



**“CRITERIOS PARA LA  
IMPLANTACION DE CAUDALES  
ECOLOGICOS”**

**ESQUEMA DE TEMAS IMPORTANTES**

**PLAN HIDROLOGICO DEL EBRO**



**Rafael Sánchez y Carles Ibáñez**

**Julio 2007**



**UNIDAD DE ECOSISTEMAS ACUATICOS**

**IRTA**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
DE AGUAS DE TARRAGONA

# - INDICE -

<b>1. ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....</b>	<b>1</b>
1.1.    REGIMEN DE CAUDALES Y DINAMICA DE ECOSISTEMAS.....	1
1.1.1. El régimen hidrológico y la dinámica natural.....	1
1.1.2. Caudales mínimos y crecidas en la dinámica ecosistémica.....	3
1.2.    ALGUNAS LIMITACIONES DEL CONOCIMIENTO CIENTIFICO.....	7
<b>2. LOS CAUDALES AMBIENTALES EN LA PLANIFICACION HIDROLOGICA.....</b>	<b>9</b>
2.1.    DEFINICIÓN EN EL MARCO LEGAL.....	9
2.2.    CAUDALES AMBIENTALES Y OBJETIVOS DE PLANIFICACIÓN.....	10
2.3.    CAUDALES AMBIENTALES, USOS Y SISTEMA DE EXPLOTACIÓN.....	12
<b>3. RECOMENDACIONES PARA EL PLAN HIDROLOGICO DEL EBRO.....</b>	<b>14</b>
3.1.    ASPECTOS FUNDAMENTALES.....	14
3.2.    PROCEDIMIENTO DE INCORPORACIÓN EN EL PLAN DE CUENCA.....	17
3.3.    RELACIÓN DE PROPUESTAS ESPECÍFICAS .....	18
3.4.    CRITERIOS PARA SU DETERMINACION.....	33
<b>4. EFECTOS AMBIENTALES Y SOCIO-ECONÓMICOS DE LAS PROPUESTAS....</b>	<b>37</b>
4.1.    EFECTOS AMBIENTALES.....	37
4.2.    EFECTOS SOCIO-ECONOMICOS.....	38
4.2.1. Repercusiones económicas de los caudales ambientales.....	38
4.2.2. Efectos económicos positivos de los caudales ambientales.....	39
4.2.3. Consideraciones económicas en su implantación.....	41
<b>5. ANEXOS</b>	
ANEXO 1: Caudales ambientales para zonas y especies protegidas	
ANEXO 2: Metodologías hidrológicas para el cálculo de caudales ambientales	
ANEXO 3: Propuesta de caudales ambientales para el tramo inferior del río Ebro	
ANEXO 4: Propuesta de caudales ambientales en ríos seleccionados de la cuenca	

# 1. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

## 1.1. RELACION ENTRE EL REGIMEN DE CAUDALES, LOS ECOSISTEMAS Y LAS ESPECIES

La ciencia de los caudales ambientales ha experimentado en los últimos años una fuerte evolución en sus conceptos y métodos. El desarrollo de nuevas herramientas de análisis, la realización de estudios experimentales y la conceptualización teórica, permiten hoy día sentar las bases para abordar adecuadamente la temática de los caudales ambientales en España, aún teniendo en cuenta las propias limitaciones técnicas y científicas.

Dentro de los puntos comunes que encuentran la ecología, geomorfología e hidrología en la gestión de los ríos como sistemas naturales, una de las líneas de investigación más prometedoras se refiere a la relación entre los diferentes elementos del régimen hidrológico, la dinámica de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad. A continuación se realiza un resumen y síntesis no exhaustiva de tales relaciones.

### 1.1.1. El régimen hidrológico y la dinámica natural.

Desde el punto de vista del funcionamiento del medio natural, los ecosistemas son el resultado de la combinación de condicionantes que incluyen múltiples factores como las características orográficas, substratos geológicos, composición físico-química de las aguas, régimen hidrológico, etc. De todos estos factores, existen algunos que gobiernan preferentemente el conjunto de procesos que generan, destruyen o cambian la estructura biofísica de un ecosistema. En el caso de los ecosistemas acuáticos, no cabe duda de que el régimen hidrológico es uno de estos factores de control clave.

El régimen hidrológico se define como las variaciones de caudal a lo largo del tiempo en un punto determinado de la red hidrográfica. Su representación gráfica (hidrograma) permite fácilmente observar rasgos de identidad: valores máximos y mínimos de caudal, cambios temporales y su variabilidad, patrones estacionales que en mayor o menor medida se repiten anualmente, etc. En el caso de la Península

Ibérica, su estructura física relativamente compleja y la particular situación geográfica favorecen la existencia de una gran variedad de formas, tamaños y funcionamiento de sus cuencas vertientes, lo cual determina la gran variabilidad de regímenes hidrológicos de nuestros ríos, lagos y humedales.

Bajo la perspectiva de las especies, la importancia del régimen hidrológico radica en las características físicas asociadas a cada caudal (velocidad, profundidad, sección mojada, etc.), que constituyen potencialmente el hábitat físico para las diferentes especies. Un aspecto relevante del hábitat físico en su capacidad de acogida para las biocenosis se encuentra en su heterogeneidad espacial. Según Black y Thomas (1978)<sup>1</sup>, tanto en el número de especies como de individuos dentro de una población, están estrechamente relacionados con la disponibilidad de recursos y con las características estructurales del hábitat mismo.

Tanto la variabilidad estructural del hábitat como su dinámica temporal y conectividad, se encuentran fuertemente influenciadas por todos los elementos del régimen hidrológico (estiajes, crecidas, etc.), lo cual induce a pensar que la presencia y distribución de las especies está condicionada en última instancia por el régimen hidrológico.

Efectivamente, en una revisión reciente sobre el papel del régimen de caudales en la conservación de la biodiversidad, Bunn y Arthington<sup>2</sup> (2002) sugieren cuatro importantes principios:

1. El régimen de caudales es el principal determinante del hábitat físico en los ecosistemas acuáticos, que en última instancia es el principal determinante de la composición biológica.
2. Las especies acuáticas han evolucionado sus estrategias vitales principalmente en respuesta a sus regímenes hidrológicos naturales.

---

<sup>1</sup> BLACK, H. JR. Y J. W. THOMAS, 1978. Forest and range wildlife habitat management: ecological principles and management systems. 47-55 pp. En: Proceedings of the workshop on nongame bird habitat management in the coniferous forests of the western United States. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-64. Portland, Oregon.

<sup>2</sup> Bunn, S. E, Arthington AH. 2002. "Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity." *Environmental Management* **30** (4): 492-507.

3. El mantenimiento de los patrones naturales de conectividad lateral y longitudinal es esencial para la viabilidad de las poblaciones de numerosas especies acuáticas
4. La invasión y éxito de las especies introducidas se ve favorecida por la alteración de los regímenes hidrológicos.

Una gran parte de estos principios que relacionan los regímenes hidrológicos con los ecosistemas acuáticos son sintetizados y recogidos en el Paradigma del Régimen Hidrológico Natural (Poff et al. 1997<sup>3</sup>), que enuncia lo siguiente:

***“Para conservar la biodiversidad, producción y sostenibilidad de los ecosistemas fluviales, es necesario destacar el papel central de un medio físico variable. El régimen hidrológico natural organiza y define este ambiente físico, y por ende, el ecosistema fluvial”.***

### **1.1.2. Papel de los caudales mínimos y las crecidas en la dinámica ecosistémica.**

Tal como se ha descrito anteriormente, el régimen hidrológico natural de un río, con toda la gama y distribución de caudales que presenta, es un factor de control que marca en gran medida las pautas de cambio de los ecosistemas. Pese a la importancia de todos los caudales en la determinación de los marcos ambientales (competencia, depredación, descomposición, colonización, ciclo de nutrientes, hidrodinámica, etc.), puede decirse que algunos de ellos ejercen un papel destacado dentro de la dinámica ecosistémica.

Con fines ilustrativos y sin la intención de ser exhaustivos (no se abordan todos los elementos o aspectos del régimen hidrológico), a continuación se describe sucintamente el papel de los caudales mínimos y las crecidas en la organización y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos.

---

<sup>3</sup> Poff NL, Allan JD, Bain MB, Karr JR, Prestegard KL, Richter BD, Sparks RE, Stromberg JC. 1997. “The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration”. *BioScience*, **47**: 769-784.

## Los episodios de caudales mínimos

Los caudales mínimos marcan condiciones limitantes del hábitat para muchas especies a través de parámetros hidráulicos como la velocidad o la profundidad. Este mecanismo de control permite la puesta en práctica de estrategias adaptativas desarrolladas por las especies autóctonas a lo largo de su historia evolutiva. Si los episodios de caudales bajos se mantienen dentro de su rango natural de ocurrencia, las especies autóctonas podrán persistir en estas condiciones de estrés, mientras que la falta de adaptación de las especies foráneas podría llevarlas a su exclusión. En estas circunstancias de caudales bajos limitantes, la diversidad espacial y la conectividad de los refugios es un aspecto físico clave.

Un parámetro particularmente relevante en los episodios de caudales mínimos es la velocidad de la corriente y sus fuerzas físicas asociadas. Según Allan (2004)<sup>4</sup>, representa probablemente el factor ambiental más importante que influye sobre los sistemas lóticos y las comunidades biológicas que los integran. Esta variable juega un papel relevante para algunas especies, como el caso del Desmán de los Pirineos (*Galemys pyrenaicus*) en relación a sus hábitos alimenticios. Los estudios realizados para determinar los factores limitantes en la distribución de esta especie concluyen que la velocidad de la corriente es la variable física más determinante para explicar su presencia, de tal forma que en tramos con velocidad inferior a 20 cm/s las citas observadas son muy escasas (Nores *et al*, 1992)<sup>5</sup>.

Los caudales mínimos combinados con los problemas de contaminación, también juegan de forma indirecta un papel decisivo en el estado ecológico de los ecosistemas. El exceso de nutrientes combinado con la escasez de caudal agrava de forma sinérgica los episodios de eutrofización y anoxia. En el caso de ríos temporales, los caudales mínimos controlan las condiciones hidrodinámicas que gobiernan la estratificación de las pozas, lo cual supone un gran riesgo de pérdida de las buenas condiciones de calidad del agua del fondo por anoxia o la ocurrencia de floraciones algales. El efecto de la disminución del volumen de oxígeno disuelto

---

<sup>4</sup> Allan, J.D. 1995. *Stream Ecology: structure and function of running waters*. Chapman and Hall, London. Pp. 388.

<sup>5</sup> Nores C, Ojeda F, Ruano A, Villate I y González J. 1992. *Aproximación a la metodología y estudio del área de distribución, estatus de población y selección del hábitat del Desmán (Galemys pyrenaicus) en la península ibérica*. Universidad de Oviedo

en el agua provoca una recesión en los efectivos de las poblaciones de peces, que al mismo tiempo influye en la productividad biológica de predadores como el visón o la nutria. Obviamente, en los ríos donde se agudizan todas estas circunstancias, estas especies acaban por desaparecer.

### Los episodios de crecidas

Las crecidas e inundaciones son procesos naturales donde el ascenso del nivel de la corriente desborda el cauce menor y pasa a ocupar progresivamente el cauce mayor hasta alcanzar un máximo a partir del cual comienza su descenso (Ollero, 1996)<sup>6</sup>.

Desde el punto de vista de la dinámica ecológica, las crecidas constituyen eventos naturales de gran importancia que incluyen la transferencia de materiales y energía entre el río y su ribera, la dinámica temporal de los ambientes acuáticos fuera del cauce principal, la perturbación de poblaciones y especies, etc.

Durante los periodos de inundación propios de las crecidas se produce un movimiento transversal de agua, sedimentos y nutrientes que conecta los diferentes ambientes de los sistemas fluviales (lecho y llanura de inundación). Estas crecidas incrementan la heterogeneidad y complejidad del ambiente fluvial con sus diferentes galachos y brazos secundarios, bajíos, remansos y áreas de inundación. Tal como queda recogido en el *Concepto de la Dinámica de Parches* (Townsend *et al.* 1989)<sup>7</sup>, la diversidad de especies se correlaciona directamente con la complejidad del hábitat, de tal forma que una alta diversidad de especies se relaciona con una alta heterogeneidad espacial y una cierta variabilidad temporal.

Las crecidas también ejercen un importante papel como elementos perturbadores que controlan la presencia y abundancia de diferentes especies. Frente a estos eventos catastróficos, las especies autóctonas han desarrollado diferentes adaptaciones y estrategias (morfológicas, ecológicas y etológicas) que les permiten tolerar las fuertes presiones sin desaparecer del medio a largo plazo.

---

<sup>6</sup> Ollero, A. (1996): *El curso medio del Ebro: geomorfología fluvial, ecogeografía y riesgos*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, 311 p., Zaragoza.

<sup>7</sup> Townsend, C. R. (1989) The path dynamics concept of stream community ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, **8**, 36-50.

Otro ejemplo de adaptación al régimen perturbador de las crecidas lo encontramos en los bosques de ribera. En un primer momento la cubierta vegetal sufre los efectos abrasivos de la crecida, pero al mismo tiempo se ponen en marcha los procesos de sucesión vegetal que permiten la reconstitución de las comunidades vegetales preexistentes antes del evento catastrófico, dando lugar con el paso del tiempo a formaciones vegetales maduras y estables. Al reducirse el número de crecidas y su caudal punta, los márgenes de los cauces otrora abundantes en gravas se colonizan de especies vegetales que reducen la sección de desagüe incrementando el efecto de inundación. Los ajustes geomorfológicos subsiguientes suelen producir una incisión lineal que reducen la capacidad del mismo. El cambio en la dinámica perturbadora natural facilita en muchos casos la colonización de especies exóticas que desplazan a las especies autóctonas, dando lugar a una banalización del bosque de ribera e induciendo el declive de las especies nativas.

El efecto limpieza es otro aspecto destacado de las crecidas. Las partículas finas y la materia orgánica que paulatinamente se acumulan en el fondo del lecho, reducen la infiltración del agua superficial en el sedimento y disminuye los niveles de oxígeno por la descomposición de dicha materia orgánica. Las consecuencias sobre las especies bentónicas de limitada movilidad (incluyendo *Margaritifera auricularia*) pueden ser muy severas si estas condiciones ocupan extensos tramos durante prolongados periodos de tiempo. Las áreas de puesta de algunas especies de peces son otro claro ejemplo de los efectos de la acumulación de partículas finas en el lecho, dando lugar a unas condiciones desfavorables para la freza o el desarrollo larvario de especies como *Barbus* sp., *Alosa* sp., *Salaria fluviatilis* ó *Petromizon marinus*, entre otras.

Desde el punto de vista geomorfológico, durante el ascenso y punta de las aguas predominan los procesos de erosión tanto en las orillas como en el fondo del lecho, mientras que durante el descenso de las aguas estos materiales se depositan (sedimentación diferencial) con un balance final muy similar al inicial. Esta dinámica cambiante con acumulaciones de gravas, inicios de nuevos cauces, encharcamientos, profundos socavones, etc., es un aspecto clave en la creación y conservación de los hábitats fluviales.

Finalmente cabe destacar el pulso energético de materia y energía que imprime el río en el estuario, el delta y su zona costera de influencia. A pesar de que hoy en día no

se disponen de datos suficientes para aproximarnos cuantitativamente a los efectos de la alteración de caudales y del régimen de crecidas sobre los sistemas marinos y las pesquerías, sí se puede afirmar que dicha repercusión es significativa. Diversas aproximaciones empíricas ponen de manifiesto la relación más o menos directa entre cantidad de nutrientes y producción primaria generada en la desembocadura de los ríos, junto con un efecto indirecto de fertilización por efecto del afloramiento inducido (Camp *et al*, 1991)<sup>8</sup>.

## 1.2. ALGUNAS LIMITACIONES DEL CONOCIMIENTO CIENTIFICO

Una característica particularmente apropiada para los ecosistemas acuáticos es que son complejos y dinámicos. Como consecuencia de esta característica intrínseca a los mismos, tanto la comprensión de su funcionamiento como nuestra capacidad predictiva de sus respuestas resultan muy limitadas.

Algunas de las preguntas que presentan una mayor vinculación a la puesta en práctica de los caudales ambientales se refieren a las complejas interrelaciones físicas y ecológicas entre las diferentes masas de agua y su entorno terrestre. Efectivamente, los ecosistemas acuáticos no son elementos territoriales simples y estáticos sino, al contrario, estructuras complejas inmersas en matrices territoriales más amplias y sometidas a una dinámica evolutiva constante. El mantenimiento de los ecosistemas y de sus comunidades biológicas depende del mantenimiento de tales flujos y conexiones más o menos continuas, conectividad que se manifiesta en su dimensión longitudinal (río-estuario-zona costera), su dimensión lateral (río-llanura de inundación) y su dimensión vertical (aguas superficiales-aguas subterráneas).

Las limitaciones del conocimiento científico se pueden referir tanto al cambio del ambiente físico y químico inducido por la alteración del régimen hidrológico, como la respuesta biológica a esos cambios del ambiente físico y químico. En este sentido se desconocen cuantitativamente los valores umbrales de los parámetros de control que ejercen los mecanismos de regulación de las redes tróficas, y que en última instancia mantienen a determinadas especies y comunidades. De forma equivalente, existen

---

<sup>8</sup> Camp, J., Romero, J., Pérez, M., Vidal, M., Delgado, M. y Martínez, A. 1991. Production-consumption budget in an estuarine bay: how anoxia is prevented in a forced system. *Oecologia aquatica* 10:145-152.

grandes lagunas de conocimiento relativas a los aspectos cuantitativos de los flujos de sedimentos y nutrientes y su papel en la dinámica ecológica.

A pesar de que existen claras evidencias de los efectos ecológicos y geomorfológicos de la alteración del régimen de caudales, la relación entre el nivel de alteración hidrológica y el cambio ecológico o geomorfológico no es simple, de tal forma que cambios ecológicos severos pueden ocurrir en respuesta a pequeñas alteraciones del régimen hidrológico o viceversa.

Finalmente un aspecto práctico a considerar son las limitaciones del conocimiento científico aplicado a los métodos de cálculo. La necesidad por parte de los gestores de establecer unas reservas ambientales en las fases de planificación (en muchos casos de manera urgente y con escasa información), ha dado lugar a una gran multiplicidad de métodos y criterios para establecer caudales ecológicos en todos los continentes. No obstante, no cabe olvidar que el método científico es un proceso sistemático y riguroso destinado a explicar fenómenos y establecer relaciones entre los hechos. A pesar de que actualmente existen notables avances en el conocimiento científico que pueden ser aplicados a la práctica de los caudales ambientales, una gran parte de los métodos actualmente vigentes no han seguido un proceso explícito de revisión en su argumentación y validez científica. Se trata por tanto de una tarea urgente y necesaria por realizar.

## 2. JUSTIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA DE LOS CAUDALES AMBIENTALES EN LA PLANIFICACION HIDROLOGICA

Los caudales ambientales han adquirido una importancia creciente en la planificación hidrológica, como demuestra en los últimos 20 años su evolución a través de las diferentes normativas. Desde la Ley 29/1985 de Aguas hasta hoy día, se observa una clara evolución de los caudales ecológicos en su definición, su papel en el cumplimiento de los objetivos generales de planificación y su protagonismo en el balance de recursos. A continuación se destacan algunos de estos aspectos.

### 2.1. EVOLUCIÓN DE LA DEFINICIÓN DE LOS CAUDALES AMBIENTALES EN EL MARCO LEGAL

A pesar de que en el texto de la Directiva Marco del Agua no aparece explícitamente el término de caudales ecológicos, en el Anexo V de dicha Directiva queda reflejado el papel que debe cumplir el régimen hidrológico respecto a sus funciones ambientales. Para el caso del Buen Estado Ecológico, el régimen hidrológico debe ser aquel *“caudal e hidrodinámica del río, y la conexión resultante a las aguas subterráneas, que permite que los valores de los indicadores de calidad biológicos muestren valores bajos de distorsión causada por la actividad humana, y sólo se desvían ligeramente de los valores en condiciones inalteradas”*.

En la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional aparece en su artículo 26 relativo a los caudales ambientales una lejana referencia al alcance del concepto, determinando que para su establecimiento se *“tendrán en cuenta la dinámica de los ecosistemas y las condiciones mínimas de su biocenosis”*.

En cambio, en la Disposición Adicional Décima relativa al Plan Integral de Protección del Delta del Ebro, aparece una referencia más explícita a los caudales ecológicos. En esta disposición se establece la necesidad de definir un régimen de caudales ambientales del tramo inferior del Ebro que *“permita el desarrollo de las funciones ecológicas del río, el delta y el ecosistema marino próximo. Asimismo se definirá un caudal adicional que se aportará con la periodicidad y magnitudes que se*

*establezcan de forma que se asegure la correcta satisfacción de los requerimientos medioambientales de dicho sistema”.*

La Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional en su apartado (1) (b) (c') del artículo 42 hace de nuevo una referencia a 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”.*

En el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Planificación Hidrológica, aparecen nuevas referencias al concepto de régimen de caudales ecológicos. En el mismo sentido que el Anexo V de la DMA, en el artículo 3 (f) referido a la definición del Buen Estado Ecológico se establece que los indicadores hidromorfológicos (incluyendo el régimen hidrológico) deben ser coherentes con la consecución de los valores de indicadores de calidad biológicos propios del Buen Estado, es decir, que estos indicadores muestran valores bajos de distorsión causada por la actividad humana, desviándose sólo ligeramente de los valores normalmente asociados a condiciones inalteradas.

Finalmente, en el artículo 18 relativo a los caudales ecológicos se establece que su puesta en práctica *“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”.*

## 2.2. LOS CAUDALES AMBIENTALES RESPECTO A LOS OBJETIVOS DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.

Los caudales ambientales tienen de forma directa o indirecta un gran peso en la consecución de los objetivos de la Planificación Hidrológica, particularmente en aquellos que se refieren al ámbito ambiental. A pesar de que no siempre estas relaciones han sido claras, los sucesivos actos legislativos nos han ayudado a clarificar e interpretar mejor la estrecha relación que existe (y debe existir) entre ambos.

En el artículo 38 de la Ley de Aguas de 1985, no se establecían estas claras referencias entre los objetivos generales de la planificación hidrológica y los caudales ambientales, pero eran fácilmente deducibles cuando al objetivo general de “*conseguir la mejor satisfacción de las demandas de agua*”, se incorporaba la necesaria racionalización de usos “*en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales*”.

Es precisamente en la Ley 46/1999 (con la modificación de los apartados 1 y 4 del artículo 38 de la Ley 29/1985), cuando se incluye como objetivo general de la Planificación Hidrológica “*conseguir el buen estado ecológico del dominio público hidráulico*”. Habida cuenta de la interpretación técnica y científica del concepto de estado ecológico, parece evidente que la consecución de este objetivo está estrechamente ligada a la puesta en práctica de unos caudales ecológicos adecuados.

Con la aprobación de la Directiva Marco del Agua se refuerza en el artículo 4 (1) (a) (ii) el objetivo del Buen Estado Ecológico como requerimiento general para mantener o recuperar todas las masas de agua en la Unión Europea. No cabe duda de que la Directiva aclara y desarrolla el concepto de estado ecológico, aportando criterios técnicos para su determinación y clasificación.

Efectivamente, tal como se ha mencionado en el apartado anterior, tanto la definición del artículo 2 (21) como su caracterización con arreglo al anexo V, permiten establecer claramente las relaciones entre estado ecológico y caudales ambientales, figurando específicamente entre los elementos de calidad hidromorfológicos el régimen hidrológico. que en el caso del Buen Estado deben proporcionar condiciones coherentes con la consecución de los valores especificados anteriormente para los elementos de calidad biológicos.

De esta definición se deduce de forma inmediata la necesidad de poner en práctica unos regímenes de caudales ambientales adecuados como condición indispensable para cumplir con los objetivos ambientales establecidos por la propia Directiva.

Los sucesivos actos legislativos hasta la actualidad han mantenido entre sus objetivos generales de la Planificación Hidrológica, sin apenas variantes, “*conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico*” (artículo 1 (1) del Reglamento de Planificación Hidrológica).

### 2.3. LOS CAUDALES AMBIENTALES RESPECTO AL RESTO DE USOS Y EL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

A pesar de que la Planificación Hidrológica recoge en sus objetivos el protagonismo del agua como recurso natural indispensable para el ejercicio de la inmensa mayoría de las actividades económicas, este aprovechamiento de los recursos hídricos se debe llevar a cabo racionalizando los usos del agua en armonía con el medio ambiente. El uso racional de los recursos hídricos queda reflejado explícitamente en el artículo 48 (4) de la Ley 29/1985, donde se establece que la ley no ampara el abuso del derecho en la utilización de las aguas, ni el desperdicio o mal uso de las mismas, cualquiera que fuese el título que se alegare.

El artículo 57 (7) de la Ley 46/1999, marca claramente unos límites en la utilización de los recursos hídricos por motivos ambientales, estableciendo por primera vez que *“los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso (...), debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación”*, a excepción de la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones.

No cabe duda de que la utilización de los recursos hídricos encuentra sus límites precisamente donde comienzan los caudales ecológicos. Según se indicaba en el Libro Blanco del Agua, se trata de diferenciar y reservar unos recursos con los que el sistema no puede contar para alcanzar los objetivos productivos de utilización del agua. Sólo los recursos restantes, los que realmente constituyen un potencial, son los que deberían poder movilizarse en el sistema de utilización y han de ser, por tanto, los que se deben hacer intervenir en el balance entre recursos y demandas.

Esta misma interpretación es la que se deduce de los diferentes actos legislativos cuando abordan los balances, asignación y reserva de recursos. El artículo 26 de la Ley 10/2001 profundiza en este mismo sentido en la evaluación de las disponibilidades hídricas, estableciendo que los caudales ambientales fijados 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 este mismo artículo se determina que *“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”.*

Este principio de restricción previa de los caudales ambientales continúa siendo plenamente vigente, como marcan los artículos 17 (2) y 21 (1) del Reglamento de Planificación Hidrológica aprobado en julio de 2007.

### 3. RECOMENDACIONES PARA SU CONSIDERACIÓN EN EL PLAN HIDROLOGICO DE LA DEMARCACION DEL EBRO

A continuación se enumeran determinadas recomendaciones para su consideración y tratamiento en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Ebro.

Además, en el Anexo 4 se incorpora la propuesta de caudales ambientales para el tramo inferior del Ebro, aprobada en marzo de 2007 por el plenario de la Comisión para la Sostenibilidad de las Tierras del Ebro. Con esta propuesta se da cumplimiento a lo establecido por la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modificó la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, que señala el deber de elaborar un Plan Integral para la Protección del Delta del Ebro (PIPDE) que incorpore la definición de un régimen de caudales ambientales que permita el desarrollo de las funciones ecológicas del río, del Delta y del ecosistema marino próximo.

Finalmente, en el Anexo 5 se detalla una propuesta de caudales ambientales en trece ríos seleccionados de la cuenca del Ebro, sobre la base del estudio realizado por la Fundación Nueva Cultura del Agua en 2007.

Tanto la propuesta de caudales ambientales para el tramo inferior del Ebro como la correspondiente a ríos seleccionados dentro de la cuenca, el método y criterios empleados son los mismos que los recomendados en este informe.

#### 3.1. ASPECTOS FUNDAMENTALES PARA LA PUESTA EN PRÁCTICA DE LOS CAUDALES AMBIENTALES

Teniendo en cuenta el marco legal de referencia que establece la Directiva Marco del Agua y las sucesivas normas españolas que la desarrollan, se alcanzará el gran reto de la sostenibilidad ambiental, social y económica si los planes de cuenca se fundamentan con propuestas de caudales ambientales rigurosas y coherentes. En este sentido, las propuestas se deben basar en los siguientes cuatro pilares:

- a) Objetivos y procedimientos amparados en la DMA .

Por su papel en la conservación de los ecosistemas acuáticos, los caudales ambientales previstos en el plan de gestión de la demarcación hidrográfica deberán contribuir a prevenir el deterioro, mejorar y restaurar el estado de las masas de agua superficiales y lograr que estén en buen estado químico y ecológico. Además, en la Directiva se establecen claras referencias relativas a las obligaciones de preservar las especies y zonas protegidas, como las incluidas en la Directiva 92/43/CEE y la Directiva 79/409/CEE.

Por otra parte, la propia Directiva establece mecanismos por los cuales se pueden considerar las particulares condiciones de uso y explotación de la cuenca del Ebro. Así por ejemplo, las actividades económicas asociadas a las masas de agua, los objetivos ambientales en relación a éstas y las medidas para alcanzarlos se analizan en el proceso de designación de masas de aguas fuertemente modificadas. En este caso se pueden reconsiderar nuevos objetivos ambientales siempre y cuando se realice mediante un proceso claro y transparente según se indica en los artículos 4 (3) (a) y 4 (3) (b) de la Directiva.

b) Mejores metodologías disponibles en la determinación de caudales ambientales

Actualmente se cuenta en el panorama internacional con numerosos métodos para determinar caudales ambientales. Para seleccionar una metodología que sirva de propuesta de base para la determinación de los caudales ambientales en la cuenca del Ebro, se debe seguir un proceso sistemático que considere tanto las mejores evidencias científicas disponibles como el mérito ambiental, económico y legal de establecer el régimen de caudales ambientales

En este sentido, las “mejores metodologías disponibles” se pueden definir como la manera más eficiente de desarrollar los estudios para la determinación de los caudales ambientales, teniendo en cuenta que el coste para su realización se encuentre dentro de unos límites razonables.

c) Participación pública

Con el fin de aumentar la transparencia y la conformidad de los planes de cuenca, la Directiva Marco del Agua reconoce la importancia de desarrollar mecanismos eficaces para facilitar la participación del público en el proceso de elaboración de los mismos. Con la finalidad de que exista una verdadera

implicación y colaboración de los diferentes actores, en el apartado 3.1.2. se propone un procedimiento de puesta en práctica de los caudales ambientales donde la participación pública es una pieza clave tanto en la asignación de los caudales ambientales a las masas de agua como en la búsqueda de alternativas para llevar a la práctica los caudales ambientales.

d) Esquema de mejora continua basado en la gestión adaptativa

Tal como se ha indicado con anterioridad, las actividades humanas producen cambios en los ecosistemas que generan numerosas incertidumbres en sus respuestas. Teniendo en cuenta el actual estado del conocimiento científico en materia de caudales ambientales, el marco estratégico de la gestión adaptativa es particularmente útil en la implementación de los regímenes de caudales ambientales.

El esquema propuesto en la figura 1 está orientado hacia la mejora continua a partir del “aprendizaje en la práctica”, formando parte de una experiencia planificada y controlada donde los avances se realizan a partir de la supervisión y evaluación periódica de resultados.

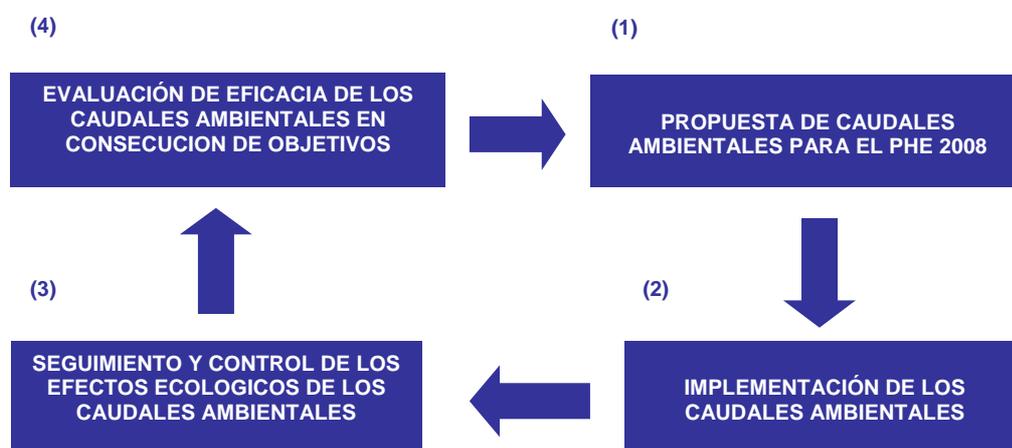


FIGURA 1: Esquema de gestión adaptativa para el cumplimiento de objetivos ambientales

La idoneidad y eficacia de las propuestas se evaluarán a partir de los datos obtenidos en un programa de seguimiento y control diseñado al efecto, de tal forma que se evalúen mediante indicadores adecuados los procesos y condiciones ecológicas más relevantes asociadas a los diferentes elementos del régimen de caudales ambientales.

### 3.2. PROCEDIMIENTO DE INCORPORACIÓN DE LOS CAUDALES AMBIENTALES EN EL PLAN HIDROLÓGICO DE CUENCA

La complejidad de la puesta en práctica de los caudales ambientales y la diversidad de soluciones posibles, hace necesario plantear un procedimiento de aplicación transparente donde se integren adecuadamente estos caudales en el proceso de planificación hidrológica. El procedimiento que se propone consta de las siguientes etapas:

#### Fase 1. Conceptualización

Los caudales ambientales tienen una estrecha relación con la consecución de los objetivos de protección para las diferentes masas de agua. Reconocer la importancia del régimen hidrológico (y por ende de los caudales ambientales) en la conservación de los ecosistemas acuáticos, debe hacer evolucionar los enunciados normativos hacia conceptos operativos. En este paso previo se deben identificar las funciones y condiciones ecológicas a cumplir por los caudales ambientales así como los elementos del régimen hidrológico necesarios para conseguir tales funciones ambientales.

#### Fase 2. Determinación

Una vez identificadas las funciones ecológicas necesarias para conservar los ecosistemas y los elementos del régimen hidrológico encargados de hacerlas cumplir, el siguiente paso consiste en determinar la magnitud, duración, frecuencia y momento de ocurrencia de cada uno de estos elementos hidrológicos (caudales mínimos, crecidas, etc.) que configuran la propuesta de caudales ambientales para cada masa de agua.

El gran número de masas de agua existentes en la cuenca del Ebro obliga a realizar una aproximación estratégica en la cual se puede considerar preliminarmente unos caudales ambientales persiguiendo el objetivo general del buen estado. Para mejorar su interpretación ecológica, las propuestas basadas en métodos hidrológicos pueden ser calibradas en puntos seleccionados dentro de la cuenca mediante modelos de hábitat físico.

### Fase 3. Adecuación

Las propuestas preliminares deben ser reajustadas según las condiciones biofísicas particulares de cada masa de agua. Las alteraciones morfológicas del lecho y sus riberas, así como las características de calidad del agua pueden hacer necesario ajustar la propuesta preliminar de caudales ambientales. En el caso de tramos de río que afecten a especies o zonas protegidas, las propuestas de caudales ambientales deberán considerar específicamente las características y objetivos de conservación de las mismas.

### Fase 4. Asignación

Para asignar definitivamente una propuesta de caudales ambientales a una masa de agua, se deberá analizar su viabilidad de aplicación dentro del sistema de explotación, considerando todas las buenas prácticas y medidas necesarias para lograrlo. En el caso de que la puesta en práctica del régimen de caudales ambientales ocasionara considerables repercusiones negativas en los usos especificados y que no existan otros medios para satisfacer o reducir las demandas, la masa podría ser designada como Masa de Agua Fuertemente Modificada o sujeta a objetivos ambientales menos rigurosos.

### Fase 5. Incorporación en el Plan Hidrológico

Finalmente, una vez adaptadas las propuestas de caudales ambientales a las características biofísicas de la masa de agua y evaluadas sus repercusiones sobre los diferentes usos, éstas serán incorporadas en el plan hidrológico junto a todas las medidas necesarias para hacerlos viables, según los acuerdos adoptados en los procesos participativos.

## 3.3. RELACIÓN DE PROPUESTAS ESPECÍFICAS PARA SU CONSIDERACIÓN

Sobre la base del procedimiento de aplicación anterior, a continuación se relacionan en la figura 2 las propuestas más importantes para la puesta en práctica de los caudales ambientales en la cuenca del Ebro.

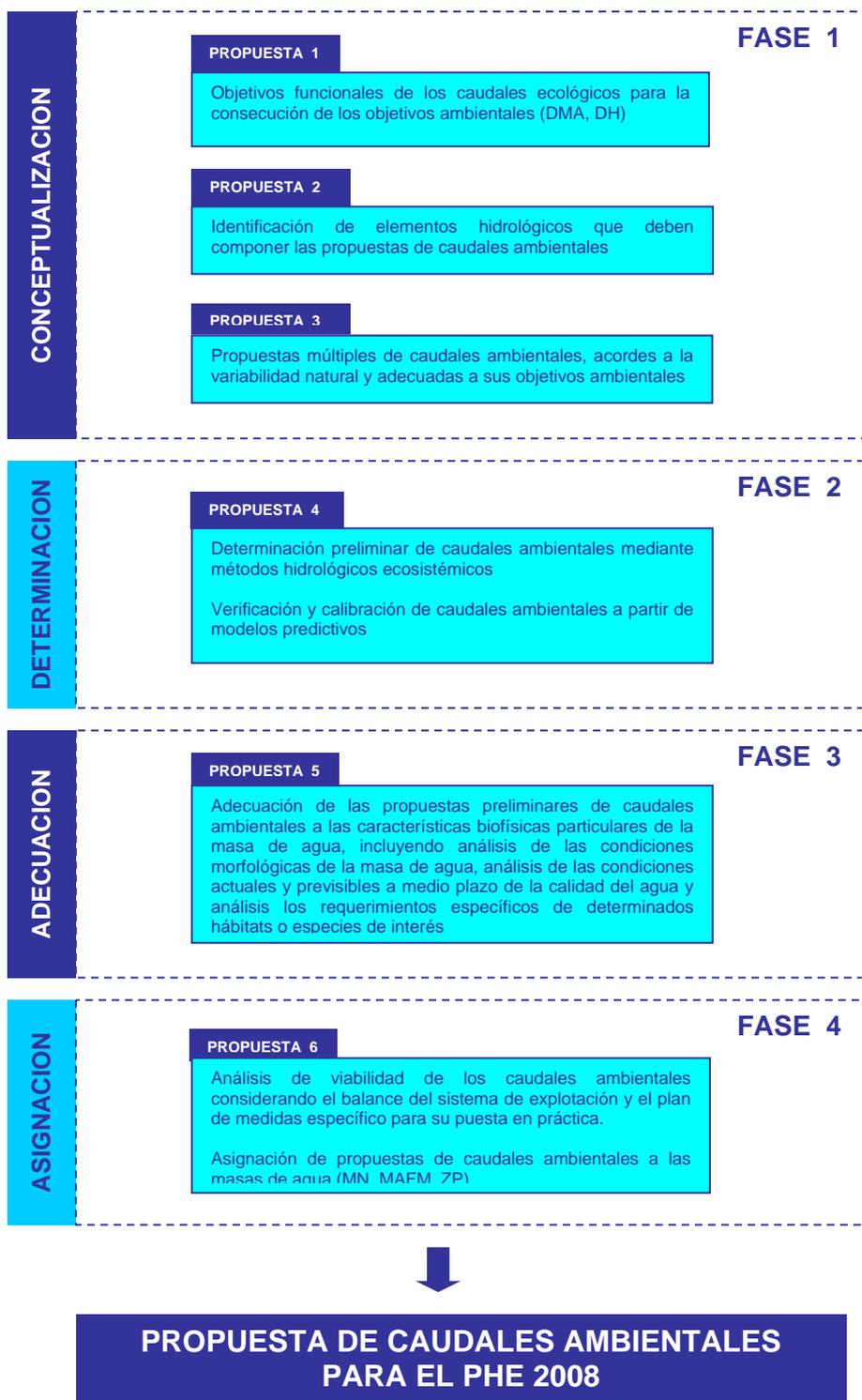


FIGURA 2: Procedimiento para la integración de los caudales ambientales en el Plan Hidrológico y propuestas del presente informe

**Aspectos ecológicos que deben considerar las propuestas de caudales ambientales para contribuir adecuadamente a la consecución de los objetivos**

***“Las propuestas de caudales ambientales deben cumplir unas determinadas funciones y condiciones ecológicas para contribuir adecuadamente en la consecución de los objetivos ambientales asignados a cada masa de agua”***

Según define la Directiva Marco, el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. Desde el punto de vista de la dinámica ecológica, para mantener dicha estructura y funcionamiento es necesario que tengan lugar determinados procesos ecológicos clave, a partir de los cuales las especies interactúan y las poblaciones y comunidades cambian, fluctúan y evolucionan. Alcanzar el buen estado significa una dinámica adecuada de los ecosistemas que implique leves cambios en las comunidades biológicas.

Derivadas de los principios de la teoría ecológica, se pueden seleccionar determinadas funciones y condiciones ecológicas necesarias para lograr una dinámica adecuada en los ecosistemas acuáticos, dentro de las cuales la dinámica hidrológica destaca por su papel preponderante. Cuando estas funciones ecológicas se vinculan a los estándares establecidos por la Directiva Marco, se puede hablar entonces de objetivos funcionales. En este sentido, la implantación del régimen de caudales ambientales deberá conseguir los objetivos funcionales siguientes:

1. Mantener la diversidad del hábitat y su conectividad a través de unas condiciones adecuadas de parámetros hidráulicos (velocidad, calado y sección mojada), de tal forma que existan como máximo cambios leves en la distribución y presencia de las especies de flora y fauna características.
2. Mantener los mecanismos de control del hábitat sobre las comunidades biológicas en las condiciones de caudales bajos, de tal forma que se favorezca las estrategias de las especies autóctonas.

3. Mantener las condiciones hidrodinámicas adecuadas para controlar los mecanismos de estratificación de las pozas, minimizando el riesgo de pérdida de las buenas condiciones de calidad del agua del fondo por anoxia o la ocurrencia de floraciones algales.
4. En el caso del estuario del Ebro, mantener unas condiciones hidrodinámicas adecuadas (turbulencia y mezcla), de tal forma que sea efectivo el control de la frecuencia y duración de los procesos de estratificación, minimizando el riesgo de pérdida de las buenas condiciones de calidad del agua del fondo por anoxia o la ocurrencia de floraciones algales, favorecer los mecanismos de dispersión de determinadas especies (suspensión o transporte de huevos y larvas, semillas, etc) y controlar la intrusión marina en los acuíferos adyacentes en el caso de humedales costeros
5. Mantener la diversidad espacial y temporal de las condiciones del hábitat para satisfacer las necesidades de las diferentes especies a lo largo de sus ciclos vitales.
6. Sincronizar los patrones estacionales del régimen de flujos de agua dulce y del régimen salino con otros parámetros ambientales ( $T^a$ , luz, nutrientes, etc.) para la consecución de determinados procesos biológicos (hidrocoria, reproducción, migración y dispersión, etc).
7. Controlar la presencia y abundancia de las diferentes especies (fitoplancton, macrófitos, fauna bentónica, peces, etc.) a través de los mecanismos de control físico de los caudales altos (abrasión, erosión y arrastre) en el caso de ríos y estuarios y los mecanismos de control por inundación en el caso de ecosistemas acuáticos lénticos. Al mismo tiempo se deberá favorecer la dispersión y movilidad de los organismos biológicos (hidrocoria, migración, etc.)
8. Contribuir a mantener las condiciones físico-química del agua y del sedimento evitando la acumulación excesiva de materia orgánica y sus consiguientes riesgos de anoxia en los sistemas lóticos, favoreciendo los fenómenos de dilución por la entrada puntual o difusa de sustancias contaminantes, dificultando las condiciones propicias para la ocurrencia de floraciones algales

y conservando los niveles propios de turbidez que controlan el régimen lumínico de la columna de agua y la producción primaria de los ecosistemas

9. Mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica, de tal forma que se minimicen los problemas de acumulación de partículas finas en el sustrato, se mantenga una distribución de tamaños de sedimentos en el lecho y su movilidad en el caso de sistemas lóticos, conservando las características del tamaño y forma del canal, así como sus elementos estructurales (islas fluviales, meandros abandonados, etc.) que constituyen el hábitat de determinadas especies en el caso de sistemas lóticos y favoreciendo la deposición de sedimentos y nutrientes los estuarios, deltas y ecosistemas costeros.
  
10. Control y mejora de los procesos hidrológicos que dominan la conexión de las aguas de transición con el río, el mar y los acuíferos asociados (recarga, conectividad, etc.), controlando indirectamente la dinámica de flujos en las aguas de transición a través de los mecanismos de clausura-apertura de la boca del estuario, controlando la frecuencia, duración y alcance de la cuña salina y evitando la colmatación de finos que conlleva a la pérdida de las condiciones adecuadas del medio hiporréico y dificulta la conectividad del acuífero-río

**Elementos del régimen hidrológico que deben configurar una propuesta de caudales ambientales**

***“Para conseguir una dinámica adecuada de los ecosistemas acuáticos que conserve o restaure la estructura y funcionamiento de los mismos, las propuestas de caudales ambientales deberán incluir adecuadamente los siguientes elementos hidrológicos: episodios de estiaje, patrón estacional los caudales de base, episodios de crecida o inundación y limitaciones de flujos máximos de los caudales de base. Estos elementos se caracterizarán a partir de la magnitud, duración, frecuencia y momento de ocurrencia de los mismos en régimen natural”.***

El régimen hidrológico natural de un río, incluyendo toda la gama y distribución de caudales, marca en gran medida las pautas de cambio de los ecosistemas. Pese a la importancia de todos los caudales en la configuración de los marcos ambientales (competencia, depredación, descomposición, colonización, ciclo de nutrientes, hidrodinámica, etc.), desde el punto de vista del análisis funcional se intentan diferenciar aquellos elementos más relevantes del régimen hidrológico que son los precursores a la postre de mecanismos funcionales clave en la organización y funcionamiento de estos ecosistemas.

En esta propuesta se adopta la terminología de los “elementos del régimen de caudales ecológicos” para distinguir aquellos elementos del régimen hidrológico necesarios para lograr una dinámica ecosistémica adecuada, considerando que la correcta definición de cada uno de ellos es fundamental para alcanzar los objetivos ambientales.

De acuerdo con las funciones y condiciones ecológicas necesarias enumeradas en la propuesta 1, los elementos indispensables que deben formar parte de las propuestas de caudales ambientales para lograr valores biológicos levemente modificados

respecto a las condiciones de referencia son los episodios de estiaje, régimen estacional, episodios de crecida o inundación y limitaciones de flujos máximos.

La relación entre los elementos del régimen de caudales ambientales y los objetivos funcionales descritos en la propuesta anterior, se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 1: Relación entre los componentes del régimen de caudales ambientales y objetivos de gestión ambiental

		Episodios de estiaje	Régimen estacional	Episodios de inundación	Limitación de máximos
<b>OBJETIVO 1</b>	Mantenimiento diversidad del hábitat y su conectividad	X	X	X	X
<b>OBJETIVO 2</b>	Mantenimiento de condiciones hidrodinámicas adecuadas	X	X		X
<b>OBJETIVO 3</b>	Mantenimiento de la diversidad del hábitat estacionalmente		X		X
<b>OBJETIVO 4</b>	Sincronización de patrones ambientales		X		
<b>OBJETIVO 5</b>	Control de presencia y abundancia de especies	X		X	
<b>OBJETIVO 6</b>	Buenas condiciones físico-químicas de agua y sedimento	X	X	X	
<b>OBJETIVO 7</b>	Mejora de condiciones por la dinámica geomorfológica			X	
<b>OBJETIVO 8</b>	Control y mejora de procesos hidrológicos		X	X	

Por tanto, la correcta definición de episodios de estiaje, régimen estacional, episodios de crecida o inundación y limitaciones de flujos máximos en cuanto a su magnitud, duración, frecuencia y momento de ocurrencia es fundamental para definir una propuesta de caudales ambientales adecuada (tanto si se trata de masas de agua naturales o fuertemente modificadas).

Debe quedar superado sin ambigüedades que el concepto de caudal mínimo invariable a lo largo del año es incapaz por definición de mantener la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. El mantenimiento de unos caudales mínimos de forma permanente conlleva a cambios substanciales en las comunidades biológicas, favoreciendo en muchos casos a las especies invasoras en detrimento de las autóctonas.

## Acerca de las propuestas múltiples de caudales ambientales según las condiciones hidrológicas de la cuenca

***“Con objeto de mejorar las propuestas de caudales ambientales y facilitar su puesta en práctica en los sistemas de explotación, se formularán tres propuestas de caudales ambientales para cada masa de agua para condiciones húmedas, medias y secas. Estas propuestas se realizarán acordes a la variabilidad natural propia de la masa de agua y serán aplicadas dependiendo de las circunstancias hidrológicas y según criterios objetivos previamente definidos. Complementariamente se considerará un régimen de caudales ambientales para situaciones de sequía prolongada”.***

La variabilidad del régimen natural de caudales es una propiedad intrínseca de nuestros ríos que les otorga una de sus principales características: su dinámica. Cuando se altera significativamente esta dinámica natural, se pueden producir notables cambios que influyen a corto y medio plazo en la conservación de sus hábitats y especies características. Se puede decir por tanto que la variabilidad funcional impuesta por el régimen de caudales contribuye decisivamente en el mantenimiento de nuestro patrimonio natural.

Esta variabilidad del régimen hidrológico se manifiesta tanto a escala intraanual (periodos de caudales bajos frente a periodos de caudales altos, crecidas frente a mínimos, etc.) como interanual (años húmedos frente a sequías). Incrementar la variabilidad de las propuestas de caudales ambientales dentro de su rango natural de variación es un aspecto positivo para la dinámica ecosistémica.

Por otro lado, considerar solamente una propuesta de caudales ambientales para “condiciones medias” puede llevar a una mala gestión de los recursos. En el caso de periodos secos, los caudales ambientales diseñados para esas condiciones medias pueden ocasionar numerosos fallos en la satisfacción de demandas. En el caso contrario, cuando las condiciones hidrológicas son húmedas y las reservas hidráulicas suficientes, disponer de un patrón de referencia para caudales ambientales altos puede mejorar la condición de los ecosistemas acuáticos.

**Acerca de la aplicación de métodos para la determinación de los caudales ambientales en la Demarcación del Ebro**

***“Para la determinación de los caudales ambientales en la cuenca del Ebro se propone una estrategia metodológica combinada. En una primera etapa y para todas las masas de agua de la cuenca se propone la utilización de una metodología de cálculo hidrológica con enfoque ecosistémico. En una segunda etapa y sobre tramos seleccionados se propone la utilización de modelos de simulación del hábitat físico para calibrar los resultados obtenidos previamente con los métodos hidrológicos”.***

Tal como se ha mencionado anteriormente, las “mejores metodologías disponibles” se pueden definir como la manera más eficiente de desarrollar los estudios para la determinación de los caudales ambientales, teniendo en cuenta que el coste para su realización se encuentre dentro de unos límites razonables.

Teniendo en cuenta el número de masas de agua presentes en la cuenca, la aproximación propuesta comprenderá una primera estimación de los caudales ambientales para todas las masas de agua a partir de metodologías hidrológicas, y unos estudios complementarios para conocer mejor los efectos del régimen de caudales en las masas de agua consideradas. En el contexto de la cuenca del Ebro, las metodologías y modelos propuestos son los siguientes:

- Metodologías hidrológicas. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el proceso de selección de métodos hidrológicos para el cálculo de caudales ambientales en la cuenca del Ebro (ver Anexo 3), la opción finalmente adoptada es la Aproximación del Rango de Variabilidad Natural.
- Modelos de simulación. En los estudios complementarios se prestará especial atención a los modelos de hábitat físico, bien unidimensionales o bidimensionales (entre los cuales se incluyen PHABSIM, River 2D, etc.).

Adicionalmente se podrán incorporar otros modelos y estudios (modelos hidráulicos, modelos de calidad, modelos ecológicos, modelos geomorfológicos, etc.) que permitan predecir en relación al régimen de caudales la distribución natural de un hábitat, la supervivencia de sus especies típicas o la distribución e importancia de las poblaciones de especies clave.

Tanto en el caso de las metodologías hidrológicas como en los modelos de simulación, los criterios de aplicación se exponen en el apartado 3.2.

En cuanto a la utilización conjunta de ambas aproximaciones, los resultados obtenidos mediante los métodos hidrológicos serán calibrados mediante los modelos de simulación. En aquellos casos donde exista una gran disparidad entre ambos, se desarrollarán estudios más precisos que incluirán la revisión de las series hidrológicas, la selección de nuevos tramos de estudio para la aplicación de los modelos de simulación y/o la selección de especies o curvas de preferencia, etc. En el caso de que las discrepancias prevalezcan, se analizará los caudales ambientales en un contexto regional más amplio de tal forma que los resultados respondan a la necesaria coherencia del sistema conjunto.

#### PROPUESTA 5:

### **Adecuación de las propuestas preliminares de caudales ambientales a las características biofísicas particulares de la masa de agua**

***“Las propuestas de caudales ambientales obtenidas mediante métodos hidrológicos deberán ser ajustadas según las características biofísicas particulares de la masa de agua”.***

Las alteraciones morfológicas (como las presas, azudes, puentes, canalizaciones, protecciones de márgenes, dragados, recrecimiento de lagos, modificaciones por conexiones y las coberturas de cauces, etc.) pueden provocar cambios en las características hidráulicas (velocidades, profundidades, sección mojada, etc) que proporcionan las condiciones de hábitat de numerosas especies acuáticas. En el

caso de tramos morfológicamente alterados con influencias significativas en el régimen hidráulico, los caudales obtenidos mediante el análisis de series hidrológicas históricas pueden ofrecer unos resultados poco adecuados para las características actuales, debiendo ser reajustados.

Cuando el cambio sustancial en las características hidromorfológicas de una masa de agua se refiera a su continuidad o a sus condiciones morfológicas, la identificación y proceso de designación como Masa de Agua Muy Modificada (MAMM) se reglará según los criterios establecidos reglamentariamente. En estas masas de agua se establecerán unos regímenes ambientales adaptados a las circunstancias particulares que motivaron su designación, una vez consideradas todas las medidas de atenuación viables para reducir estas presiones sobre dicha masa de agua.

También pueden existir tramos de río afectados por problemas de contaminación difusa difíciles de corregir a corto plazo. Los tramos de río con déficit estructural en la depuración de aguas residuales o con volúmenes de vertido que superan la capacidad de las plantas también pueden presentar de forma crónica o periódica problemas de calidad del agua. En todos estos casos es posible que sea necesaria de forma temporal mientras que no se resuelven estos problemas, la aplicación adicional de un caudal de dilución para garantizar la disolución de posibles vertidos y evitar sus efectos perjudiciales sobre el ecosistema.

Finalmente pueden existir tramos de río donde la gestión de los caudales constituya un factor importante para la protección de hábitats o especies como las indicadas en los Anexos I, II y IV de la Directiva 92/43/CEE, o aquellas otras incluidas en los catálogos de especies amenazadas. En este caso el régimen de caudales ambientales se reglará según las especificaciones del Anexo I del presente documento relativo a los caudales ambientales para zonas y especies protegidas.

Tanto en el caso de alteraciones morfológicas, problemas crónicos de contaminación o presencia de hábitats o especies de interés, la formulación de los caudales ambientales deberá reajustarse específicamente a las características de la masa de agua y los objetivos de conservación de las mismas

#### PROPUESTA 6:

**La asignación de un régimen de caudales ambientales a una masa de agua se realizará siguiendo un procedimiento sistemático, transparente y riguroso.**

***“Para asignar definitivamente una propuesta de caudales ambientales a una masa de agua, se deberá analizar la viabilidad de su puesta en práctica dentro del sistema de explotación, analizando tanto las medidas necesarias para lograrlo como las repercusiones negativas sobre los usos”.***

Cuando se trate de masas de agua consideradas como naturales (no están sujetas a las particularidades de zonas protegidas ni tienen asociadas importantes actividades económicas), el objetivo ambiental a conseguir será el Buen Estado Ecológico. En este caso el régimen de caudales ambientales será determinado a partir de la aplicación de métodos de la Propuesta 4 y su posterior adecuación según la Propuesta 5.

En el caso de masas de agua que tienen asociadas una importante actividad económica, según establece la Directiva Marco en su artículo 4, tales masas se podrán calificar muy modificadas cuando concurren determinadas circunstancias. Tomando como referencia el proceso de designación establecido en los artículos 4 (3) (a) y 4 (3) (b) de la Directiva Marco, en la figura 3 se presenta una propuesta para la asignación de un régimen de caudales ambientales a una masa de agua, incluyendo las masas de agua muy modificadas por motivos hidrológicos.

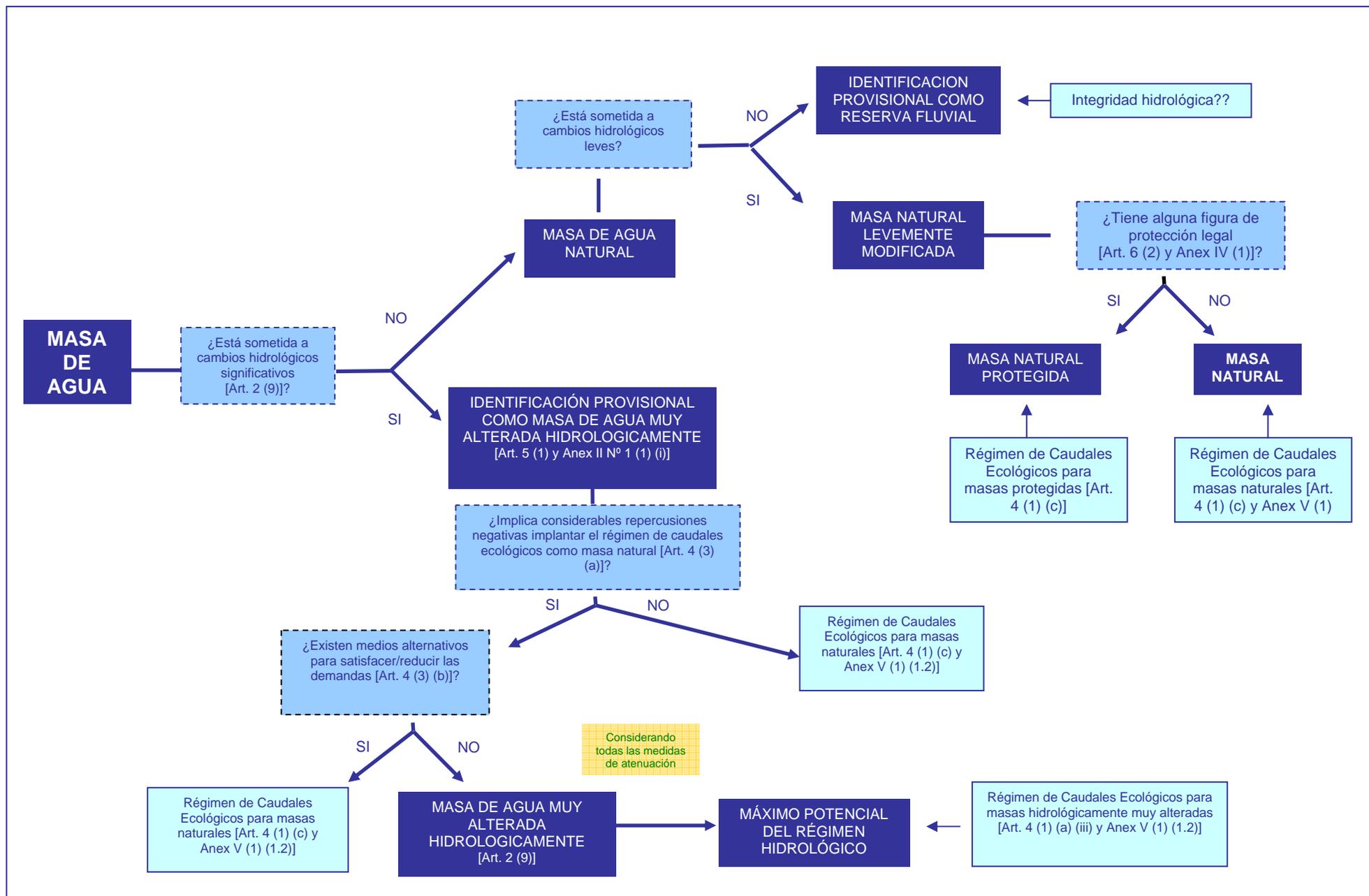


FIGURA 3: Proceso de asignación de un régimen de caudales ambientales a una masa de agua

Los pasos para asignar el régimen de caudales ambientales serán los siguientes:

Paso 1. Identificación preliminar como Masa de Agua Muy Alterada Hidrológicamente.

Para la identificación preliminar como Masa de Agua Muy Alterada Hidrológicamente (MAMAH) se utilizarán los índices de alteración hidrológica, comparando los valores de las condiciones hidrológicas de referencia frente a las condiciones de uso más recientes. Para tal finalidad se caracterizará la magnitud, duración, frecuencia, tasa de cambio y momento de ocurrencia de los diferentes elementos del régimen hidrológico.

Los valores umbrales que marquen el rango natural de variación (percentiles, desviación típica, etc.) serán establecidos con criterios de significado ecológico, teniendo en cuenta las características de variabilidad natural propias de cada masa de agua. Con carácter general, las masas de agua que presenten una desviación en más del 50% de los índices de alteración hidrológica durante el 50% o más del periodo analizado, se considerará que están sometidas a un cambio substancial por motivos de alteraciones hidrológicas, siendo identificadas provisionalmente como Masas de Agua Muy Modificadas.

Paso 2. Designación definitiva y establecimiento de objetivos.

Para las masas identificadas como de forma provisional como MAMAH, se definirá en primer lugar el régimen de caudales ecológicos según la aplicación de métodos de la Propuesta 4 y su posterior adecuación según la Propuesta 5. Si la puesta en práctica de estos regímenes ambientales no produce considerables repercusiones negativas sobre los diferentes usos, dicha masa de agua será considerada natural desde el punto de vista del régimen hidrológico, siendo válidos los métodos y criterios de las masas de agua naturales.

Se designarán como Masas de Agua Muy Alteradas Hidrológicamente, aquellas masas de agua que cumplan las dos condiciones siguientes:

- La puesta en práctica de los regímenes ambientales previamente definidos para masas naturales producen considerables repercusiones negativas en los diferentes usos del agua o en el entorno en sentido amplio,
- Los medios alternativos para satisfacer las demandas de los usos son insuficientes para permitir poner en práctica los regímenes ambientales definidos para las masas naturales.

Cuando las masas designadas como MAMAH no presenten un cambio substancial en su continuidad o condiciones morfológicas que impida alcanzar el Buen Estado, de acuerdo con el artículo 4 (5) para estas masas se podrá tratar de lograr objetivos medioambientales menos rigurosos.

En el caso de que las MAMAH presenten alteraciones morfológicas significativas, éstas podrán ser calificadas como Masas de Agua Muy Modificadas según los criterios establecidos reglamentariamente, persiguiendo en este caso el objetivo del Buen Potencial.

### Paso 3. Regímenes de caudales ambientales para las Masas de Agua Muy Alteradas Hidrológicamente.

Para determinar los regímenes ambientales en las masas designadas como MAMAH, se tendrá que determinar en la escala adecuada (masa de agua, sistema de explotación o demarcación) el máximo potencial del régimen hidrológico. Para conocer estas máximas disponibilidades con fines ambientales se realizará un balance entre los recursos naturales y sus demandas, considerando en estas últimas todas las medidas de atenuación viables para reducir la presión sobre los recursos.

A partir de las disponibilidades del máximo potencial del régimen hidrológico se diseñará un régimen ambiental que contemple los diferentes elementos especificados en la Propuesta 2, de tal forma que permitan alcanzar el mejor estado ecológico posibles teniendo en cuenta las repercusiones que no hayan podido evitarse razonablemente debido a la naturaleza de la actividad humana.

La revisión del máximo potencial del régimen hidrológico cada seis años implicará la correspondiente revisión del régimen hídrico ambiental, adaptándose este último a las nuevas circunstancias concurrentes.

### 3.4. CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DE LOS CAUDALES AMBIENTALES

Los diferentes criterios para la determinación de los caudales ambientales que se recomiendan para su consideración y tratamiento en la elaboración del Plan Hidrológico de la Demarcación del Ebro son los siguientes:

#### **a) Criterios numéricos de los métodos hidrológicos para el cálculo de los componentes del régimen de caudales ambientales.**

Tal como se ha explicado en la propuesta número cuatro, los caudales ecológicos para una masa de agua determinada serán diferentes según los objetivos ambientales de la misma. En el caso de las zonas protegidas los caudales ambientales deben ser definidos a partir de sus objetivos y normas de protección específicas, mientras que en las masas de agua fuertemente modificadas se deben definir a partir de las disponibilidades resultantes del balance entre recursos y demandas, una vez consideradas todas las medidas de atenuación viables. En ambos casos los caudales ambientales deben ser determinados analizando las condiciones particulares de cada masa de agua, por tanto, no es recomendable la formulación de criterios numéricos genéricos para la estimación de los mismos.

En cambio, para las masas de agua consideradas naturales se puede admitir (no sin ciertas reservas) la validez de criterios numéricos generales para la determinación de sus caudales ambientales. Con la intención de avanzar en esta línea pero sin olvidar la necesaria prudencia, a continuación se presentan algunos criterios numéricos establecidos genéricamente para alcanzar el Buen estado de los ríos de la Demarcación del Ebro en el sentido DMA.

No obstante, no cabe olvidar que los criterios enumerados a continuación deberán ser los adecuados para cumplir las funciones previstas para los caudales ambientales, que en último caso serán constatadas en los programas de seguimiento y control correspondientes.

### Relativos a la magnitud

Los criterios numéricos que se presentan a continuación (tabla 2) han sido obtenidos después de realizar el estudio “Análisis de aplicabilidad de criterios y métodos de cálculo para la determinación de caudales ambientales en la cuenca del Ebro” Sánchez, (2007)<sup>9</sup>.

TABLA 2: Criterios numéricos para la definición los elementos de la propuesta de caudales ambientes a partir de índices hidrológicos

		CONDICIONES HIDROLÓGICAS		
		HUMEDAS	MEDIAS	SECAS
Episodios de mínimos			7Q1	7Qn/2
Régimen mensual de base		Percentil 20	Percentil 10	Percentil 1
Limitaciones caudales máximos		Percentil 80	Percentil 90	
Régimen de crecidas	Intraanuales	2 x módulo	2 x módulo	2 x módulo
	Interanuales	1:2	1:2	1:2
		1:5	1:5	1:5

### Relativos a la frecuencia, duración, momento de ocurrencia y tasa de cambio.

Los criterios numéricos se refieren a eventos hidrológicos de gran significado ambiental, incluyendo tanto los episodios de estiaje como el régimen de crecidas.

En ambos casos, la propuesta se definirá utilizando como referencia la frecuencia, duración, momento de ocurrencia y tasa de cambio de los eventos del régimen natural, identificados a partir de los umbrales de magnitud previamente señalados.

Como criterio inicial se recomienda utilizar para una serie hidrológica natural suficientemente larga (preferentemente más de 20 años) el percentil 10 tanto del número de eventos anuales como de su duración.

<sup>9</sup> Sánchez, 2007. *Análisis de aplicabilidad de criterios y métodos de cálculo para la determinación de caudales ambientales en la cuenca del Ebro*. IRTA. Informe inédito.

## **b) Diferentes criterios para la aplicación de modelos de hábitat en la determinación del régimen de caudales ambientales.**

### Sobre los tramos de modelización:

El número de tramos a modelar será la suficiente para cubrir al menos un tramo en los ecotipos más representativos de cada una de las regiones ecológicas, especialmente en lo que se refiere al régimen de caudales, recomendándose un mínimo del 10% del total de número de masas.

Los criterios para la selección de las masas de agua donde aplicar los modelos de hábitat serán los siguientes:

- Masas de gran interés ambiental (masas incluidas en la Red Natura 2000, humedales de importancia internacional del Convenio Ramsar o masas que presenten especies amenazadas o estrictamente protegidas),
- Masas de agua estratégicas que por su localización en los sistemas de explotación condicionen las asignaciones y reservas de recursos de los Planes Hidrológicos.
- Masas de agua que presenten estaciones de aforo o cualquier otro mecanismo de control de caudales o aportes que permita llevar a cabo una restitución a escala diaria.

Para la elección del tramo a modelar dentro una masa de agua de agua se considerará su representatividad del tramo en el conjunto de la misma atendiendo a la distribución y abundancia de sus unidades morfodinámicas (rápidos, pozas, tablas, etc.) y a sus características geomorfológicas. En la selección del tramo también se buscará la inclusión de zonas de interés por su sensibilidad hidráulica a los cambios de caudal, por la presencia de poblaciones de interés de la especie objetivo o por la localización de frezaderos

La longitud del tramo a modelar será la suficiente para incluir todos los tipos de unidades morfodinámicas. En su defecto, con carácter general se establecerá una longitud de al menos 7 veces la anchura del cauce en aguas bajas.

### Sobre la selección de especies objetivo a considerar

Se podrán emplear una o más especies objetivo cuando existan altos niveles de diversidad e interés biológico en una masa de agua, de tal forma que dicha singularidad quede reflejada en la simulación y en sus regímenes derivados.

Para la selección de especies objetivo se tendrá en cuenta:

- Viabilidad en la elaboración de sus curvas de preferencia
- Sensibilidad a los cambios en el régimen de caudales, y en particular al tipo de alteración hidrológica que sufre la masa de agua
- Status de protección, con especial atención a las especies de los Catálogos de Especies Amenazadas y especies de los Anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE)
- Estado de conservación de la especie (favorable o desfavorable según criterios de la Directiva 92/43/CEE), y su grado de amenaza en función del régimen de caudales.

Se elaborarán las curvas preferenciales para todos los estadios vitales de las especies objetivo, siempre y cuando sean significativamente sensibles a los cambios en el régimen de caudales. En el caso de que no sea viable la elaboración de tales curvas, se podrán utilizar las curvas de ríos similares una vez realizadas las pruebas de transferibilidad de dichas curvas.

## 4. EFECTOS AMBIENTALES Y SOCIO-ECONÓMICOS DE LAS PROPUESTAS REALIZADAS.

### 4.1. EFECTOS AMBIENTALES

Teniendo en cuenta que los caudales ambientales tienen por objeto ofrecer a los ecosistemas acuáticos un nuevo régimen hidrológico diseñado específicamente para protegerlos o restaurarlos, es fácil deducir del propio concepto sus efectos ambientales positivos.

Esta función se refuerza a través de la vinculación que existe entre los regímenes de caudales ambientales y los objetivos de conservación de las masas de agua. Efectivamente, la puesta en práctica de los caudales ambientales debería contribuir de manera eficaz a alcanzar los objetivos de conservación definidos para la misma.

Así, en relación con los objetivos establecidos en la DMA para todas las masas de agua, los regímenes de caudales ambientales deberían estar bien determinados para que se produzcan como mucho ligeras desviaciones en sus comunidades biológicas de referencia. Desde esta perspectiva, los caudales ambientales no solamente tendrán efectos ambientales positivos sino que son una pieza clave para reducir o minimizar los posibles efectos ambientales negativos.

Tampoco se debe olvidar que los regímenes de caudales ambientales deben favorecer la conservación de hábitats y especies protegidas, respondiendo a sus exigencias ecológicas a través del mantenimiento a largo plazo de las funciones ecológicas necesarias de las que dependen.

No cabe duda de que con carácter general los efectos ambientales de los caudales ecológicos serán positivos. No obstante, estos caudales podrían ocasionar en determinadas ocasiones algunas inconveniencias ambientales. Pero esta salvedad se evita en la fase de implementación de los caudales ambientales, puesto que existe el principio de salvaguarda de que sus efectos ambientales deben ser positivos para la masa de agua considerada.

## 4.2. EFECTOS SOCIO-ECONOMICOS

### 4.2.1. Repercusiones económicas negativas de los regímenes de caudales ambientales

Los caudales ambientales pueden implicar una disminución de los volúmenes de agua para atender diferentes usos del agua, ocasionando los correspondientes daños socioeconómicos. La evaluación económica de la implantación de caudales ambientales debería analizar adecuadamente el grado de afección producido a las diferentes actividades, que variará en función de su fragilidad y vulnerabilidad frente a situaciones prolongadas de disminución de caudales de suministro.

Entre los principales usos del agua de la cuenca del Ebro para los que la implantación de los caudales ambientales puede presentar mayores repercusiones son:

- Abastecimiento: Según el apartado 3 del artículo 58 de la Ley 29/85 de Aguas, se aplica la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, de tal forma que sólo en situaciones excepcionales el abastecimiento podría sufrir restricciones originadas por los caudales ambientales.
- Uso hidroeléctrico: La imposición de caudales ecológicos no contemplada en los correspondientes condicionados concesionales podría dar lugar a efectos económicos negativos en las empresas hidroeléctricas, derivados de la disminución de producción. En este caso, la cesión de derechos de uso del agua hacia los caudales ambientales podría conllevar una compensación económica que en su caso se tendría que analizar teniendo en cuenta las particularidades de cada aprovechamiento (capacidad de regulación, rango de caudales afectados y su distribución temporal, etc.) y las pérdidas últimas de producción optimizando la explotación.
- Regadío: Los análisis económicos deberían orientarse a cuantificar los posibles daños directos sobre la productividad, que depende en última instancia de la aptitud de la zona para el regadío, los tipos de cultivo más apropiados para la misma y el grado de especialización productiva. En la valoración de los efectos

económicos sobre el regadío, se deberían analizar las posibilidades de respuesta de los sistemas de regadío en situaciones de escasez (parcelas que pasan de regadío a secano, cambio hacia cultivos más eficientes, efectos probables sobre el incremento de precios de productos finales, etc.). El desarrollo de estudios económicos que incluyan este tipo de análisis es la garantía de evaluar de forma realista las repercusiones económicas negativas de los caudales ambientales sobre el regadío.

No obstante, para llevar a cabo una correcta evaluación de las repercusiones negativas de la implantación de los caudales ambientales, los análisis coste-beneficio de los diferentes usos del agua deberían internalizar los costos o beneficios ambientales que generan en el momento de realizar cierta acción. Efectivamente, según el artículo 9 de la DMA, los Estados miembros tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales.

#### **4.2.2. Efectos económicos positivos de los caudales ambientales**

En la implantación de los caudales ambientales se deberían valorar también los efectos económicos positivos sobre otros usos y actividades (turístico-recreativos, pesca, etc.), utilizando esquemas que permitan estimar y asignar valores objetivos a los bienes y servicios asociados a los ecosistemas.

En el caso de los caudales ambientales, el esquema y teoría del valor económico total VET (Pearce y Turner, 1995)<sup>10</sup> puede ser de gran utilidad. Los valores de uso activo directos pueden llegar a resultar muy importantes a escala local y regional (destacando entre ellos las actividades recreativas y su disfrute paisajístico), con un gran número de actividades que se ven influenciadas positivamente por la existencia de los caudales ambientales (como la observación de aves o la mejora en las condiciones recreativas).

Para valorar los beneficios económicos de la puesta en práctica de los caudales ambientales se debería evaluar su influencia económica en algunas de las actividades y modalidades de turismo naturalista más directamente relacionadas, como son:

---

<sup>10</sup> Pearce, D. W. y Turner, R. K. (1995): *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*, Colegio de Economistas de Madrid-Celeste Ediciones, Madrid.

1. Pesca Deportiva: La pesca deportiva en España es una de las actividades de mayor tradición y afiliación, superando el millón de licencias de pesca o altas deportivas. Es una actividad que bien gestionada permite promover los valores de conservación de nuestros ríos. Presenta un gran potencial de desarrollo que depende en gran medida de disponer de un régimen caudales ambientales adecuado.
2. Aventuras: En relación con los caudales ambientales, los mejores ejemplos serían el rafting y canyoning. Representa una actividad con ingresos crecientes en los principales cursos del Pirineo.
3. Ecoturismo o turismo ecológico: se fundamenta en la oferta de los atractivos naturales de flora, fauna, geología, geomorfología, climatología, hidrografía, etc., y las manifestaciones culturales locales, integración de las comunidades locales, etc., a través de pequeñas, medianas y micro empresas. Los ríos como ejes temáticos y la mejora general del entorno otorgan a los caudales ambientales un gran protagonismo en esta modalidad turística.
4. Científico: es la oferta en áreas de gran interés para que científicos naturalistas puedan realizar investigaciones en los diferentes campos de las ciencias naturales (biología, botánica, zoología, biogeografía, ecología, etc.).

Cabe señalar que esta modalidad de turismo orientado a visitar áreas naturales relativamente poco perturbadas propicia una implicación activa y socioeconómicamente beneficiosa de las poblaciones locales. En su conjunto, la implementación de este modelo de turismo sostenible presenta altos beneficios económicos, sociales, ambientales y culturales, constituyendo una de las grandes posibilidades de desarrollo integral donde las poblaciones locales participan de ese crecimiento.

Finalmente, entre los valores de los caudales ambientales no ligadas al uso del recurso destacan los valores de existencia de las propias masas de agua, donde los ecosistemas acuáticos forman parte de la identidad de los habitantes ribereños que estarían dispuestos a sacrificar parte sus ingresos con la finalidad de recuperar sus ríos. Estas valoraciones aunque difíciles de realizar, deberían completar el análisis de las repercusiones económicas negativas y positivas de la implantación de los caudales ambientales.

### **4.2.3. Consideraciones económicas finales de la implantación de los caudales ambientales**

Una vez realizados los correspondientes estudios sobre las repercusiones económicas de la puesta en práctica de los caudales ambientales en los diferentes usos, se deberán analizar los posibles costes desproporcionados de su implementación.

Cabe recordar que si la puesta en práctica de los caudales ambientales no produce considerables repercusiones negativas, según el artículo 4 (3) (a) de la DMA, los caudales ambientales tal como están definidos se deberían implantar con objeto de alcanzar el buen estado ecológico.

En el caso de que se produzcan considerables repercusiones negativas en los usos y no existan medios alternativos de satisfacer/reducir las demandas (artículo 4 (3) (b) de la DMA), la masa de agua podrá ser designada como Masa de Agua Muy Modificada. En esta nueva circunstancia y según el esquema de la figura 1, se deberá diseñar un régimen de caudales ambientales coherente con la consecución de los objetivos del buen potencial ecológico.

De forma análoga, cuando la puesta en práctica de los caudales ambientales diseñados para masas de agua naturales sea inviable o tenga un coste desproporcionado, se podrán tratar de lograr objetivos medioambientales menos rigurosos para dicha masa de agua (artículo 4 (5) de la DMA).

# ANEXOS

ANEXO 1: Caudales ambientales para zonas y especies protegidas

ANEXO 2: Metodologías hidrológicas para el cálculo de caudales ambientales

ANEXO 3: Caudales ambientales para el tramo inferior del río Ebro

ANEXO 4: Caudales ambientales en ríos seleccionados de la cuenca del Ebro

# ANEXO 1

## Consideraciones generales sobre la determinación de los caudales ambientales para zonas y especies protegidas

### DENOMINACIÓN Y ÁMBITO

Las zonas protegidas son aquellas áreas geográficas declaradas en virtud de un acuerdo internacional o una norma comunitaria, estatal o autonómica, objeto de una protección especial relativa a la conservación de los hábitats y las especies o de sus aguas superficiales o subterráneas.

A los efectos de su consideración en los estudios de caudales ambientales en la cuenca del Ebro, se consideran como zonas protegidas:

- i. Las zonas referidas en el artículo 6 de la DMA, que incluyen las zonas designadas para la captación de agua destinada al consumo humano, las zonas designadas para la protección de especies acuáticas significativas desde un punto de vista económico, las masas de agua declaradas de uso recreativo, las zonas sensibles en lo que a nutrientes o vertidos de aguas residuales urbanas respecta y las zonas designadas para la protección de hábitats o especies.
- ii. Los espacios naturales protegidos declarados en virtud de la Ley 4/89 o de cualquier otra norma autonómica en materia de protección de espacios naturales cuyas áreas o elementos naturales se encuentran afectados de forma apreciable por la provisión de caudales ambientales.
- iii. Los humedales que formen parte de la lista de humedales de importancia internacional del Convenio Ramsar.

- iv. Para las especies influenciadas directa o indirectamente por los regímenes ambientales, las áreas de reproducción, invernada o reposo de las especies incluidas en el Anexo II y IV (a) de la Directiva Hábitats, así como las especies que procedan a consideración incluidas en los Catálogos de Especies Amenazadas tanto de ámbito nacional como autonómico.

## **NORMAS BASICAS**

Los estudios de los regímenes de caudales ambientales en las zonas protegidas están sujetos al alcance y contenidos de las propias normas de aprobación y gestión de dichas zonas protegidas.

Cuando más de uno de los objetivos establecidos para las aguas superficiales, las aguas subterráneas o las zonas protegidas se refieran a una determinada masa de agua, se aplicará el objetivo más riguroso.

Las disposiciones para la determinación e implementación de los caudales ambientales no se referirán únicamente a las áreas que cubren las zonas protegidas, sino también a los elementos del sistema hidrográfico que, pese a estar situados fuera de las zonas protegidas, pueden tener una repercusión negativa apreciable sobre las mismas.

En la medida en la que los regímenes ambientales pueden afectar de forma apreciable a las zonas protegidas, sus provisiones serán las apropiadas para:

- i. mantener los niveles de calidad exigidos de sus aguas superficiales y subterráneas,
- ii. responder a las exigencias ecológicas de las comunidades, hábitats o especies de las que en cada caso se refiera, manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas necesarias de las que dependen.

En aquellos casos en los que las exigencias económicas, sociales y culturales, así como las particularidades regionales y locales lo permitan, las provisiones de los

caudales ecológicos para las zonas protegidas deberán tender lo máximo posible a sus regímenes naturales, especialmente en los siguientes casos:

- i. En el caso de espacios naturales protegidos para los que la conservación de su interés natural depende en gran medida de la correcta provisión de caudales ecológicos.
- ii. En el caso de hábitats o especies raras, endémicas y en situación crítica que se encuentran en un estado de conservación desfavorable.

En los casos en los que sea necesario, se realizarán con carácter urgente estudios complementarios para conocer los impactos de la alteración hidrológica en las zonas protegidas, conociendo su incidencia a corto, medio y largo plazo en la distribución natural de un hábitat, su estructura y funciones, la supervivencia de sus especies típicas o la distribución e importancia de las poblaciones de una especie.

## **NORMAS COMPLEMENTARIAS**

En las zonas de la Red Natura 2000 influenciadas directa o indirectamente por la puesta en práctica de un régimen de caudales ambientales, las provisiones serán las adecuadas para mantener o restablecer el estado de conservación favorable de los hábitats naturales y de las especies silvestres de la fauna y de la flora de interés comunitario. En estas zonas y según corresponda, se velará por:

- i. Mantener o ampliar el área de distribución de los hábitats naturales del Anexo I y las superficies comprendidas dentro de dicha área;
- ii. Mantener a largo plazo y en un futuro previsible la estructura y las funciones específicas necesarias para que existan dichos hábitats naturales
- iii. Mantener el estado de conservación favorable de las especies típicas de un hábitat natural
- iv. Evitar alteraciones en las poblaciones de las especies del Anexo II de tal forma que los datos sobre la dinámica de las poblaciones de la especie en cuestión

indiquen que la misma sigue o no puede seguir constituyendo a largo plazo un elemento vital de los hábitats naturales a los que pertenezca;

- v. Mantener el área de distribución natural de las especies del Anexo II de tal forma que no se esté reduciendo ni amenace con reducirse en un futuro previsible;
- vi. Propiciar las condiciones necesarias a través del régimen de caudales para que exista y probablemente siga existiendo un hábitat de extensión suficiente para mantener las poblaciones de las especies del Anexo II a largo plazo

Para las especies que corresponda listadas del Anexo IV (a), así como las especies pertinentes incluidas en los Catálogos de Especies Amenazadas, se establecerán unas condiciones de flujos ambientales adecuadas para salvaguardar la continua funcionalidad ecológica de sus áreas de cría y descanso que contribuya eficazmente al sistema de estricta protección de las mismas.

### Estudio de metodologías hidrológicas para el cálculo de caudales ambientales en la cuenca del Ebro

#### A.- Tipos de metodologías

En el panorama internacional se cuenta actualmente con numerosas metodologías para calcular caudales ambientales clasificadas, según diversos autores (Tharme, 2003; Dyson *et al.*, 2003; Dunbar *et al.*, 1998, etc), en los siguientes bloques:

1. Métodos hidrológicos: Considerados los métodos de cálculo más simples, se basan en el estudio de series hidrológicas (a escala diaria, mensual o anual) mediante operaciones aritméticas más o menos complejas o bien a partir de algún parámetro supuestamente significativo para las comunidades biológicas y los procesos geomorfológicos. La gran mayoría de estos métodos se basan exclusivamente en información hidrológica razón por la cual han sido criticadas por su aparente simplicidad.
2. Métodos hidráulicos: Definen el caudal mínimo a partir del estudio de la relación entre algún parámetro morfohidráulico (perímetro mojado, velocidad, profundidad, etc.) y los caudales circulantes, suponiendo relacionada al mismo tiempo la geometría hidráulica con la habitabilidad para los organismos acuáticos. A partir de estudios de reconocimiento se establecen valores limitantes para la fauna acuática de las variables hidráulicas consideradas.
3. Métodos hidrobiológicos: Las metodologías desarrolladas para determinar los caudales ambientales sobre la base de respuestas bióticas a cambios incrementales de caudal han sido numerosas y sofisticadas. Se denominan también métodos de simulación de hábitat, y definen el caudal mínimo a partir de un estudio exhaustivo de todos los factores y condicionantes del

hábitat de una especie representativa del ecosistema fluvial. La idea de conservación de todo el ecosistema queda implícita por el supuesto “efecto paraguas” que supondría el implementar las condiciones de caudal adecuadas para una especie exigente. El método hidrobiológico por excelencia es el IFIM (“Instream Flow Incremental Methodology”, Bovee, 1982) y su aplicación informatizada PHABSIM (Physical Habitat Simulation Methodology).

4. Métodos holísticos. Aunque a principios de los 90 no eran formalmente reconocidas, en la actualidad sus principios y métodos están emergiendo rápidamente en el ámbito internacional. Se trata de una aproximación global al sistema fluvial que incluye a todas sus formas de vida, así como al conjunto de procesos biológicos, físicos y químicos derivados de su propia organización estructural, funcional, espacial y temporal. La clave de su análisis radica en encontrar el papel que ejercen los caudales como soporte básico para todos los componentes o atributos del ecosistema fluvial.

## **B.- Análisis comparativo de metodologías**

Algunas consideraciones relativas a la aplicación de los métodos y sus resultados esperables son comparados en el cuadro siguiente.

En cuanto a las tendencias de futuro en el desarrollo y aplicación de las metodologías, a escala internacional se pueden observar algunas claras corrientes. En primer lugar se observa una tendencia a la aplicación jerárquica de las distintas metodologías, con al menos dos niveles o escalas principales: en una escala más amplia (normalmente a nivel de planificación o de reconocimiento de base) típicamente comprende las metodologías hidrológicas. Por debajo del nivel de la planificación hay dos principales líneas: En los países del Hemisferio Norte o en países que reciben el apoyo técnico de Estados Unidos de América, continúa un avance y desarrollo de las metodologías de simulación del hábitat como el IFIM. La segunda línea de desarrollo son las metodologías holísticas, que por las características específicas de implantación (más económicas) son probablemente más adecuadas en países no industrializados. El desarrollo de estas últimas metodologías es amplio y está fuertemente representado en Australia y Sudáfrica, sin haber aún explorado el Hemisferio Norte.

Cuadro comparativo de líneas metodológicas en el estudio de los caudales ambientales. (A: nivel alto; M: nivel medio; B: nivel bajo)

TIPO	COMPONENTES CONSIDERADOS	NECESIDAD DE DATOS	NIVEL DE EXPERIENCIA	COMPLEJIDAD	INTENSIDAD RECURSOS	RESOLUCION RESULTADOS	FLEXIBILIDAD	COSTE
Hidrológico	Todo el ecosistema-no específico	B-M (principalmente de gabinete) Registros históricos de caudales vírgenes o naturalizados Uso de datos ecológicos históricos	B-M Hidrológica Alguna experiencia en ecología	B-M	B-M	B-M	B-M	B
Hidráulico	Requerimientos hidráulicos genéricos del hábitat acuático para especies objetivo.	B-M (gabinete y campo) Registros históricos de caudales Variables de descarga hidráulica típicamente de secciones Variables hidráulicas relacionadas con las necesidades de hábitat-caudal a nivel genérico.	M Hidrológica Algo de modelización hidráulica Alguna experiencia en ecología	B-M	B-M	B-M	B-M	B-M
Simulación de hábitat	Principalmente hábitat para especies objetivo. Algunos consideran: Forma del canal, transporte sedimentos, calidad del agua, vegetación de ribera, fauna silvestre	M-A (gabinete y campo) Registros históricos de caudales Numerosas secciones transversales con múltiples variables hidráulicas Datos de idoneidad del hábitat para las especies objeto	M-A Hidrológica Nivel avanzado en modelización hidráulica y del hábitat. Especialista en ecología sobre necesidades físicas de especies objetivo.	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A
Holístico	Todo el ecosistema, Algunos consideran: Acuíferos, zonas húmedas, estuarios, llanura de inundación, dependencia social del ecosistema, así como los componentes acuáticos y de la ribera	M-A (gabinete y campo) Registros de caudales Numerosas secciones transversales con múltiples variables hidráulicas. Datos biológicos sobre caudales y hábitat relacionados con todos los requerimientos de la biota y de los componentes del ecosistema	M-A Hidrológica Nivel avanzado en modelización hidráulica. Modelización del hábitat en algunos casos. Especialistas en todos los componentes del ecosistema. Alguna experiencia en requerimientos socioeconómicos	M-A	M-A	M-A	A	M-A

## C.- Proceso de selección de metodologías hidrológicas adecuadas para su aplicación en el Plan Hidrológico del Ebro

La tarea de determinar objetiva y comprensivamente los caudales necesarios para mantener un cierto estado de conservación de los ecosistemas, es un proceso complejo y difícil (para revisiones ver King et al., 2000). Admitiendo esta afirmación, la aplicación de métodos debería estar en consonancia con el mérito ambiental, económico y legal de establecer el régimen de caudales ambientales.

Para seleccionar una metodología que sirva de propuesta para la determinación de los caudales ambientales en la cuenca del Ebro, se ha seguido un proceso sistemático que puede ser diferenciado en las cuatro fases siguientes:

### Fase 1. Inventario de métodos hidrológicos a nivel internacional y nacional.

En respuesta a la creciente proliferación de criterios y métodos hidrológicos alrededor del mundo, se ha optado por una revisión sistemática a partir de trabajos de referencia reconocidos internacionalmente (Annear et al, 2004; Tharme, 2003; Dunbar *et al.*, 1998; Arthington *et al.*, 2000). Inicialmente se ha seleccionado la “*Base de datos sobre metodologías de evaluación de caudales ambientales para los ecosistemas acuáticos*” del Internacional Water Management Institute, completando esta base de datos a partir de diversos métodos desarrollados en España (Palau, 1997; Baeza y García de Jalón, 1999; Martínez, 2003; Magdaleno, 2005; CHE, 1995; MIMAM, 1998).

### Fase 2. Preselección de métodos hidrológicos

El empleo de métodos de cálculo de caudales ambientales se debe basar en la utilización consciente y explícita de la mejor evidencia científica disponible. Una gran parte de los métodos de cálculo citados en la bibliografía especializada se han realizado en ríos cuyo contexto biogeográfico y sociopolítico es muy distinto al de la cuenca del Ebro. En este sentido se ha realizado una primera preselección de los métodos internacionales atendiendo a los siguientes criterios:

- Los métodos recogidos en la bibliografía especializada tal como fueron formulados originariamente, excluyendo posibles aplicaciones locales.
- Los métodos aplicados en contextos ecológicos y sociopolíticos similares.

- Los métodos que han sido aplicados a casos reales o forman parte de diferentes proyectos de investigación en curso.
- Los métodos que han sido recomendados por organismos internacionales (World Bank, IUCN, FAO, etc)

### Fase 3. Aplicación, análisis de resultados y segunda selección de métodos

Después de aplicar los métodos previamente preseleccionados en puntos seleccionados en la cuenca del Ebro, se ha procedido a realizar una segunda selección a través de un proceso explícito y sistemático basado en los conceptos y principios dispuestos en la Directiva Marco del Agua. En este caso se han utilizado dos criterios de selección basados en principios de la ecología fluvial ampliamente aceptados:

- Criterio de variabilidad: Para conservar la biodiversidad, producción y sostenibilidad de los ecosistemas fluviales, es necesario destacar el papel central de un medio físico variable (Poff et al. 1997). Los ecosistemas cambian, incluida la composición de las especies y la densidad de las poblaciones. La gestión, por tanto, debe adaptarse a estos cambios relacionados con la dinámica intrínseca de los ecosistemas que es necesaria al mismo tiempo para su conservación a largo plazo (Smith & Malby, 2003). Una alta diversidad de especies se identifica con una alta heterogeneidad espacial y cierta variabilidad temporal (Townsend, 1989). La sostenibilidad ecológica se encuentra en gran medida gobernada por la frecuencia, intensidad y predictibilidad de las perturbaciones (Ward & Stanford, 1983).
- Criterio del rango natural: Basado en el principio 6 del enfoque ecosistémico. *“Los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento”*. Los cambios relacionados con la dinámica intrínseca de los ecosistemas son necesarios, pero se deben producir dentro del rango natural de variación de estos ecosistemas evitando producir un desequilibrio más allá de su capacidad de recuperación (Smith & Malby, 2003). En este sentido cabe destacar que los organismos acuáticos han evolucionado sus estrategias vitales en respuesta directa a sus regímenes naturales de caudales y a sus rangos de variación (Bunn & Arthington, 2002).

#### Fase 4. Selección final del método para la formulación de la propuesta básica.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con la aplicación de métodos hidrológicos seleccionados, se ha procedido a la selección del método que fundamente la propuesta de caudales ambientales para la cuenca del Ebro, valorando especialmente sus fundamentos científicos, su simplicidad de cálculo, la robustez de los datos de partida y su facilidad de aplicación.

#### D.- Metodología hidrológica finalmente seleccionada.

La metodología hidrológica finalmente adoptada para la cuenca del Ebro ha sido la Aproximación del Rango de Variabilidad Natural. En la selección del método se han considerado sus resultados y su encaje con el “Principio de Precaución”, persiguiendo en última instancia el logro de una preservación ambiental más eficaz desde el origen de las causas de su degradación.

Efectivamente, el Principio 15 de la Declaración de Río expresa que “Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente”.

Con la adopción adecuada del principio de precaución en la selección de metodologías de cálculo de caudales ambientales se Este principio se puede aplicar a tenor de las incertidumbres derivadas de las limitaciones del conocimiento científico, ya que:

- Existen claras evidencias desde el punto de vista científico de los efectos ecológicos y geomorfológicos de la alteración del régimen de caudales sobre los ecosistemas y de los riesgos que suponen para sus comunidades biológicas.
- Aunque no existan los conocimientos científicos suficientes para establecer con certeza unos caudales ecológicos que respondan a los objetivos ambientales perseguidos, los métodos y criterios que serán adoptados se han realizado sobre convicciones de razonabilidad, con preferencia de aquellos que

proporcionen unas mejores garantías de conservación de los ecosistemas acuáticos, aunque los avances a posteriori de los conocimientos científicos puedan aparecer más adelante como innecesariamente aplicadas

- Aunque su puesta en práctica posponga los beneficios económicos, tecnológicos y de desarrollo, se considerará la aplicación de esta metodología. Es una opción que, ante la duda, otorga la prevalencia a la preservación de los ecosistemas acuáticos. Es decir, opta por el menor costo posible a largo plazo, ya que el daño ambiental, de producirse, podría ser irreversible.

Complementariamente al principio de precaución, en la selección de metodologías se han considerado argumentos de orden científico y técnico. por las razones que se explican a continuación:

1. La metodología ha sido ha sido revisada críticamente por científicos expertos en sus respectivas disciplinas. La metodología adoptada se basa en asunciones razonables, y ha sido formulada a partir de estudios consistentes que en última instancia corroboran las teorías implícitas en sus asunciones (paradigma de río natural, la naturaleza tetradimensional de los ecosistemas acuáticos, etc). Además, las técnicas analíticas, los datos y las conclusiones están adecuadamente considerados de acuerdo con el conocimiento científico existente, incluyendo en sus citas referencias a revistas científicas relevantes sin dudas de credibilidad dentro de la comunidad científica. Desde esta perspectiva, el método de Aproximación del Rango de Variabilidad Natural se puede considerar como una metodología que recoge los principales elementos de la “mejor ciencia disponible”.
2. Es un método flexible que permite adaptar las propuestas de caudales ambientales tanto a la variabilidad de los ecosistemas acuáticos como a los niveles de protección requeridos. En este caso la herramienta de ajuste gira en torno a los criterios numéricos del rango que se establecen en función de las particularidades de cada caso.
3. Es un método sencillo (la formulación matemática se reduce al cálculo del percentil en la distribución de aportaciones mensuales) y robusto (se pueden

utilizar datos hidrológicos mensuales obtenidos con alta fiabilidad a partir de los modelos precipitación-escorrentía).

4. Es un método que permite la interpretación de sus resultados en clave de situaciones hidrológicas (condiciones de sequías o situaciones húmedas) y ecológicas (los extremos como perturbaciones y su efecto dinámico).
5. El método está siendo utilizado de forma creciente en estudios de este tipo, habiéndose aplicado en más de 100 casos reales. Es un método recomendado por el grupo de expertos del Reino Unido para la implementación de la Directiva Marco del Agua y en él se fundamentan diferentes modelos para evaluar la calidad hidromorfológica de ríos y lagos en Europa. Además, es un método que está bien considerado en el Instream Flow Council de los Estados Unidos y ha sido recomendado en diversas provincias de Canadá.

#### E.- Referencias citadas

Annear, T., I. Chisholm, H. Beecher, A. Locke, and 12 other authors. 2004. *Instream Flows for Riverine Resource Stewardship*, revised edition. Instream Flow Council, Cheyenne, WY.

Arthington, A. H., S. O. Brizga, S. C. Choy, M. J. Kennard, S. J. Mackay, R. O. McCosker, J. L. Ruffin, and J. M. Zalucki. 2000. *Environmental flow requirements of the Brisbane River downstream from Wivenhoe Dam*. Brisbane, Australia.

Baeza, D. y García de Jalón, D. 1999. "Cálculo de Caudales de Mantenimiento en la Cuenca del Tajo a Partir de Variables Climáticas y de sus Cuencas," *Limnetica*, 16, 69–84.

Bovee, K. D. 1982. *A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. U.S. Fish and Wildlife Service, Cooperative Instream Flow Group. Instream flow information paper 12. 248 pp.

Bunn SE, and A.H. Arthington. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30 (1).

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). 1995. "Plan Hidrológico del Ebro". Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza

- Dunbar, M.J., A. Gustard, M.C. Acreman, and C.R.N. Elliot. 1998. Overseas approaches to setting river flow objectives. Institute of Hydrology, Wallingford, Oxon, United Kingdom. R&D Technical Report W6-161. 83pp.
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (eds). 2003. "Flow. The Essentials of Environmental Flows". IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. xiv + 118 pp.
- King, J. M., R. E. Tharme, and M. S. de Villiers, editors. 2000. *Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology*. WRC Report TT 131/00. Water Research Commission, Pretoria, South Africa.
- Magdaleno, F. 2005. "Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones". Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones, Madrid.
- Martínez, C. 2003. "Régimen ambiental de caudales en el tramo inmediato aguas abajo del embalse de El Vado (Guadalajara)". Curso relativo al Régimen Ambiental de Caudales. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Cuenca.
- MIMAM (1998). *Libro Blanco del agua en España*. Cap. 3 La situación actual y los problemas existentes y previsibles. Madrid.
- Palau, A.; Alcázar, J.; Alcaser, C. y Roi, J. 1997. *El caudal básico. Método para la gestión hidrobiológica de ríos regulados*. Universitat de Lleida.
- Poff, N. L., Allan, J. D., et al. (1997) The natural flow regime. *Bioscience*, **47**, 769-784.
- Smith R.D. and E. Maltby. (2003). "Using the Ecosystem Approach to Implement the Convention on Biological Diversity: Key Issues and Case Studies". IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. x + 118 pp.
- Tharme, R. 2003. "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers". *River Research and Applications* 19: 397-441.
- Townsend, C. R. (1989) The path dynamics concept of stream community ecology. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, **8**, 36-50.
- Ward, J. V. & Stanford, J. A., (1983) The serial discontinuity concept of lotic ecosystems, en *Dynamics of Lotic Ecosystems* (eds T. D. Fontaine & S. M. Bartell), Ann Arbor Sci. An Arbor, pp. 29-42.

## ANEXO 3

### Propuesta de caudales ambientales para el tramo inferior del río Ebro

La siguiente propuesta de caudales ambientales ha sido aprobada en reunión plenaria de la Comisión para la Sostenibilidad de las Tierras del Ebro en marzo de 2007. Con esta propuesta se da cumplimiento a lo establecido por la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modificó la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, que señala el deber de elaborar un Plan Integral para la Protección del Delta del Ebro (PIPDE) que incorpore la definición de un régimen de caudales ambientales. La propuesta se fundamenta en los resultados de aplicar la Aproximación del Rango de Variabilidad, utilizando el criterio de límite de rango del percentil 10.

A pesar de que no se abordan directamente los 32 parámetros de los Indicadores de Alteración Hidrológica (Richter, 1997<sup>11</sup>), las reservas ambientales que se consiguen con esta propuesta (analizando sólo las necesidades mensuales) permiten garantizar la mayor parte de los otros descriptores. A los 12 parámetros mensuales hay que añadir la posibilidad de cubrir mediante normas de explotación las situaciones de mínimos (sin necesidad de mayores provisiones) y adecuar la gestión a las tasas de cambio determinadas sin necesidad de mayores recursos hídricos. En el caso de las crecidas, como se ha mencionado anteriormente, se están realizando estudios complementarios que en su debido momento se incorporarán a esta propuesta de caudales de base.

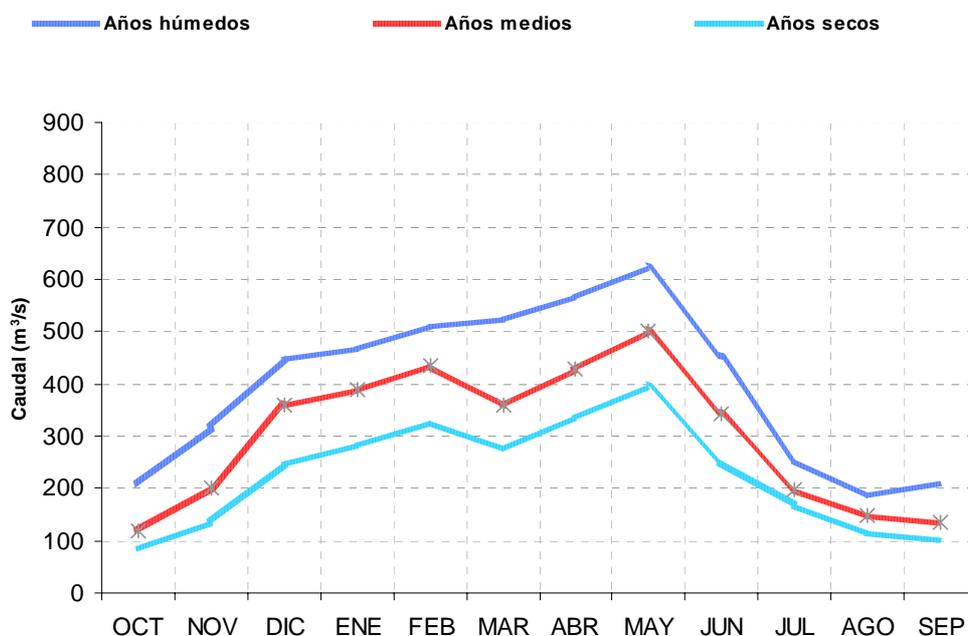
Para ofrecer la propuesta múltiple se ha calculado un coeficiente de ajuste a partir de las características de variabilidad y ocurrencia de los caudales en régimen natural. En este caso el coeficiente de años secos se ha determinado como la relación entre los valores del mes "x" en años de sequía (percentil 25) y los valores del mes "x" del año

---

<sup>11</sup> Richter, B.D, J.V. Baumgartner, R. Wigington, and D.P. Braun, 1997. "How Much Water Does a River Need?" *Freshwater Biology* **37**, 231-249.

mediano (percentil 50). El coeficiente de año húmedo se ha calculado de forma viceversa, considerando el mes húmedo como el percentil 75

La propuesta de regímenes de caudales ambientales correspondiente a años húmedos, medios y secos se presenta en la tabla y figura siguientes.



m <sup>3</sup> /s	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
<b>Años húmedos</b>	207,4	317,2	448,7	467,7	511,4	525,6	568,6	622,7	453,0	253,7	186,6	210,3
<b>Años medios</b>	119,3	202,4	359,4	387,6	436,5	360,4	427,6	500,0	342,3	198,0	149,8	135,0
<b>Años secos</b>	87,2	135,5	247,6	284,6	326,9	275,6	336,4	395,6	251,8	167,4	116,2	102,7

FIGURA A4-1. Propuesta de caudales ambientales para el Tramo inferior del Ebro

En esta propuesta, para los años medios, el valor mínimo de caudal se produce en el mes de agosto con 119 m<sup>3</sup>/s, mientras que el mes de mayor caudal corresponde a mayo con 500 m<sup>3</sup>/s. Los 4 meses de estiaje del tramo inferior del Ebro (julio, agosto, septiembre y octubre) representan algo más del 20% de la aportación anual, mientras que los 4 meses de caudales más elevados (febrero, marzo, abril y mayo) alcanzan casi el 50% de la aportación anual.

## ANEXO 4

### Propuesta de caudales ambientales en ríos seleccionados de la cuenca del Ebro

Teniendo en cuenta la información hidrológica disponible y su representatividad en el conjunto de la cuenca, en el estudio “Análisis de regímenes ambientales en tramos seleccionados de la cuenca del Ebro” (FNCA, 2006) se seleccionaron los 13 puntos de la red hidrográfica para calcular los caudales ambientales según diferentes metodologías.

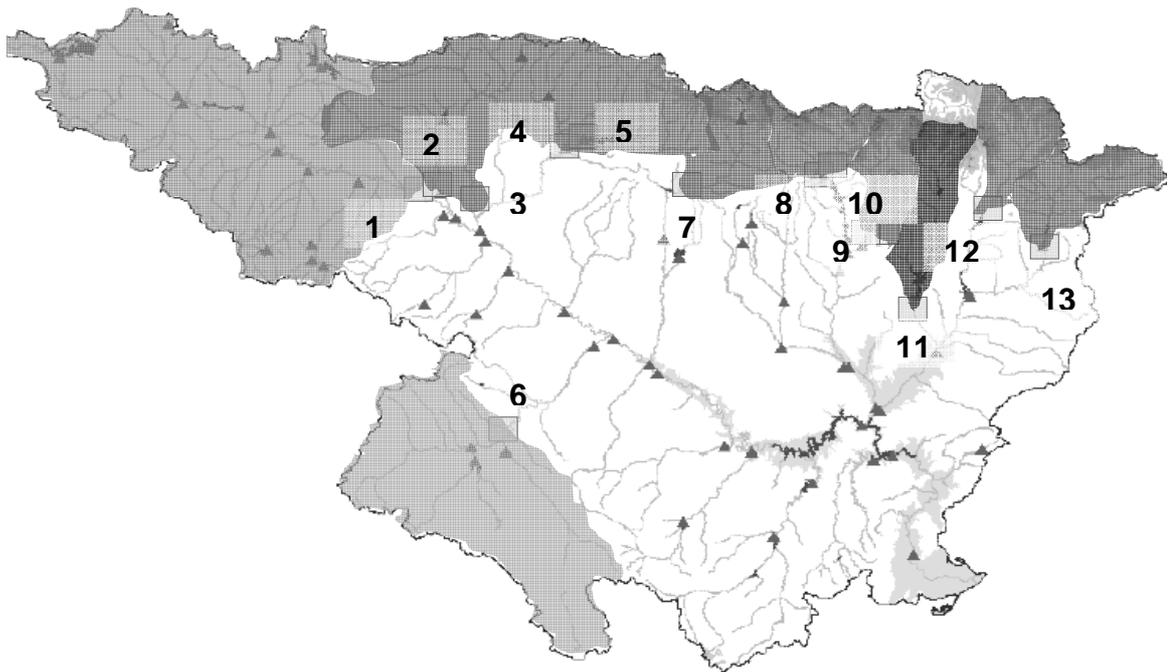


FIGURA A5-1. Localización de los tramos de estudio dentro de la cuenca. 1.Ebro en Mendavia; 2. Ega en Andosilla; 3. Arga en Funes; 4. Irati en Liédena; 5. Aragon en Yesa-PP; 6. Jalon en Huermeda; 7. Gallego en Anzanigo; 8. Cinca en el Grado; 9. Esera en Graus; 10. Isabena en Capella; 11. Noguera Pallaresa en Collegast; 12. Segre en Organya; 13. Noguera Ribagorzana en Puente Montañana

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con la aplicación de métodos hidrológicos seleccionados, la propuesta básica de caudales ambientales para la

cuenca del Ebro se formuló a partir de la aplicación simplificada de la Aproximación del Rango de Variabilidad, utilizando el criterio de rango del percentil 10

Para condiciones hidrológicas medias, los resultados fueron:

TABLA A5-1: Regímenes de caudales ambientales aplicando la Aproximación del Rango de Variabilidad

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
ARAGÓN	4,1	10,7	18,2	18,6	27,8	17,2	23,1	37,1	26,0	11,1	5,1	4,9
ARGA	8,9	21,5	44,4	45,0	50,5	35,6	37,2	27,3	14,5	6,9	5,6	5,2
CINCA	9,7	10,0	16,8	13,8	15,2	14,3	23,7	43,7	39,8	17,2	10,2	10,7
EBRO (MENDEAVIA)	22,7	31,1	75,9	101,5	125,9	90,8	100,3	77,4	45,6	27,5	21,7	20,1
EGA	2,2	2,7	6,1	10,6	13,8	11,7	10,6	6,7	4,4	2,7	1,9	1,9
ESERA	4,6	4,1	5,4	4,8	4,5	4,6	8,3	17,2	16,8	10,6	5,5	5,1
GÁLLEGO	3,8	6,5	12,5	9,6	11,2	8,0	10,6	21,7	19,5	8,7	4,4	4,0
IRATI	2,6	9,5	22,3	33,0	37,7	23,7	19,5	20,6	9,3	3,7	2,1	2,2
ISÁBENA	1,4	1,2	2,8	2,1	2,2	2,1	3,2	2,2	2,4	1,6	1,2	1,1
JALÓN	2,8	3,8	6,7	6,0	7,8	6,5	7,9	7,2	5,9	3,2	2,4	2,4
N. PALLARESA	7,4	6,2	6,8	6,9	6,4	6,1	9,0	35,6	32,5	14,6	10,0	9,0
N. RIBAGORZANA	3,3	3,3	4,7	4,4	4,1	4,1	8,6	19,8	22,3	10,4	5,5	5,6
SEGRE	9,2	8,7	8,6	10,3	10,0	10,4	18,4	33,4	20,9	13,3	12,3	11,4

En la tabla siguiente se muestra estos requerimientos anuales y el porcentaje que representan respecto a la aportación media natural.

TABLA A5-2: Requerimientos ambientales anuales para los tramos seleccionados

	Reserva anual (hm <sup>3</sup> )	Aportación natural (hm <sup>3</sup> )	Reserva vr natural (%)
ARAGÓN	532.9	1431.6	37.2
ARGA	790.8	1701.8	46.5
CINCA	592.1	1450.6	40.8
EBRO (MENDEAVIA)	1933.7	4158.1	46.5
EGA	196.5	494.4	39.7
ESERA	240.8	605.0	39.8
GÁLLEGO	316.9	830.9	38.1
IRATI	485.9	1202.8	40.4
ISÁBENA	61.9	194.9	31.8
JALÓN	164.2	439.5	37.4
N. PALLARESA	396.9	983.3	40.4
N. RIBAGORZANA	252.8	595.8	42.4
SEGRE	439.0	1148.9	38.2

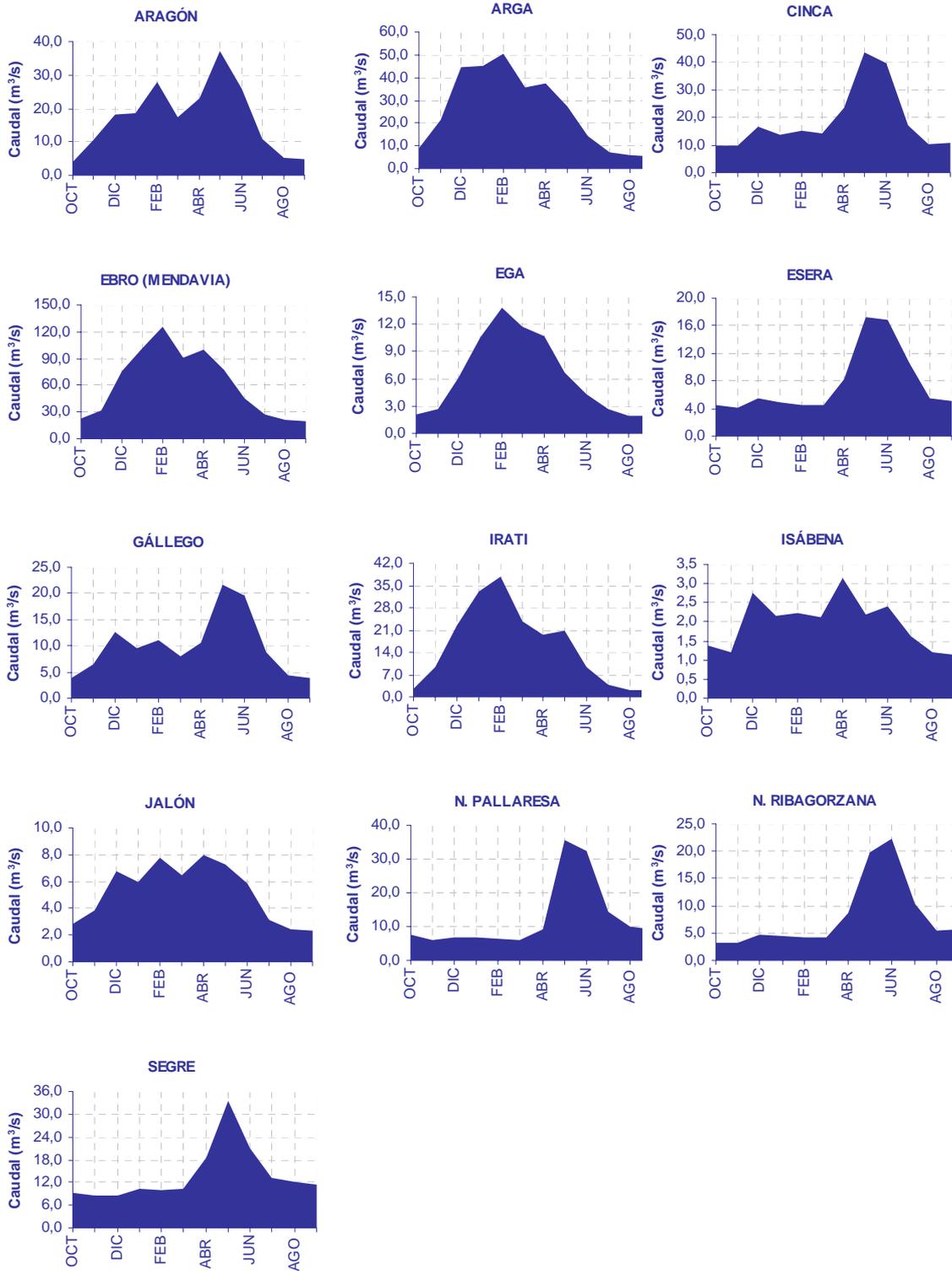


FIGURA A5-2: Hidrogramas de caudales ambientales aplicando la Aproximación del Rango de Variabilidad

Para condiciones de sequía se seleccionó un nuevo criterio dentro de la Aproximación del Rango de Variabilidad, utilizando los caudales mínimos absolutos para cada mes (percentil 1). La propuesta de regímenes de caudales ambientales fue:

TABLA A5-3: Regímenes de caudales ambientales en condiciones de sequía para los tramos seleccionados aplicando la Aproximación del Rango de Variabilidad

	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
ARAGÓN	2.7	2.8	9.0	10.3	9.2	13.1	14.4	18.8	18.4	8.8	3.7	2.9
ARGA	5.6	12.2	20.9	20.3	22.8	23.6	22.3	12.4	9.9	5.1	4.5	4.1
CINCA	4.7	3.6	5.2	6.4	6.0	11.3	11.6	26.0	20.2	12.4	7.0	5.3
EBRO (MENDEAVIA)	18.5	17.4	28.5	55.3	90.1	74.4	45.0	41.4	38.5	20.3	15.5	13.8
EGA	2.0	2.1	3.0	7.7	8.8	6.8	5.3	4.5	3.1	2.1	1.6	1.4
ESERA	2.7	2.1	3.0	2.3	2.0	1.8	2.5	7.1	9.4	6.0	4.0	3.2
GÁLLEGO	2.4	2.2	4.6	5.8	3.2	6.2	6.6	8.7	11.1	4.6	2.7	2.7
IRATI	1.6	3.8	13.0	12.9	14.0	10.9	12.5	4.1	5.5	2.0	1.0	1.4
ISÁBENA	0.8	0.7	0.9	0.8	1.0	1.0	1.1	1.7	1.2	1.3	1.0	0.7
JALÓN	1.9	2.1	5.2	5.3	3.4	4.1	3.1	2.7	1.2	1.7	1.2	1.2
N. PALLARESA	4.0	2.9	3.5	4.0	3.5	4.0	5.1	16.8	21.7	10.1	6.6	6.1
N. RIBAGORZANA	1.9	1.5	2.3	2.2	2.4	2.7	4.9	9.1	16.5	5.8	4.6	2.1
SEGRE	6.3	5.5	5.5	4.3	3.3	3.7	2.6	6.7	14.0	9.5	7.6	6.9

La propuesta expresada como reserva ambiental a escala anual representan unos requerimientos ambientales que varían entre el 15 y el 30%, con un valor promedio para todos los ríos seleccionados que se sitúa en el 21%.

TABLA A5-4: Requerimientos ambientales anuales en condiciones de sequía para los tramos seleccionados aplicando la Aproximación del Rango de Variabilidad

	Reserva anual (hm <sup>3</sup> )	Aportación natural (hm <sup>3</sup> )	Reserva vr natural (%)
ARAGÓN	300.2	1431.6	21.0
ARGA	428.1	1701.8	25.2
CINCA	315.8	1450.6	21.8
EBRO (MENDEAVIA)	1195.6	4158.1	28.8
EGA	126.2	494.4	25.5
ESERA	121.4	605.0	20.1
GÁLLEGO	160.0	830.9	19.3
IRATI	215.8	1202.8	17.9
ISÁBENA	31.8	194.9	16.3
JALÓN	87.2	439.5	19.9
N. PALLARESA	232.5	983.3	23.6
N. RIBAGORZANA	147.2	595.8	24.7
SEGRE	200.0	1148.9	17.4

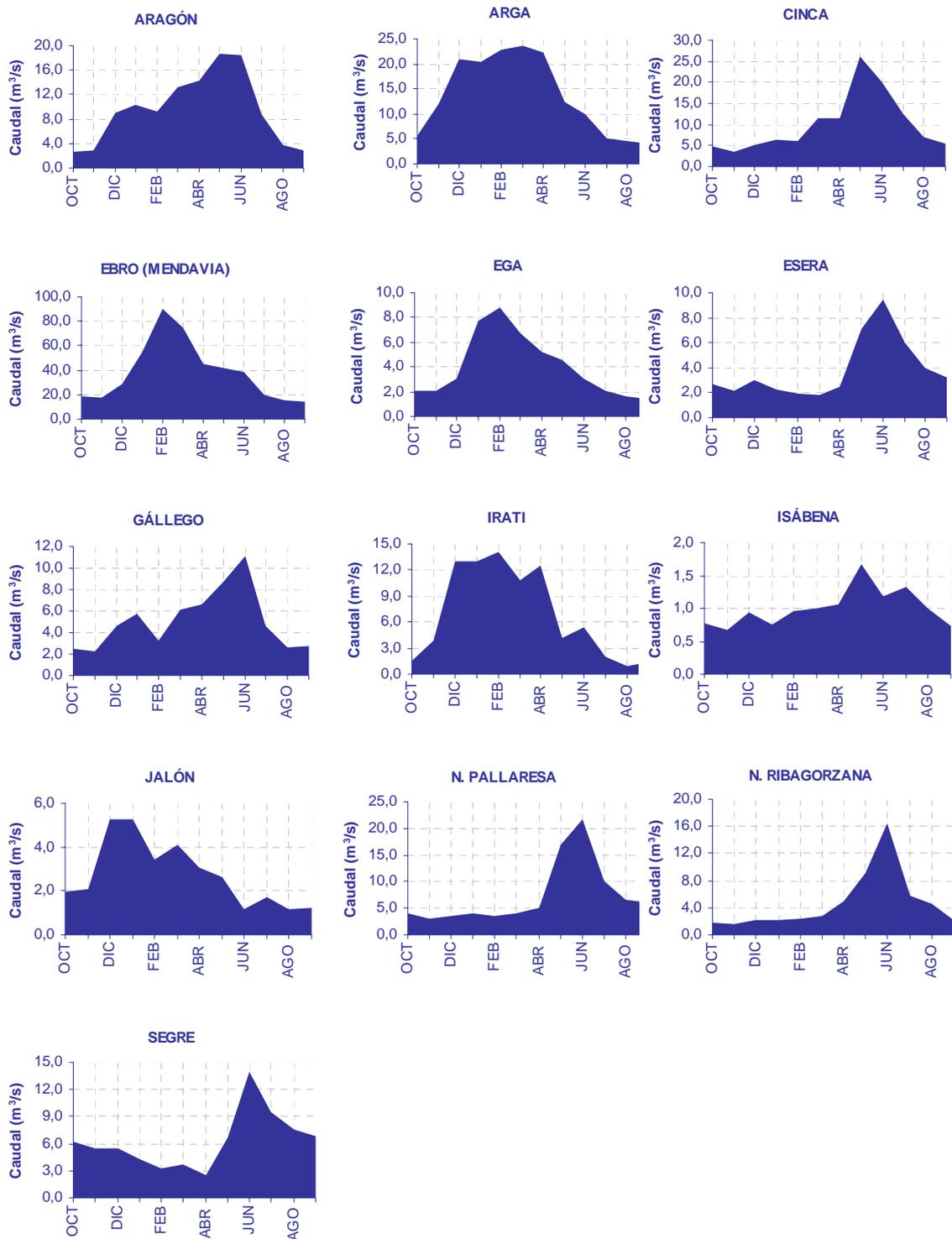


FIGURA A5-3: Hidrogramas de caudales ambientales aplicando la Aproximación del Rango de Variabilidad para condiciones de sequía

