.

Métodos hidrológicos

Para la determinación del régimen de caudales mínimos por métodos hidrológicos es necesario abarcar una serie de tareas que se detallan a continuación:

- Selección de la serie de caudales hidrológicamente representativa.

Tal y como señala la Instrucción, los métodos hidrológicos se basan en el análisis de caudales mínimos de una serie hidrológicamente representativa de caudales diarios en régimen natural, con el fin de obtener una estimación de los caudales mínimos a preservar. La serie hidrológica debe estar constituida, al menos, por un periodo de veinte años consecutivos con alternancia de periodos secos y húmedos.

En el caso del Júcar, analizando las precipitaciones anuales de la serie histórica y las desviaciones acumuladas respecto de la precipitación media del periodo, se han caracterizado los periodos secos y húmedos buscando un periodo representativo, adoptando finalmente el periodo 1985-2005, caracterizado por una alternancia equitativa de periodos secos y húmedos.

- Consideración del grado de alteración de las masas de agua subterráneas.

La importante alteración de los niveles piezométricos de algunas de nuestras masas de agua subterráneas necesita una especial consideración y plantea dificultades para determinar

la serie de aportaciones superficiales a utilizar, ya que el régimen natural puede estar excesivamente alejado del actualmente existente.

En estos casos, se recomienda la comparación de los siguientes escenarios de aportaciones:

- Régimen natural, con el fin de conocer la situación que se daría en ausencia de alteraciones.
- Régimen de aportes compatible con el mantenimiento de los caudales ecológicos y una explotación sostenible del recurso subterráneo que garantice el aporte subterráneo a los requerimientos hídricos de las masas de agua asociadas. Este escenario deberá ser compatible con las actuaciones recogidas en el plan de cuenca y fruto de los procesos de participación y concertación.
- Régimen actual, que es el régimen aforado, donde se muestra la afeción de la alteración actual y su interrelación con los aportes de las masas superficiales asociadas.
- Obtención del régimen natural a escala diaria.

La obtención de series hidrológicas en régimen natural representa una importante dificultad en la mayoría de nuestras cuencas, dado su alto grado de regulación y uso, por lo que, dependiendo de los datos disponibles, son posibles las siguientes alternativas:

- Utilización directa de la red de aforos, de encontrarse las masas de agua en régimen natural.
- Restitución a régimen natural de la serie aforada en régimen alterado, mediante el balance de aportaciones, derivaciones y retornos.
- Modelización hidrológica a partir de datos meteorológicos.

En el caso de la CHJ, se ha recurrido a la combinación de las tres metodologías utilizando datos diarios de la red de aforos para las masas en régimen natural, la restitución mensual a partir de balances en tramos clave para las masas de agua reguladas y la simulación hidrológica, a escala mensual, del proceso lluvia-escorrentía utilizando para ello el modelo PATRICAL,¹ según se refleja en la figura 2.

Es especialmente complejo el obtener datos fiables a escala diaria, tanto a partir de datos registrados y restituidos como a partir de datos modelados. Los métodos hidrológicos se basan fundamentalmente en la información de los periodos de estiaje, por lo que, unos errores habitualmente asumibles, pueden tener una incidencia trascendente en los resultados





Fig. 2. Puntos analizados y origen de la caracterización del régimen natural.

obtenidos en estos periodos. En el caso del Júcar, para la obtención de las series diarias se ha llegado a un compromiso mediante la aplicación de un patrón de distribución diario obtenido a partir del análisis de estaciones de control en régimen natural representativas del comportamiento hidrológico de la región. Estas metodologías se caracterizan, en cualquier caso, por un alto nivel de incertidumbre que obliga a aplicar con prudencia los resultados obtenidos.

- Método hidrológico utilizado.

Para la aplicación de los métodos hidrológicos se ha optado por la aplicación del caudal básico de mantenimiento (QBM)² una metodología hidrológica de desarrollo nacional y contrastada en numerosos estudios.

Este método se basa en el estudio de las series temporales de caudales medios diarios, mediante la utilización de medias móviles a lo largo de las series. El parámetro fundamental del método es el caudal básico, definido como el mínimo absoluto a mantener en el cauce.

- Alteración hidrológica del tramo.

Tal y como recomienda la Instrucción, para realizar el análisis de la alteración hidrológica de los distintos tramos de estudio es necesario realizar un estudio comparativo entre el régimen actual (caudales circulantes) y el régimen natural de aportaciones. En el caso del Júcar, el análisis de la alteración hidrológica se ha realizado mediante los índices de alteración hidrológica (IAH)³ a nivel mensual y anual para el periodo 1985-2005. A la hora de establecer los rangos de caudales derivados de los métodos hidrobiológicos, se considerará como elemento importante el grado de alteración de la masa, tal y como se explica en el apartado siguiente de métodos hidrobiológicos.

Métodos hidrobiológicos

Los resultados obtenidos por métodos hidrológicos deben ser ajustados mediante la simulación de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada ecotipo. La simulación del hábitat físico es la metodología empleada en IFIM⁴ para relacionar el caudal circulante con el microhábitat físico disponible para los estadios vitales de las especies analizadas, expresado



Fig. 3. Localización de las especies piscícolas representativas en el Júcar.

generalmente como *superficie ponderada útil*. Estos análisis deben realizarse para una o varias especies identificadas como objetivo que, en el caso de la CHJ (fig. 3), han incluido a aquellas especies autóctonas de fauna o flora que por su vinculación directa al hábitat fluvial, por su carácter endémico, por estar amenazadas o por contar con alguna figura de protección, pueden ser indicadoras para definir un régimen de caudales ecológicos.

Por tanto, el ajuste mediante la modelación de la idoneidad del hábitat se basa en la simulación hidráulica acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat para la especie o especies objetivo, permitiendo obtener curvas que relacionen el hábitat potencial útil con el caudal. En el caso de los estudios específicos desarrollados por la CHJ⁵, se dispone de curvas de idoneidad para las siguientes especies piscícolas: barbo (*Barbus guiraonis*), blenio (*Salarias fluviatilis*), cacho (*Squalius pyrenaicus*) y trucha (*Salmo trutta*).

Las funciones de idoneidad utilizadas en los casos del barbo, cacho, blenio, y alevín y juvenil de trucha fueron las elaboradas por Martínez Capel en el año 2005-2006⁵. En el caso de la tru-

cha, los análisis de la freza y el estadio adulto se completaron utilizando las curvas de idoneidad de Bovee⁴. En el caso de la loina del Júcar (*Chondrostoma arrigonis*), las funciones de idoneidad utilizadas fueron las elaboradas por Martínez Capel en el año 2004 para otra especie del mismo género en la cuenca del Tajo, denominada *Chondrostoma polylepis*, estando en desarrollo estudios específicos para mejorar el conocimiento de la especie.

Es necesario recalcar la importancia de estos trabajos y su repercusión en la evaluación posterior mediante modelación de hábitat. En el caso del Júcar, los trabajos de campo y la distribución de las especies analizadas han permitido obtener curvas de preferencia, cuyo uso se ha limitado a número de orden de Strahler igual o inferior a cuatro, siendo necesario recurrir a curvas generadas en otros territorios para masas de agua de mayor número de orden.

• Selección de tramos.

Según la Instrucción, la simulación deberá realizarse en un número suficiente de masas de agua, recomendándose un mínimo del 10% del número total de masas de agua de la cate-



goría ríos. Los tramos representativos deben seleccionarse dando prioridad a las masas de agua con mayor importancia ambiental o que están situadas aguas abajo de importantes presas o derivaciones y puedan por tanto condicionar las asignaciones y reservas de recursos del Plan Hidrológico de cuenca.

En el caso de la aplicación al río Júcar para la selección de los tramos de estudio, además de los anteriores criterios, se han tenido en cuenta otros criterios complementarios: localización aguas abajo de confluencia de ríos, tramos donde se fijaban caudales ecológicos en el actual Plan Hidrológico de cuenca e intentando cubrir de forma representativa los distintos ecotipos y regiones hidroclimáticas del ámbito territorial. Los 12 tramos finalmente seleccionados con los anteriores criterios son los que reflejan las figuras 2 y 3 ya mostradas.

La longitud de los anteriores tramos ha sido escogida para que resulten representativos de la variabilidad física y ecológica de los hábitat presentes en el río.

- Métodos de simulación del hábitat físico utilizados.

Modelización en una dimensión. La mayor parte de los tramos, en el caso del Júcar, han sido modelados de forma unidimensional mediante el programa RHYHABSIM⁶ que incluye un modelo hidrodinámico que utiliza el método numérico del “paso estándar” (*Standard step*) y que se calibra en cada transecto para el ajuste del perfil de velocidades.

Modelización en dos dimensiones. Para aquellos tramos de importancia ambiental o de gran complejidad morfológica puede ser necesario recurrir a la modelación detallada en dos dimensiones, aunque la gran cantidad de recursos que consumen y su mayor complejidad, recomienda su utilización en aquellos tramos donde realmente sea imprescindible. Aquellos tramos más conflictivos del Júcar han sido analizados mediante un modelo hidrodinámico bidimensional por elementos finitos (RIVER 2D)⁷ adaptado para su uso en cauces naturales y que caracteriza la velocidad media de la columna de agua, según se refleja en la figura 4.

- Elaboración y utilización de las curvas HPU/Q.

Mediante la combinación de la simulación hidráulica y las correspondientes curvas de preferencia, puede realizarse la modelación de hábitat, obteniendo las curvas que relacionan el hábitat potencial útil (HPU) con el caudal circulante (fig. 5). Dichas curvas se han generado para las especies piscícolas seleccionadas, considerando cada uno de los tres estadios del ciclo vital de cada especie: alevín, juvenil y adulto.

Una vez construidos y calibrados los modelos hidráulicos, así como acoplados a la modelación del hábitat, se dispone de la relación entre el HPU y el caudal, siendo necesario seleccionar un rango de caudal que permita la existencia de unas condiciones biológicas adecuadas. Esto suele realizarse mediante la identificación de cambios en la pendiente de la curva HPU-caudal o a partir de unos valores de HPU suficientemente adecuados. Siguiendo las recomendaciones de la Instrucción, se adoptan unos rangos asociados a determinados porcentajes respecto al máximo valor del HPU. El umbral utilizado para fijar el régimen de mínimos en las masas de agua no alteradas hidrológicamente fue el comprendido entre el 50 y el 80% del HPU máximo, para el estadio más restrictivo de la especie de mayores requerimientos hídricos, siempre que no se produzcan afecciones a las especies más sensibles o con mayor figura de protección. Para aquellas masas muy alteradas hidrológicamente la Instrucción aconseja utilizar un régimen de mínimos comprendido entre el 30 y el 80% del HPU máximo del tramo analizado.

Comparación de hidrológicos y biológicos.

Propuesta de caudal mínimo

Para cada uno de los tramos de estudio, se aconseja elaborar una ficha resumen donde quedan recogidos de manera gráfica los resultados obtenidos, tanto por métodos hidrológicos como por métodos hidrobiológicos, lo que facilita el posterior proceso de concertación social. En la figura 6, se muestra un resumen donde se comparan los resultados del tramo correspondiente a Huerto Mulet, en el río Júcar aguas abajo de su confluencia con el río Magro.

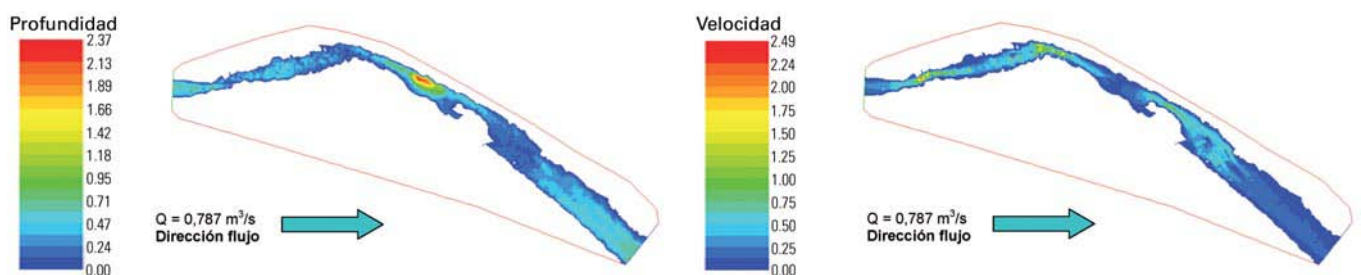


Fig. 4. Representación del hábitat en 2D. Representación espacial del campo de profundidades y velocidades.

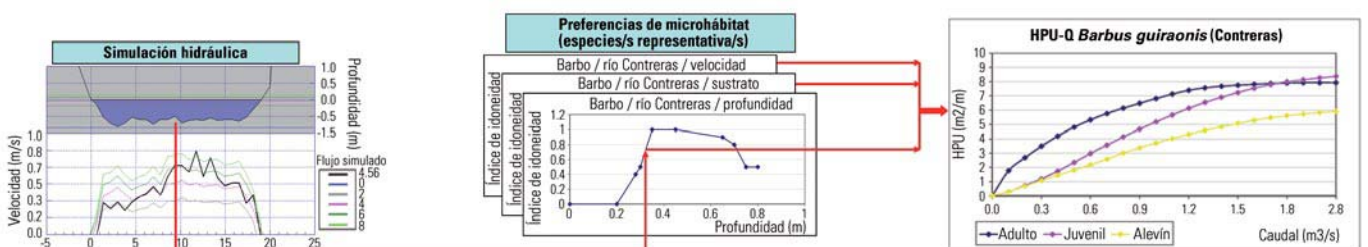


Fig. 5. Métodos hidrobiológicos, obtención de la curva HPU-caudal.

Respecto a las propuestas finales de caudal mínimo, se considera que debe incorporar un rango de resultados para facilitar el posterior proceso de concertación, adoptándose como valor inferior un caudal correspondiente al 30% del HPU en masas muy alteradas hidrológicamente, o el 50% en el resto de casos, y como valor superior, el obtenido del análisis conjunto del caudal correspondiente al 80% del HPU, y el obtenido por el método hidrológico del QBM, intentando asegurar una continuidad en los distintos tramos y una coherencia general de los resultados.

Obtención de la distribución de caudales mínimos

La distribución temporal del régimen de mínimos resulta de gran importancia ambiental y tiene una trascendente repercusión en el régimen de explotación de los sistemas hídricos. No basta un caudal constante en el tiempo para conseguir el mantenimiento ambiental del tramo, y frecuentemente los caudales estivales en tramos alterados son claramente superiores a los caudales mínimos estimados, por lo que solo puede resultar determinante su modulación temporal en determinados meses.

La distribución mensual propuesta en el Júcar ha sido desarrollada en función del peso de la aportación media mensual respecto de la aportación media anual. Esta modulación se fundamenta en hacer variar mensualmente el caudal atendiendo a la naturaleza hidrológica de la masa de agua en función del peso específico de la aportación media mensual. Estos análisis pueden permitir agrupar las masas de agua atendiendo a diferentes criterios (regiones hidroclimáticas, ecotipos...) o bien analizarlo puntualmente en los puntos clave donde se aplican los métodos hidrológicos. Los coeficientes de modulación se han definido a juicio de experto aplicando un factor de modulación limitado entre 0,80 y 1,20 de forma proporcional a los pesos anteriormente comentados, obteniendo los resultados que muestra la figura 7.

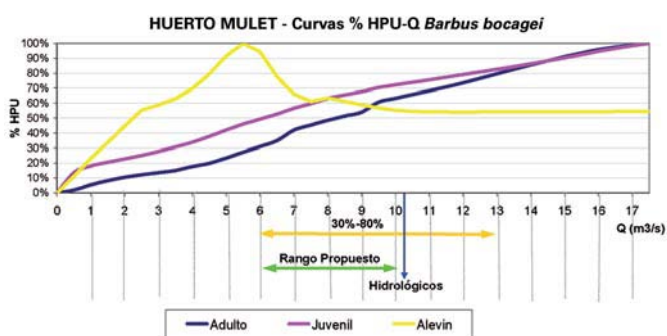


Fig. 6. Resumen de resultados en el tramo de Huerto Mulet en el río Júcar.

Proceso de participación y concertación: el ejemplo del Plan de Recuperación del Júcar

El proceso de concertación en la Instrucción

La 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. El objetivo de la concertación es compatibilizar los derechos al uso del agua con el régimen de caudales ecológicos para hacer posible su implantación.

El proceso de concertación del régimen de caudales ecológicos tendrá los siguientes objetivos:

- a. Valorar su integridad hidrológica y ambiental.
- b. Analizar la viabilidad técnica, económica y social de su implantación efectiva.
- c. Proponer un plan de implantación y gestión adaptativa.

Este proceso de concertación e implantación se referirá a los usos preexistentes, pero no modificará las condiciones a imponer a los usos futuros incluidos en el plan hidrológico.

En aquellos casos en los que el régimen de caudales ecológicos condicione significativamente las asignaciones y reservas del plan hidrológico, el proceso de concertación abarcará todos los niveles de participación: información, consulta pública y participación activa. En este último nivel, se incluirá una fase de negociación o resolución de alternativas, donde estén representados adecuadamente todos los actores relacionados de manera directa con el caso. Este proceso deberá ser previo a la inclusión del régimen de caudales en el Plan Hidrológico.

En el resto de los casos, el proceso de implantación del régimen de caudales será objeto de un programa de medidas específico que incluirá la definición del proceso de concertación a realizar y, por tanto, podrá ser posterior a la propia redacción del plan.

Según las indicaciones de la Instrucción, el Plan Hidrológico incluirá un análisis de la repercusión del establecimiento del régimen de caudales ecológicos en los usos del agua existentes. Este análisis incluirá, en particular, la siguiente información:

- a. Marco legal de los usos existentes, incluyendo las características tecnicoadministrativas de los mismos y un análisis jurídico de los efectos de la aplicación del régimen de caudales ecológicos en las concesiones vigentes.
- b. Repercusión, tanto positiva como negativa, en los niveles de garantía de las unidades de demanda afectadas y análisis de la disponibilidad de caudales y de la compatibilidad con las concesiones existentes.
- c. Repercusión económica y social, tanto positiva como negativa, de la implantación del régimen de caudales ecológicos.

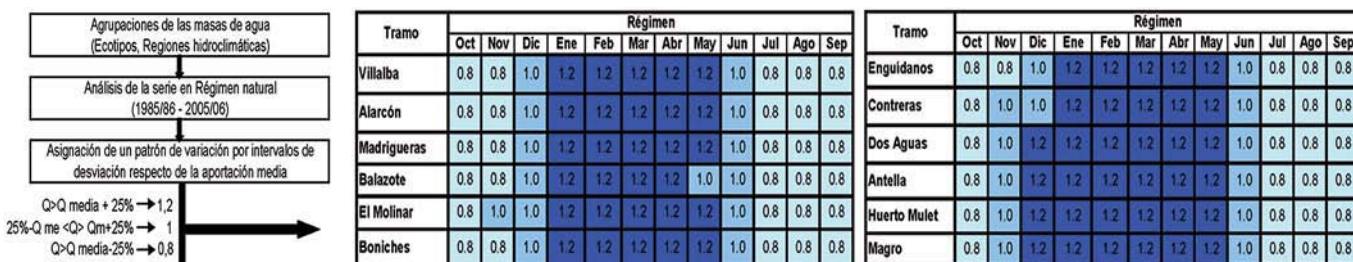


Fig. 7. Obtención de la propuesta de la modulación mensual de los caudales mínimos.



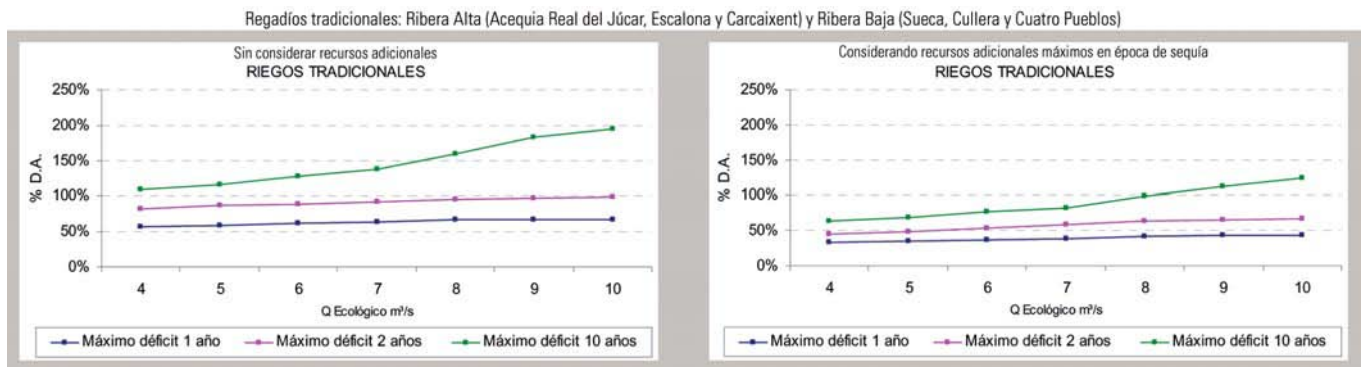


Fig. 8. Porcentaje de déficit respecto de la demanda anual (DA) en relación con el caudal ecológico en Huerto Mulet.

El Plan de Recuperación del Júcar (PRJ)

Una experiencia parcial de un proceso de concertación se ha realizado en el denominado PRJ, que ha facilitado, asimismo, la concreción de metodologías y criterios para el desarrollo de este tipo de procesos, describiéndose a continuación algunas de sus principales características.

Entre febrero de 2007 y julio de 2008, se ha desarrollado un proceso de participación ciudadana impulsado por la CHJ dirigido a elaborar el PRJ y destinado a articular un uso del río incorporando como objetivos la conservación del medio natural y de sus bienes culturales y paisajísticos. Este proceso de participación ha finalizado en un documento de conclusiones⁸ que constituye un importante punto de partida para los procesos de concertación del nuevo Plan de cuenca. Las estructuras participativas constituidas en el marco del PRJ serán integradas en el proceso más general de elaboración del Plan Hidrológico de cuenca del Júcar.

Este proceso, limitado territorialmente al ámbito de la cuenca del río Júcar, ha organizado sus trabajos en 5 ejes temáticos: a) calidad de las aguas, b) caudales ecológicos, c) restauración de riberas, d) reducción del riesgo de inundación, y e) revalorización sociocultural. El método de trabajo se estructuró con una mesa de participación, cuya función principal es la definición de los criterios básicos para dotar de coherencia transversal y visión integrada al proceso de participación, y cinco comisiones sectoriales de trabajo de acuerdo con las anteriores temáticas.

En estos órganos de participación han estado representados tanto la Administración General del Estado, como los usuarios, agentes sociales y administraciones locales y autonómicas, manteniendo una estricta paridad entre las dos comunidades autónomas implicadas: Comunidad Valenciana y Castilla-La Mancha.

Dentro del marco anterior, la Comisión de Caudales Ecológicos del PRJ ha iniciado un proceso de concertación del régimen de caudales mínimos cuyo desarrollo definitivo será acometido dentro de la participación pública desarrollada en el Plan de cuenca. Este proceso ha sido articulado en dos etapas: una primera ligada a los estudios técnicos de estimación de caudales y una segunda dedicada al análisis de su incidencia en los usos existentes.

En la primera etapa, se han analizado los estudios técnicos desarrollados para la caracterización del régimen de mínimos, informando de los resultados obtenidos por las diferentes me-

todologías aplicadas e incorporando al proceso los estudios específicos y las revisiones y sugerencias de los miembros de la Comisión. En esta etapa, se consiguió materializar unos resultados provisionales (en forma de rangos posibles) en lo que respecta a la caracterización hidrológica y de simulación de hábitat, semejantes a los ya mostrados en el tercer apartado.

El objeto de la segunda etapa ha sido analizar la repercusión de estos caudales en el régimen actual del río, de forma que los agentes implicados dispongan de la información suficiente para evaluar las repercusiones de los usos sobre el medioambiente y del régimen propuesto sobre las garantías de dichos usos.

El análisis de la incidencia del régimen de caudales mínimos con los usos existentes y sus garantías es uno de los contenidos a incluir en los planes hidrológicos de cuenca y en ese sentido los trabajos realizados son un interesante antecedente. Los criterios adoptados en el desarrollo de los trabajos del PRJ han sido los siguientes:

1. Necesidad de realizar el análisis mediante el uso de modelos de simulación de recursos hídricos.⁹
2. Utilización de la serie histórica de aportaciones que abarca el periodo 1940-2005, resultando el periodo crítico de análisis el correspondiente a 1980-2005, que debe ser cuidadosamente estudiado.
3. Utilización de los criterios técnicos incluidos en la Instrucción, estudiando la compatibilidad de los caudales mínimos con otros usos mediante el análisis de la variación de sus niveles de garantía al variar los caudales mínimos.
4. Consideración de la experiencia adquirida en la gestión de la reciente sequía, contemplando la posibilidad de recursos adicionales procedentes de pozos de sequía e incorporando en los análisis los umbrales en las reservas a partir de los cuales se activan restricciones al suministro.

Los criterios anteriores han sido considerados para realizar un primer análisis tentativo mediante la modelación detallada del sistema de explotación del Júcar utilizando la serie 1980-2005. Las demandas consideradas han sido caracterizadas, como primera aproximación, mediante el análisis estadístico de los suministros recientes.

Se ha analizado la repercusión, en las garantías de los diversos usos, de la implantación de los caudales ecológicos en dos puntos significativos, situados aguas abajo del embalse de Tous: el azud de Antella y la estación de aforos de Huerto Mulet. Como ejemplo, se muestra en la figura 8 el déficit má-

ximo a 1, 2 y 10 años de los regadíos tradicionales del Júcar, representado como porcentaje de la demanda anual, frente al caudal ecológico fijado en el segundo de los puntos indicados. En los trabajos, se han analizado dos escenarios extremos: la no existencia de recursos extraordinarios y un escenario “optimista” de recursos adicionales considerando la capacidad máxima de aprovechamiento de los recursos adicionales procedentes de actuaciones de sequía.

De los resultados obtenidos, se deducen las siguientes conclusiones:

- Se observa un punto de inflexión en las gráficas comparativas, apreciándose un aumento considerable de los déficit (para 1, 2 y 10 años) en las demandas para caudales ecológicos superiores a 6-7 m³/s.
- Hasta ese rango de caudales, los déficit máximos resultantes son sensiblemente compatibles con los valores incluidos en la Instrucción para demandas de regadíos (50, 75 y 100% de la demanda anual para 1, 2 y 10 años respectivamente).
- La consideración de recursos extraordinarios en época de sequía reduce considerablemente los niveles de déficit, si bien su movilización tiene limitaciones técnicas y administrativas que deben ser cuidadosamente valoradas.
- Los rangos anteriores de caudales son compatibles con la estimación de caudales ecológicos obtenidos por métodos hidrológicos y biológicos, según se refleja en la figura 6.

Conclusiones

Con la entrada en vigor de la DMA y con el desarrollo del nuevo proceso de planificación hidrológica, se plantea la necesidad de incorporar el régimen de caudales ambientales como contenido preceptivo de los planes hidrológicos de cuenca. En esta línea, la planificación hidrológica además de atender las demandas de agua de los distintos aprovechamientos, deberá hacer frente a una nueva restricción: proporcionar un caudal que permita cumplir con la conservación y recuperación de la calidad ecológica de nuestros ríos.

El requerimiento, recogido en el reciente Reglamento de la Planificación Hidrológica, de estimar estos caudales en todas las masas de aguas de categoría ríos y aguas de transición, así como de las necesidades de agua en los lagos y zonas húmedas, supone un reto técnico, con importantes implicaciones socioeconómicas.

La Instrucción de Planificación Hidrológica, recientemente aprobada por parte del MARM, incluye una serie de criterios técnicos de coordinación de los trabajos a realizar para la estimación de caudales ecológicos y unas directrices respecto al necesario proceso de concertación, implantación y seguimiento de los mismos.

El grado de definición de las metodologías propuestas en la Instrucción para los distintos tipos de masa es heterogéneo y resulta más detallado en lo que se refiere a los ríos permanentes y su régimen de caudales mínimos. En este caso, se plantea un uso combinado de métodos hidrológicos y de simulación de hábitat de especies objetivo, generalmente piscícolas, lo que supone un gran esfuerzo técnico que requiere medios importantes para su adecuada realización. La aplicación de esta me-

todología está siendo llevada a cabo en la CHJ dentro de los trabajos de elaboración del nuevo Plan Hidrológico de cuenca del Júcar y la experiencia adquirida permite asegurar la necesidad de contar con expertos pluridisciplinarios y suficientes recursos técnicos y humanos para alcanzar resultados adecuados.

La incidencia de este régimen de caudales ecológicos en los usos existentes y futuros, puede resultar importante en ríos altamente explotados, característicos de la región mediterránea, y debe ser analizada en un proceso de concertación y participación pública que conduzca a una implantación progresiva. En ese sentido, su inclusión en los planes hidrológicos condiciona las asignaciones y reservas a establecer en los mismos y resultará determinante en la reducción del efecto ambiental de los usos futuros. La adecuación de los usos actuales a este régimen de caudales es un proceso complejo, muy ligado al ámbito de la gestión del dominio público hidráulico, que debe incluir un seguimiento de los resultados alcanzados y conducir a una gestión adaptativa y pragmática en función de las mejoras contrastadas en las redes biológicas de medida.

El proceso de concertación recientemente finalizado en el ámbito del río Júcar, en el marco del PRJ, ha servido como un importante ensayo de cara a evaluar la incidencia de los caudales ecológicos en la preparación del nuevo Plan de cuenca. Este proceso de participación será incorporado al proceso más general de participación pública en la elaboración del Plan Hidrológico de cuenca y ha aportado experiencias especialmente útiles. □

Javier Ferrer Polo* y José María Hernández Torres**

* Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe de la Oficina de Planificación

de la Confederación Hidrográfica del Júcar

** Ingeniero Agrónomo
Tecnoma, SA

Referencias

1. Pérez, M. A., *Modelo distribuido de simulación del ciclo hidrológico y calidad del agua, integrado en sistemas de información geográfica, para grandes cuencas* (Memoria Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Valencia, 2005.
2. Palau, A., y Alcaraz, J., "The Basic Flow: An alternative approach to calculate minimum environmental instream flows", *Proc. 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics Ecohydraulics*, 1996, vol. A, pp. 547-558.
3. Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R. y Braun, D. P., "How much water does a river need?" *Freshwater Biology* 37, 1997, pp. 231-249.
4. Bovee, K. D., *Probability-of-use criteria for the family Salmonidae. Instream Flow Information Paper n° 4*. United States Fish and Wildlife Service, Cooperative Instream Flow Group. Fort Collins, Colorado, 1978.
5. Grupo de Evaluación de Impactos Ambientales. Universidad Politécnica de Valencia, *Estimación de las curvas de preferencia de microhábitat para determinadas especies piscícolas representativas como paso intermedio en el establecimiento del régimen de caudales medioambientales en los ríos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar*, Confederación Hidrográfica del Júcar, enero de 2008.
6. Jowett, I. G., "River hydraulic and habitat simulation. RHYHABSIM computer manual", *N.Z. Fish. Misc. Rep.* 49, 1989.
7. Steffler, P., y Blackburn, J., *River-2D two dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat, Introduction to depth averaged modeling and user's manual*, University of Alberta, 2002.
8. Confederación Hidrográfica del Júcar, *Informe provisional de síntesis de la comisión de caudales ecológicos. Plan de Recuperación del Júcar*, julio de 2008.
9. Andreu Capilla, J., y Sanchos, E., "Aquatool: A generalized decision support-system for water-resources planning and operational management", *Journal of hydrology*, 177, 1996, pp. 269-291.

