



TAREA 1: Recopilación de la información existente

**ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE
CAUDALES MÁXIMOS, GENERADORES Y
TASAS DE CAMBIO DE LA DEMARCACIÓN
DEL EBRO**

Índice

1. Introducción.....	1
2. Resumen general de la información revisada	1
2.1 Información internacional.....	1
2.1.1 Europa	1
2.1.2 Resto del mundo.....	2
2.2 Guía europea de caudales ecológicos	3
2.3 Planes hidrológicos españoles	3
2.4 Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH)	5
2.5 Borrador de la Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos.....	6
2.6 Trabajos relevantes en la Confederación del Ebro	6
2.7 Ideas finales	7
3. Propuesta metodológica.....	8
3.1 Cálculo de caudales máximos	8
3.1.1 Caracterización hidrológica	9
3.1.2 Verificación hidrobiológica	10
3.2 Caracterización del régimen de crecidas.....	11
3.2.1 Magnitud	11
3.2.2 Periodo de retorno	12
3.2.3 Estacionalidad	13
3.2.4 Duración	13
3.3 Tasas de cambio.....	13
3.4 Reconocimiento en campo en caso de avenida natural o crecida controlada	16
3.4.1 Contribución de los usuarios y otras personas interesadas.....	17

ANEXO 1: RECOPIACIÓN NORMATIVA INTERNACIONAL

ANEXO 2: GUÍA EUROPEA DE CAUDALES ECOLÓGICOS

ANEXO 3: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE EN LOS P.H. 3er CICLO

ANEXO 4: INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA (IPH)

ANEXO 5: BORRADOR DE LA GUÍA ESPAÑOLA DE CAUDALES ECOLÓGICOS

ANEXO 6. DOCUMENTACIÓN SIGNIFICATIVA DE LA CONFEDERACIÓN DEL EBRO

1. Introducción

El presente documento da respuesta a la tarea 1 “Recopilación de la información existente” dispuesta en Pliego de Prescripciones Técnicas que rige el Proyecto:

El objeto de esta recopilación es tener una base sólida con la que plantear la metodología, para ello se ha recopilado la información considerada más relevante para los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. Para huir de utopías y centrarse en planteamientos plausibles, se ha optado por recopilar principalmente los aspectos normativos para otras demarcaciones hidrográficas, tanto españolas como internacionales. Además, se han recopilado los trabajos relacionados con esta temática en la cuenca del Ebro. En esta recopilación básica también se ha revisado la guía europea: *Documento de Orientación nº 31 “Caudales ecológicos en la aplicación de la Directiva Marco del Agua” (CIS, 2014)* y el borrador de la guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos, elaborada como apoyo a la implementación de la IPH.

La información recopilada ha sido revisada en busca de los aspectos más estrechamente ligados a los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. Entre toda la información recopilada se ha prestado especial atención a los Planes Hidrológicos para el tercer ciclo de planificación (2022-2027) realizados en España, ya que se considera una fuente básica para realizar el planteamiento metodológico en la cuenca del Ebro.

El presente documento se divide en dos partes claramente diferenciadas. En primer lugar se ofrece un resumen general de la información revisada, donde se describen los aspectos más destacables de esta información, junto con un primer planteamiento de la metodología a emplear en el desarrollo del trabajo. En una segunda parte se detallan, en diversos anexos, cada uno de los distintos aspectos y documentos revisados.

2. Resumen general de la información revisada

2.1 Información internacional

De la misma manera que en el plano nacional, a la hora de la realización de búsqueda de información internacional, se ha optado por la recopilación de normativa y legislación referente a los caudales ecológicos. Aunque cabe indicar que tras la revisión realizada no hemos observado que los países cercanos dispongan de una normativa que considere en exclusiva los caudales máximos o generadores, lo que convierte a España en uno de los países con una legislación más avanzada con respecto a los caudales ecológicos.

La recolección de información relativa a la normativa internacional referente a la regulación de los caudales ecológicos se ha realizado, principalmente, a partir de las páginas oficiales de las entidades competentes de los diferentes países, así como de [FAOLEX](#), base de datos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), que constituye una de las colecciones más completas de legislación y políticas nacionales sobre alimentación, agricultura y gestión de los recursos naturales.

2.1.1 Europa

Entre la información obtenida se destaca la siguiente:

Francia: *Circular de 07/05/11* relativa a la aplicación del artículo L. 214.18 del Código de Medio Ambiente sobre los caudales reservados a mantener en los cursos de agua en la que se actualizan los principios generales de aplicación del artículo L.214-18 del Código de Medio Ambiente, relativo a la obligación legal de respetar el caudal mínimo para las obras en construcción, garantizando permanentemente la vida, circulación y reproducción de especies que viven en el curso de agua, y cálculo de módulos. Proporciona elementos de metodología para que los servicios comprendan mejor los supuestos especiales introducidos por la ley de aguas y medios acuáticos de 30 de diciembre de 2006.

Portugal: En los Planes hidrológicos de las Regiones hidrográficas (demarcaciones) respeto a los regímenes de caudales ecológicos (RCE) se muestran tablas con la existencia o no de RCE en aprovechamientos hidroeléctricos y en presas con capacidad de regulación. Destaca la *Guía Metodológica*

para la Definición de los Regímenes de Caudales Ecológicos de las Infraestructuras Hidráulicas en Portugal Continental, documento transversal a los planes hidrológicos de cuenca, donde en su apartado 4.5 *Determinación de caudales de limpieza* (caudales que favorecen el arrastre de sustratos más finos y el control de la progresión de la vegetación en el río aguas abajo de la infraestructura hidráulica) se indica que estos caudales deberán verse en los aprovechamientos hidráulicos (AHs) donde los caudales resultantes de su funcionamiento no sean de magnitud o frecuencia suficiente para garantizar esta función, o en ausencia de crecidas naturales. Se plantean dos enfoques para su determinación: mediante métodos hidrológicos o mediante ecuaciones de transporte de sólidos.

Reino Unido: En los Planes Hidrológicos de Cuenca de los distintos distritos de cuenca fluvial no se hace referencia a los regímenes de caudales ecológicos.

Irlanda: En el borrador del Plan Hidrológico Nacional para el periodo 2022-2027 del tercer ciclo de planificación tampoco se encuentra información relativa a los caudales ecológicos. Hay un informe redactado por varios autores expertos, *“Extracción de agua: interacciones con la Directiva marco del agua y la Directiva de aguas subterráneas e implicaciones para el estado de las aguas de Irlanda”* que tiene un epígrafe dedicado al **caudal ambiental**.

Alemania: Los Planes de Gestión del Agua no contemplan ninguna información relativa a los caudales máximos ni tampoco la Ley de Recursos Hídricos, pero sí relativa al **caudal mínimo de agua**. En el artículo 33: *“La construcción de represas en una masa de agua o la extracción o desviación de agua de una masa de agua solo se permite si se retiene la cantidad de descarga requerida para la masa de agua y otras masas de agua asociadas con ella a fin de alcanzar los objetivos del artículo 6, apartado 1 y de los artículos 27 a 31 (caudal mínimo de agua)”*.

Austria: No se ha encontrado referencia a caudales máximos en el Plan Nacional de Manejo del Agua. Sin embargo, la *Ordenanza sobre Objetivos de Calidad para la Ecología de las Aguas Superficiales (QZV Ökologie OG)* contempla en su artículo 13 (2) el **caudal mínimo** ecológicamente necesario para garantizar la cantidad, la dinámica del caudal y la conexión con las aguas subterráneas.

2.1.2 Resto del mundo

En la misma línea se ha buscado otra normativa de carácter internacional referente a caudales máximos, generadores y tasas de cambio.

Un país relevante respecto a la implantación de caudales ecológicos es **Australia**. En 2019 se publicaron las Directrices del caudal ambiental de los recursos hídricos (instrumento para la ley del Agua de 2007) que establece los requisitos de caudal necesarios para mantener los ecosistemas acuáticos. Los componentes del caudal base son; Caudal base, pequeñas crecidas y crecidas mayores (llamadas caudales de mantenimiento), caudales para fines especiales y nivel de reducción del embalse.

En **Estados Unidos** tan solo los estados de Alaska, California, Hawái y Texas disponen de legislación específica sobre caudales¹, aunque no se ha podido comprobar si es específica a caudales máximos. Son destacables los experimentos de crecidas controladas realizados en el cañón del Colorado (Arizona) donde, en base a la evaluación de los impactos provocados por la presa de Glen Canyon, se decidió hacer una serie de ensayos de crecidas controladas, con la idea de imitar al máximo los procesos naturales y recrear la dinámica hidromorfológica anterior al embalse. Estos experimentos han sido realizados en 1996, 2004, 2008, 2012, 2013, 2014, 2016 y 2018.²

Según distintos artículos científicos consultados sobre países referentes de Latinoamérica, se detecta que no disponen de una normativa asociada a los caudales ecológicos o que esta tiene un alcance limitado. Así, **Argentina** no dispone de legislación sobre caudales ecológicos³; la legislación de **Chile** contiene algunas disposiciones sobre caudales ambientales, sin embargo, los requisitos legales y políticos tienen

1 <https://www.freshwaterinflow.org/>

2 <https://www.usgs.gov/centers/sbsc/about/gcmrc>

3 G. Aguilera & M. Pouilly 2012. Caudal ecológico: definiciones y adaptación a la región andina. Acta zoológica lilloana 56 (1-2): 15–30.

un alcance limitado y han sido mal aplicados por las instituciones reguladoras⁴, su determinación se encuadra dentro de los estudios de impacto ambiental; **Perú** no tiene legislación de caudales ecológicos, aunque se pide su cálculo en los estudios de impacto ambiental; **Colombia** tiene legislado solo los caudales mínimos, que deben calcularse en los proyectos de licenciamiento ambiental.

2.2 Guía europea de caudales ecológicos

Se trata del *Documento de Orientación nº 31 “Caudales ecológicos en la aplicación de la Directiva Marco del Agua”*. Documento elaborado por el grupo de trabajo de caudales ecológico de la CIS (Estrategia común de Implantación) y aprobado por los Directores del Agua de la UE en noviembre de 2014. Es documento importante porque es la opinión de la Unión europea sobre este tema.

Este documento no ofrece un protocolo completo para la aplicación de los caudales ecológicos en las masas de agua, ni pretende conducir a una aplicación uniforme de los caudales ecológicos, ya que su objetivo “es estimular una asimilación común de los caudales ecológicos con el fin de apoyar la consecución de los objetivos medioambientales de la Directiva Marco del Agua (DMA) que abordan las presiones que afectan al régimen hidrológico (por ejemplo, captaciones de aguas superficiales y subterráneas y embalses). Abarcando todo el proceso de implementación de la DMA, desarrolla los pasos en los que la consideración de los caudales ecológicos es críticamente necesaria.”

Por lo tanto, no presenta información metodológica sobre caudales máximos, generadores o tasas de cambio, aunque justifica la necesidad de su incorporación en el régimen de caudales ecológicos, ya que el régimen de crecidas desempeña un papel fundamental en la estructura y el funcionamiento del ecosistema acuático.

2.3 Planes hidrológicos españoles

Se ha recopilado, tanto para las Demarcaciones intercomunitarias como para las intracomunitarias, la **Normativa**, el **Anejo de caudales ecológicos** y la **Memoria** de todos los Planes Hidrológicos del tercer ciclo de Planificación. No obstante, algunas cuencas intracomunitarias no disponen de anejo de caudales ecológicos, ni de una normativa asociada a ellos, debido a las características de sus ámbitos. En concreto las siguientes: Islas Baleares, Gran Canaria, Fuerteventura, Lanzarote, Tenerife, La Palma, La Gomera y El Hierro. Aun así, para estos casos se ha obtenido la Normativa y Memoria de los planes.

Respecto a la Normativa de las Demarcaciones intercomunitarias, cabe indicar que se encuentra dispuesta a través del *Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro*⁵. Entre las cuencas intracomunitarias, se encuentran aprobados los Planes hidrológicos del tercer ciclo para Galicia Costa (*Real Decreto 48/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa*) y para las Islas Baleares (*Real Decreto 49/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de las Illes Balears*).

El resto de información (Anejos y Memoria) se ha obtenido de la página web⁶ dispuesta por el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO), donde se facilitan los enlaces a la documentación de los planes hidrológicos de tercer ciclo, tanto intercomunitarios como intracomunitarios.

Como resumen general de la Normativa recopilada se puede indicar que, prácticamente en todas las Demarcaciones **intercomunitarias**, se han dispuesto los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. Excepción a esta generalidad son las demarcaciones de Ceuta y Melilla que, como se indica en su respectivas Normativas (artículo 8), *no se establecen caudales ecológicos ya que los regímenes de agua que discurren por sus cauces son muy similares a los naturales y no existen infraestructuras de regulación significativas o concesiones de aguas que puedan alterarlo*. Respecto a los caudales

4 Elizabeth J. Macpherson* and Pia Weber Salazar. 2020. Towards a Holistic Environmental Flow Regime in Chile: Providing for Ecosystem Health and Indigenous Rights. En *Transnational Environmental Law*, 9:3 (2020), pp. 481–519

⁵ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-3511

⁶ https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/PPHH_tercer_ciclo.aspx

generadores, tan solo no han sido dispuestos en las Demarcación del Cantábrico (Oriental y Occidental) y en la Demarcación del Guadalquivir.

Entre las cuencas **intracomunitarias** las únicas que disponen de Normativa relacionada con los caudales máximos, generadores y tasas de cambio son Galicia-Costa, Cuencas Mediterráneas Andaluzas, Guadalete-Barbate, Tinto, Odiel y Piedras y el Distrito de Cuenca fluvial de Cataluña, en esta última, en la normativa no se disponen caudales máximos.

En prácticamente todas las Demarcaciones indicadas se han calculado los caudales máximos, generadores y tasas de cambio atendiendo al articulado de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) (artículos 3.4.1.4.2., 3.4.1.4.3 y 3.4.1.4.4).

Para el cálculo de los caudales máximos se han empleado métodos hidrológicos verificados mediante el uso de modelos hidrobiológicos. En todos los casos para las caracterizaciones hidrológicas se emplean series de una longitud de al menos 20 años, procedentes del modelo SIMPA, excepto en el Júcar que se emplearon series procedentes del modelo Patricial 31. Normalmente se calculó el percentil 90 con los datos mensuales de los años húmedos, salvo alguna excepción que se empleó el percentil 90 de la serie de caudales medios máximos para cada mes (ejemplo: Segura y Cantábrico). Así mismo, en aquellas masas de agua que disponen de estudios hidrobiológicos se ha evaluado una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles, así como el mantenimiento de la conectividad longitudinal del tramo. Como norma general, en todas las Demarcaciones se han empleado, para la estimación del refugio, los criterios de velocidades máximas limitantes propuestas en la IPH (alevines: 0,5-1 m/s, juveniles: 1,5-2 m/s y adultos: <2,5 m/s). La distribución de caudales máximos normalmente se realiza para dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año, según dispone la IPH, aunque algunas demarcaciones presentan valores mensuales.

Como norma general, para determinar la magnitud del caudal generador se ajusta la ley de frecuencia de la serie de caudales máximos anuales a una función de distribución tipo Gumbel. Existen excepciones donde, tras analizar distintas metodologías, optan por el empleo de la media móvil máxima de 30 días (ej. Guadiana). Para el cálculo de la frecuencia (periodicidad de los eventos generadores) se emplea normalmente la regionalización dispuesta por el CEDEX en la que asigna un coeficiente de variación (Cv) según la zona estudiada. La duración de la crecida depende directamente de las tasas de cambio que, en la mayoría de la Demarcaciones, se han calculado aplicado estrictamente el método de la IPH, aunque en algún caso se ha empleado para su determinación el método del QBM (ej. Duero). Por su parte, el Distrito de Cuenca fluvial de Cataluña dispone de un método propio para el cálculo de las tasas de cambio.

Por último, respecto a la Normativa española deben destacarse una serie de disposiciones generales que se recogen en el *Real Decreto 35/2023* que directamente se encuentra relacionadas con los caudales ecológicos. Estas son las disposiciones adicionales quinta y sexta, la disposición transitoria única y la disposición final tercera.

Disposición adicional quinta *“Cumplimiento de caudales ecológicos ante estados de emergencia o reposición del sistema eléctrico”* que indica *“No se entenderá como incumplimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque conlleve el deterioro temporal del estado de determinadas masas de agua, el caso en que cualquiera de las componentes del citado régimen de caudales ecológicos no pueda ser respetada como consecuencia de aplicar los Procedimientos de Operación establecidos para afrontar los estados de emergencia...”*

La disposición adicional sexta *“Liberación artificial de la componente de caudales ecológicos: régimen de crecidas”* dispone básicamente que esta liberación se realizará en el momento que indique la Comisión de Desembalse buscando ocasionar los menores perjuicios, Así mismo, en caso de sequía prolongada, el Comité permanente de la Comisión de Desembalse podrá acordar el aplazamiento de la liberación de los caudales generadores hasta que se superen estas situaciones.

Disposición transitoria única *“Adaptación de órganos de desagüe”* que habilita un tiempo, necesario e imprescindible, para poder preparar los órganos de desagüe de las presas al objeto de que puedan liberar los regímenes de caudales ecológicos establecidos en los planes hidrológicos que se aprueban.

Por último, se debe mencionar lo que se indica en la disposición final tercera *“Actualización de la instrucción de planificación hidrológica”*, ya que, aunque directamente no se menciona caudales máximos

o generadores, se indica que, en el plazo de dieciocho meses desde la entrada en vigor del Real Decreto, se aprobará una orden que actualice la Instrucción de Planificación Hidrológica (ARM/2656/2008). En particular, la orden fijará los criterios técnicos y metodologías para la determinación de los caudales ecológicos para el conjunto de las demarcaciones hidrográficas.

2.4 Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH)

La *ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica*, más conocida como IPH, es la norma española donde se detallan lo que son los caudales ecológicos y cómo calcularlos. Para determinar el régimen de caudales ecológicos, además de los caudales mínimos, se citan otras componentes:

Caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas más vulnerables a estos caudales, especialmente en tramos fuertemente regulados. Pero el cálculo no debe ser sólo su magnitud, también se pide su distribución temporal, con el objetivo de establecer una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea compatible con los requerimientos de los diferentes estadios vitales de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua. **Caudales de crecida**, con objeto de controlar la presencia y abundancia de las diferentes especies, mantener las condiciones físico-químicas del agua y del sedimento, mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica y favorecer los procesos hidrológicos que controlan la conexión de las aguas de transición con el río, el mar y los acuíferos asociados. **Tasa de cambio**, con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, como pueden ser el arrastre de organismos acuáticos durante la curva de ascenso y su aislamiento en la fase de descenso de los caudales.

Con respecto a la **caracterización de los caudales máximos** que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas se propone la siguiente metodología: se definirán, al menos, en dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año. Se realizará analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Con la finalidad de preservar las magnitudes fundamentales del régimen natural, se recomienda no utilizar percentiles superiores al 90%, en consonancia con los umbrales propuestos en apartados posteriores para los índices de alteración hidrológica.

Pero la IPH son se queda ahí, pide que el régimen sea verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. Dando posteriormente indicaciones que son las que se exponen en la metodología que se va a aplicar.

Respecto a la **tasa de cambio**, la IPH establece que se establecerá una tasa máxima de cambio, definida como la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo, tanto para las condiciones de ascenso como de descenso de caudal. Su estimación se realizará a partir del análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de, al menos, 20 años de duración. Se calcularán las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se podrá contar con una estimación media de las tasas de cambio. Se recomienda que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso. Atención, que permite excepciones: En determinados casos particulares será necesario considerar otra escala temporal que permita limitar la tasa de cambio a nivel horario.

Respecto al **régimen de crecidas**, la IPH sólo solicita su caracterización en aquellos tramos situados aguas abajo de importantes infraestructuras de regulación la crecida asociada al caudal generador será asociada al caudal de sección llena del cauce (lo que define su magnitud). Deberá definirse incluyendo su magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa máxima de cambio, tanto en la curva de ascenso como en la curva de descenso del hidrograma de la crecida.

La tasa máxima de cambio, la frecuencia y la duración de la crecida asociada al caudal generador se obtendrán, preferentemente, del análisis estadístico de una serie representativa del régimen hidrológico del río y con, al menos, 20 años de datos.

La validación del caudal generador deberá llevarse a cabo mediante la modelación hidráulica del cauce, en un tramo representativo de su estructura y funcionalidad, teniendo en cuenta, para ello, los estudios de inundabilidad del tramo afectado, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras.

Entrando en el caso particular de los **ríos no permanentes**, la IPH indica lo siguiente: en los ríos temporales se cita que se deberían utilizar los mismos criterios definidos para la determinación de la distribución mensual de caudales mínimos y máximos en ríos permanentes. Mientras que en los intermitentes y efímeros que se determine los caudales generadores y el tiempo de recesión tras la crecida.

2.5 Borrador de la Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos

Dentro de la recopilación de información se ha tenido en cuenta el Borrador de la Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos que, en 2008, sirvió de apoyo en la implantación de lo dispuesto en la IPH.

Referente al régimen de caudales máximos en esta guía se indica que deberá ser cuantificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. El uso de estos modelos permitirá la evaluación de la afección por velocidades críticas. Una vez recopiladas las velocidades óptimas y críticas de especies objetivo se deberá asegurar que al menos se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio. Cuando la superficie mojada que supera las velocidades óptimas supera el 30% de la superficie del tramo (refugio inferior al 70% de la superficie) será necesario analizar las condiciones de conectividad y la capacidad de refugio del tramo.

Respecto a los caudales generadores se indica que el caudal generador se puede aproximar al caudal de sección llena o nivel de bankfull o en su defecto por la Máxima Crecida Ordinaria (M.C.O) y presenta el proceso para su cálculo a partir de datos muestrales o el cálculo de estadísticas a partir de leyes de frecuencia. Así mismo, se indica que la definición de las características del caudal generador deberá realizarse teniendo en cuenta los aspectos fundamentales de una crecida: magnitud, frecuencia, duración, época y tasa máxima de cambio.

Respecto a las tasas se indica que es necesario fijar una tasa de cambio de caudal que amortigüe los cambios en el régimen de caudales. En este sentido pone como ejemplo la tasa de cambio desarrollada por la Agencia Catalana del Agua dentro del “Plan Sectorial de Caudales de Mantenimiento”.

2.6 Trabajos relevantes en la Confederación del Ebro

Entre la información disponible en la Confederación Hidrográfica del Ebro deben destacarse los siguientes trabajos:

- **Propuesta de caudales generadores y de conectividad para la presa de Itoiz (CHE 2016):** En este trabajo se determinan caudales generadores y de conectividad para la presa de Itoiz siguiendo una metodología holística basada en el paradigma del régimen natural de caudales (Poff, 1997) e implementada en la aplicación IAHRIS (Fernández & Martínez 2010).
- **Campaña de muestreo de sedimentos en suspensión en el curso bajo del río Ebro durante la avenida controlada del 5 de mayo de 2022 (Nota técnica CEDEX 2022):** El objetivo general de la realización de las avenidas controladas en el curso bajo del Ebro es el control del crecimiento de macrófitos. El objetivo concreto de esta campaña es el de calibrar los registros de las estaciones turbidez ubicadas aguas abajo del embalse de Flix. Para ello, durante la avenida controlada, se tomaron muestras de turbidez y concentración de sólidos en suspensión, además se realizaron aforos. Así mismo, se programó la campaña para el 5 de mayo coincidiendo con el paso del satélite Sentinel-2 por la zona de estudio.
- **Diseño de crecidas de mantenimiento: aplicación en el río Cinca (CHE 2019):** El principal objetivo de este estudio es avanzar en el diseño de un programa de crecidas de mantenimiento para su implementación en el río Cinca aguas abajo del sistema de embalses Mediano-El Grado en base a criterios hidráulicos, geomorfológicos y ambientales, que, junto con otras medidas de

rehabilitación fluvial, contribuyan a mejorar la dinámica morfo-sedimentaria y con ello ecosistémica de dicho tramo.

- **Propuesta gestión de los desembalses desde la presa de Ciurana (ACA 2023):** Donde se propone la realización de un estudio piloto de caudales generadores, a realizar cuando las reservas embalsadas lo permitan. Se indica la magnitud del caudal generador a desembalsar durante 24 horas, que deberían dejarse circular por toda la cuenca, y se propone la realización de un seguimiento ambiental que valore sus efectos.
- **Plan Sectorial de caudales de mantenimiento de las cuencas internas de Cataluña. (ACA 2005):** Determina el régimen de caudales de mantenimiento en puntos significativos de la red fluvial principal de las cuencas internas de Cataluña, y establece criterios objetivos para determinarlos en los puntos no fijados.
- **Propuesta de del régimen de caudales ambientales en el tramo final del río Ebro y validación biológica preliminar (ACA 2008):** Propuesta de caudales ambientales basada en métodos hidrológicos, acompañado o complementado con el análisis de los requerimientos de hábitat de la saboga (*Alosa fallax*).
- **Propuesta de del régimen de caudales ambientales en las cuencas del Segre, Matarranya, Senia y afluentes del bajo Ebro tramo final del río Ebro y validación biológica (ACA 2008):** El objetivo del documento es el análisis y la propuesta de establecimiento del régimen de caudales de mantenimiento en 81 puntos de cálculo de las cuencas catalanas del Ebro (excepto el eje principal del Ebro), efectuando una validación biológica en 15 de estas cuencas a partir de un proceso de simulación de hábitats en una y dos dimensiones. Así mismo, en el documento se proponen caudales generadores para 20 infraestructuras relevantes, con capacidad de almacenaje superior a 5 hm³ o con una tasa de regulación superior a 0,5. Respecto al caudal generador se indica la magnitud y el periodo de liberación de caudales.
- **Consultoría y asistencia para la realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y las de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro, y de las demarcaciones hidrográficas del Segura y del Júcar (MMA-Intecsa Inarsa. 2013):** Donde se establecen caudales ecológicos para la Demarcación Hidrográfica del Ebro. En este estudio se tienen en cuenta todos los componentes de caudales ecológicos: caudales mínimos, máximos, generadores y tasas de cambio. Los caudales mínimos se establecieron para 664 masas de agua empleando métodos hidrológicos, en 70 masas de agua significativas se emplean además métodos de simulación de hábitat. Los caudales máximos se calcularon para aquellas masas aguas abajo de infraestructuras hidráulicas y en las que se pudo verificar los mismos mediante los modelos hidráulicos (33 masas de agua). Asimismo para una serie de masas de agua situadas aguas abajo de infraestructuras importantes, se calculó la magnitud de la crecida asociada al caudal generador.

2.7 Ideas finales

Existe un amplio consenso sobre el papel que desempeña el régimen hidrológico en la estructura física de los ríos, que a su vez determina y sustenta la composición biótica, la producción y la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos. Aunque no solo se trata de considerar solo unos caudales mínimos, si no que, según determina la base del conocimiento actual, es necesario considerar todos los componentes de los caudales ecológicos, entre los que se encuentran el caudal máximo y el régimen de crecidas (magnitud, frecuencia, duración, temporalidad y tasa de cambio).

En la revisión normativa realizada para distintos países se observa que, por norma general, se encuentran regulados los caudales mínimos, no detectándose normativa asociada a los caudales máximos o generadores, excepto en Australia.

A nivel español se aprecia que se ha realizado un avance en el establecimiento de caudales máximos y generadores, junto con sus tasas de cambio, para este tercer ciclo de planificación (2022-2027). También se observa un incremento en la realización de estudios de seguimiento ambiental de los caudales generadores dispuestos en la Normativa, entre los que destaca los realizados en el río Ebro aguas abajo del embalse de Flix. Por último, se debe destacar, respecto al cálculo de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio, que prácticamente todas las Demarcaciones han atendido al articulado de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH).

3. Propuesta metodológica

Una vez realizada la recopilación básica se estima conveniente afrontar el cálculo de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio atendiendo a los criterios de la Instrucción de Planificación Hidrológica.

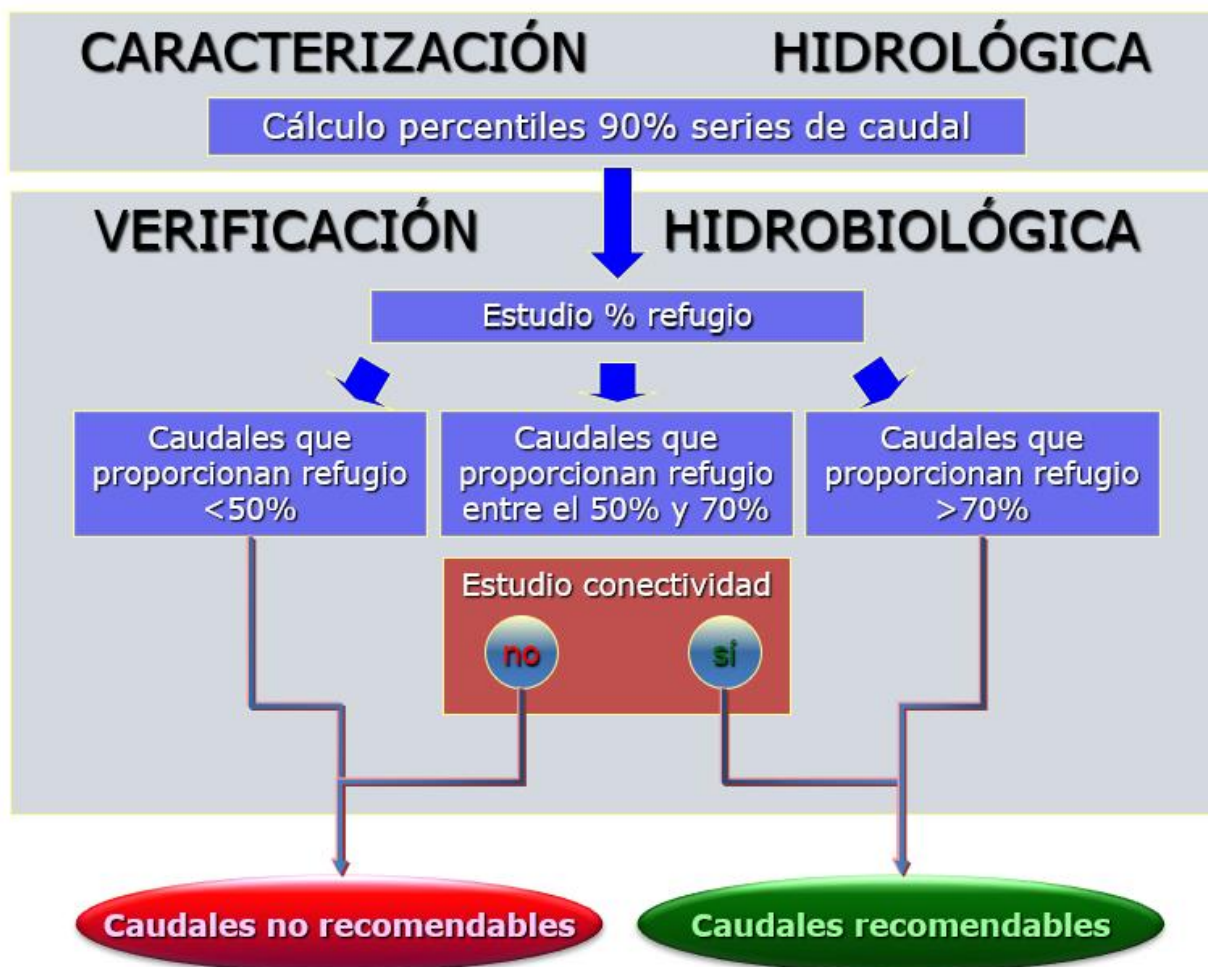
3.1 Cálculo de caudales máximos

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

El procedimiento que se proponer seguir consta de las siguientes fases:

1. Caracterización hidrológica
2. Verificación hidrobiológica, basada en el refugio para peces.

Para todos los tramos se realizará una caracterización hidrológica del tramo, y en aquellos tramos donde se han hecho estudios hidrobiológicos, una posterior verificación de que dicho percentil (caudal) garantiza el refugio para los estadios/especies más restrictivos y también la conectividad de tramo, mediante los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat. El proceso completo se resume en la siguiente figura:



Sistema utilizado para seleccionar los caudales máximos

3.1.1 Caracterización hidrológica

Para la caracterización hidrológica de la distribución temporal de caudales máximos, la IPH cita que se deben analizar los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural, más exactamente expresa que *Con la finalidad de preservar las magnitudes fundamentales del régimen natural, se recomienda no utilizar percentiles superiores al 90%*. Para obtener una serie adecuada, se propone caracterizar diversas series de caudal:

- Percentil 90 de la serie diaria de caudal
- Percentil 90 de la serie mensual de caudal
- Percentil 90 de la serie diaria de caudal de los años húmedos
- Percentil 90 de la serie mensual de caudal de los años húmedos.

Se considerarán años húmedos cuando su aportación supera al 75% de los años considerados. Los cálculos de caracterización hidrológica se pretenden efectuar sobre todas las masas de agua, aunque luego se establezcan sólo sobre las que tengan infraestructuras de regulación.

Para los cálculos mensuales se emplearán serie de caudales mensuales en régimen natural del modelo hidrológico SIMPA, tanto la denominada serie larga (1941-2018) como la serie corta (1980-2018).

No obstante, cabe destacar que las series disponibles son de carácter mensual, por lo que se deberá restituir la serie de caudales diarios disponibles en las estaciones de aforo a caudales naturales diarios para cada una de las masas de agua. Para la restitución de las series se plantea el siguiente proceso:

1. Se emplearán series de datos no menores a 20 años, en caso de que este criterio no permita seleccionar un número suficiente de estaciones, la longitud se rebajará a 15 años.
2. Se realizará un análisis estadístico de las series de los caudales diarios de las Estaciones de Aforos EA, buscando la homogeneidad, y consistencia de las series, lo que podría conducir al relleno de datos si fuera necesario. Esto incluye la restitución al régimen natural, si el punto analizado se encuentra influenciado por la operación de una presa, y por posibles detracciones como trasvases y otros servicios que estuviesen o no aforados. Como resultado de este análisis se podría decidir descartar parte del registro de algunas estaciones de aforo e, incluso, el registro completo de otras por considerarlo poco fiable.
3. El cálculo de los caudales diarios naturales de la masa de agua a su cierre se realizará por transposición y corrección de la serie diaria de caudales de la Estación de Aforos de referencia, mediante la corrección por superficies de cuencas y por sus pluviometrías totales (media anual para el periodo de la serie). Según la expresión:

$$Q_{dmasa} = Q_{ea} * \frac{A_m}{A_{ea}} * \frac{P_m}{P_{ea}}$$

Donde:

Q_{dmasa} = Caudal diario natural de la masa de agua (m³/s)

Q_{ea} = Caudal diario en la estación de aforo (m³/s)

A_m =Área de la cuenca al punto de cierre de la masa de agua (km²)

A_{ea} = Área de la cuenca de la estación de aforo (km²)

P_m = Precipitación media anual en la cuenca afluyente a la masa de agua para la longitud de la serie analizada (mm), obtenidos de los resultados del modelo SIMPA.

P_{ea} = Precipitación media anual en la cuenca afluyente a la Estación de Aforos de referencia, para la longitud de la serie analizada (mm), obtenidos de los resultados del modelo SIMPA.

Finalmente, se realizará el análisis de la coherencia hidrológica de las series obtenidas, para la que se aplicará una última validación y posible corrección de la serie de los caudales diarios obtenidos para la masa de agua, y es que se verificará la condición de correspondencia de volúmenes para la misma longitud

de la serie entre la serie diaria calculada, y la serie mensual del SIMPA, para la que debe cumplirse que los volúmenes de ambas series son iguales.

3.1.2 Verificación hidrobiológica

Siguiendo las instrucciones de la IPH, se debe verificar mediante el uso del modelo hidrobiológico tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad longitudinal del tramo. Este proceso se realizará en 15 masas de agua situadas aguas abajo de embalses seleccionados por su representatividad. Estos son: La Tranquera, Sotonera, Grado, Barasona, Yesa, Santolea, Itoiz, Rialb, Ebro, Ullívarri, Urrúnaga, Mansilla, Camarasa, Santa Ana y Ciurana.

Se define como refugio aquellas zonas del río con una determinada profundidad mínima de agua y cuyas velocidades no superan las velocidades máximas para las especies existentes en el tramo. Para ello, se considerará el rango de valores acordada durante la implantación de los caudales ecológicos en España (recogido entre otros sitios en CHD 2012 Anejo 4 del PHD), donde se estableció que el refugio para garantizar el paso de los peces se obtenía con la siguiente combinación de velocidades y profundidades:

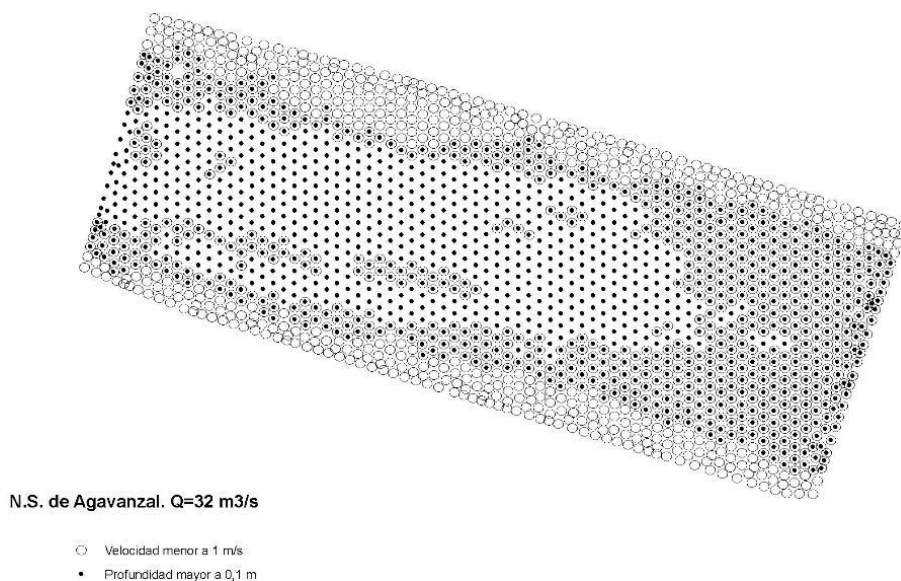
Estado	Velocidad limitante	Profundidad limitante
Alevín	< 1	> 0,1
Juvenil	< 2	> 0,15
Adulto	< 2,5	> 0,25

Velocidades y profundidades limitantes

Se propone realizar un análisis espacial de la distribución de velocidades, analizando el porcentaje de superficie mojada del tramo que supera las velocidades óptimas con el programa de simulación en 1 dimensión, obteniendo el porcentaje de superficie de refugio sobre el total de la superficie mojada del tramo.

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

El **estudio de la conectividad** se realiza modelando el caudal correspondiente al valor del caudal correspondiente a un total cumplimiento del área de refugio. En el gráfico siguiente se presenta, a modo de ejemplo, un estudio de conectividad realizado para el tramo ubicado aguas abajo de un embalse, donde se aprecian los nodos del modelo en los que se cumplen los requisitos de velocidad y profundidad establecidos por la Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos.



Estudio del refugio y la conectividad

3.2 Caracterización del régimen de crecidas

En la “Guía para la Determinación del Régimen de Caudales Ecológicos”, el caudal generador se asimila al caudal de sección llena o nivel de cauce ordinario (bankfull) o, en su defecto, por la Máxima Crecida Ordinaria (M.C.O.). La M.C.O. es definida por la Ley de Aguas (RDL 1/2001, 20 de julio) como el caudal que conforma el cauce; y se obtiene, según el estudio “Aspectos Prácticos de Definición de la Máxima Crecida Ordinaria” del CEDEX, en base a la serie de máximos caudales medios diarios en régimen natural.

Los parámetros a determinar para caracterizar el caudal generador en una determinada masa de agua son los siguientes: Magnitud, Frecuencia, Tasas de cambio, Duración y Estacionalidad.

3.2.1 Magnitud

Se propone utilizar para el cálculo de la magnitud de la máxima crecida ordinaria el **Cálculo del caudal punta según CEDEX**.

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

La máxima crecida ordinaria se puede obtener con la aplicación **CauMax**, desarrollada por el CEDEX, integrada en un sistema de información geográfica, en la que es posible consultar los caudales máximos instantáneos en régimen natural asociados a distintos periodos de retorno para los cauces con una cuenca superior a 50 km² y calcular estos caudales mediante el método racional modificado para cauces con cuencas inferiores a 50 km². Este trabajo se enmarca dentro del ámbito del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Esta información se puede consultar en <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/mapa-de-caudales-maximos/>.

La última versión del CauMax corre en ArcGis y se puede obtener la Q_{MCO} junto con los Caudales Máximos Instantáneos para los distintos periodos de retorno (T= 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años).

Si fuese necesario, como método alternativo al expuesto se propone el empleo de la ley de distribución de frecuencias de Gumbel para el estudio de los valores extremos, a partir de datos naturalizados procedentes del SIMPA.

La ley de distribución de frecuencias de Gumbel se utiliza para el estudio de los valores extremos y en la hidrología ha sido ampliamente aplicada. La probabilidad de que se presente un valor inferior a x es:

$$F(x) = e^{-e^{-b}}$$

Siendo:

$$b = \alpha (x - u) \quad \alpha = \frac{\sigma_y}{S_x} \quad u = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

e = base de los logaritmos neperianos

\bar{x} = media aritmética de la muestra

S_x = desviación típica de la muestra

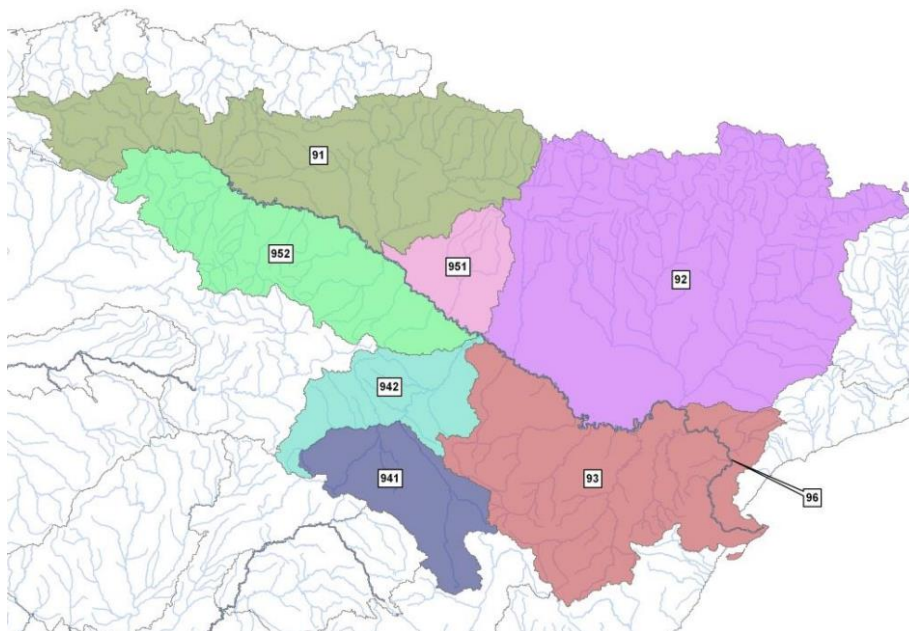
σ_y y μ_y = coeficientes tabulados específicos de la función según el número de datos de la muestra

La magnitud del caudal generador viene dada por el caudal de avenida asociado al periodo de retorno que se detalla un poco más adelante, T MCO.

Para la determinación de este caudal avenida se ajusta la ley de frecuencia de la serie de caudales máximos anuales a una función de distribución tipo Gumbel, habitual en este tipo de estudios (aunque también podrían utilizarse otras funciones como la Log-Normal, Goodrich o Pearson Tipo III): Q_{gen} (m^3/s) = QTMCO.

3.2.2 Periodo de retorno

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



Regiones con estadísticas similares en el régimen de crecidas en la cuenca del Ebro.

El **periodo de retorno (T)** de la MCO se estima a partir del coeficiente de variación determinado por el CEDEX a partir de la expresión: T_{MCO} (años) = $5 * C_v$. En cualquier caso, ese valor ya está calculado para las distintas regiones de la cuenca del Ebro, y como se puede ver en la siguiente tabla:

Región	CV	T
91	0,47	2,5
92	0,70	3,5
93	1,36	7,0
94	1,04	5,0
95	0,69	3,5
96	0,50	2,5

Coefficientes de variación regionales (CV) y periodos de retorno en años (T) para la máxima crecida ordinaria en las regiones estadísticas presentes en la cuenca del Ebro.

Los periodos de retorno son orientativos para la crecida ordinaria. Para la gestión se establecerá el periodo en años y las características del año, es decir, no se obligará a realizar crecidas en años secos, se intentará que las crecidas coincidan con años húmedos. Si se produce alguna crecida por causas naturales, esa computará en el ciclo.

3.2.3 Estacionalidad

Como estacionalidad se entiende el periodo del año en el que se tiene que producir el elemento generador. Como propuesta se tendrá en cuenta los meses de mayor probabilidad de que se produzcan este tipo de eventos de forma natural. En principio se seleccionarán los 4 meses de mayor aportación natural media. No se debe constreñir la propuesta a un único mes, ya que naturalmente cambia de mes y puede ser un problema para los gestores de las presas.

3.2.4 Duración

La duración del caudal generador, expresada como el tiempo desde que empieza a subir el caudal hasta el momento en que se vuelva al caudal base, depende intrínsecamente de la tasa de cambio, ya que el caudal no hay que mantenerlo en el tiempo. Por ello, la metodología utilizada para la duración del hidrograma de la crecida se explica en el apartado específico de tasas de cambio. Esto no es óbice para que se pueda alargar la crecida si por otras circunstancias, como la necesidad de establecer mesetas para el aforo de los caudales circulantes. En cualquier caso, se buscará que la crecida se pueda realizar dentro de una jornada laboral.

3.3 Tasas de cambio

A pesar de que se puede considerar una variable de los caudales generadores, a la metodología utilizada para el cálculo de las tasas de cambio merece la pena dedicarle un capítulo exclusivo. Existen diversos métodos para su cálculo, entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

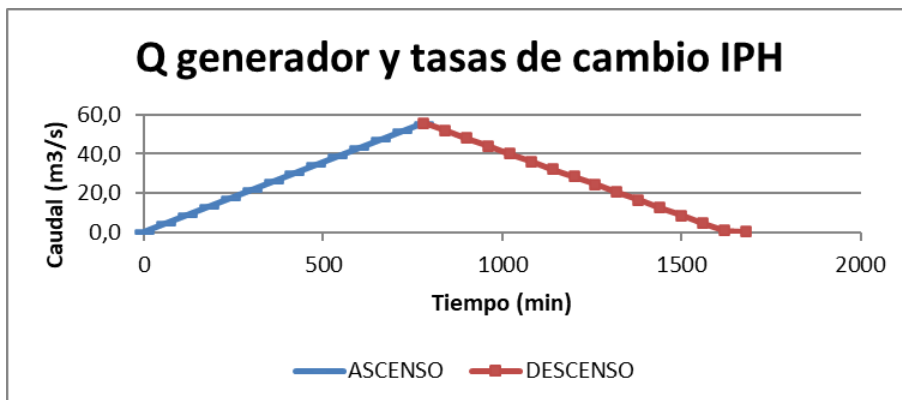
- Método IPH estricto
- Método de la Agencia Catalana del Agua
- Método de Galicia Costa
- Método del caudal básico de mantenimiento, así como
- Otras variantes de los mismos.

Sobre estas posibilidades se seleccionará la más adecuada.

3.3.1.1 Método IPH estricto

La IPH pide que se analicen las tasas de cambio igual que en caso del caudal generador por el método 1: a partir del análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios.

Para ello, se calculan las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se cuenta con una estimación media de las tasas de cambio. La IPH recomienda que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso. Así para cada evento seleccionado, se calculan las tasas máximas de cambio (pendiente, m³/s/día) de las ramas ascendente y descendente de los hidrogramas, obteniéndose sendas series de tasas, de n/T elementos.



Tasas de cambio siguiendo los criterios expresados en la IPH (percentil 90)

El evento tipo es un hidrograma triangular, con ramas ascendente y descendente de pendientes igual al percentil 70 ó 90 de las tasas máximas de cambio, tal como recomienda la IPH. También se puede analizar el hidrograma triangular con las tasas de cambio máximas. El volumen del caudal utilizado durante el evento viene dado por el área de un triángulo cuya altura es la diferencia entre $Q_{gen.}$ y el Q ecológico, y cuyos lados forman con la base unos ángulos que tienen por tangentes las tasas de cambio arriba descritas.

Hay que tener en cuenta, que este método, al basarse en caudales medios diarios, propone unas tasas diarias, $m^3/s/día$.

3.3.1.1.2 Método de la Agencia Catalana del Agua (ACA)

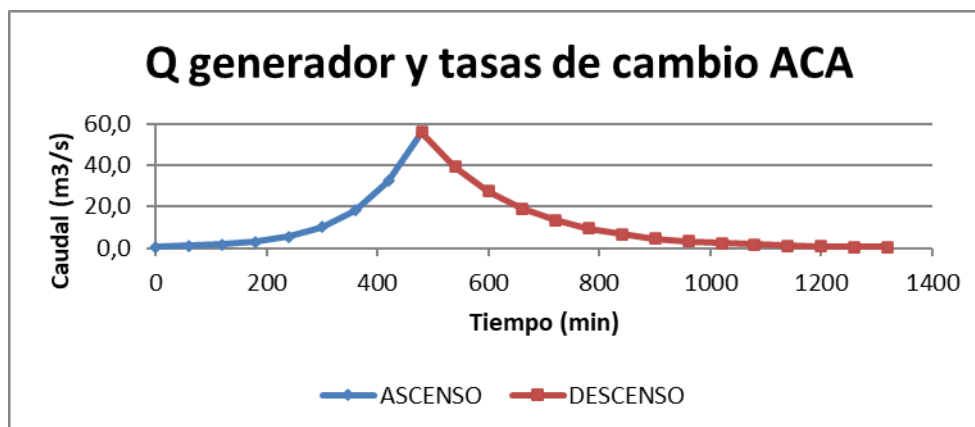
Por otra parte, para tener otra estima diferente de los caudales generadores, se pueden calcular para los mismos datos la propuesta de la ACA, establecida en el Plan de la Demarcación de las cuencas internas catalanas, que se define de la siguiente forma en el Plan Sectorial de caudales ecológicos:

La tasa de cambio de caudales (de crecimiento y de decrecimiento) condiciona el caudal máximo o mínimo, según se incremente o decrezca el caudal, que hay que dejar circular en cada intervalo de tiempo (una hora):

- Tasa de crecimiento inducido de caudal: C_{t+1} (máximo) = 1,8 Q_t
- Tasa de decrecimiento inducido de caudal: C_{t+1} (mínimo) = 0,7 Q_t

Donde T son intervalos de tiempo de 1 hora y Q_t es el caudal en el intervalo de una hora

Siguiendo este criterio, para los mismos datos de caudal generador y caudal ecológico se obtiene un hidrograma como el que se puede ver a continuación:



Tasas de cambio siguiendo el método propuesto por la Agencia Catalana del Agua (ACA)

3.3.1.1.3 Método de Galicia Costa

Para los caudales de turbinación se ha estipulado una tasa de cambio por minuto máxima del 3% del caudal máximo concedido (o de 250 L/s cada minuto), excepto en el momento de iniciar el funcionamiento después de una interrupción, en el que se podrá verter hasta un 20% del caudal concesional, con un máximo de 1500 L/s. Este método no se diferencia entre tasa de ascenso y tasa de descenso. Este método es muy sencillo de calcular y no se conoce cuál es el criterio utilizado para su definición.

En el caso de los caudales generadores, se ha utilizado el método de la IPH estricto para calcular las tasas de cambio asociadas a cada infraestructura.

3.3.1.1.4 Método del Caudal Básico de Mantenimiento QBM

El método del Caudal Básico de Mantenimiento, también conocido como QBM o método de Palau, además de establecer caudales mínimos establece también caudales de crecida y tasas de cambio. En la tesis doctoral de Jorge Alcázar, (2007) se recogen los principios del establecimiento de las tasas de cambio.

Para la aplicación de la tasa de cambio calculada, K, se debe generar un hidrograma de referencia donde se reflejen los cambios de caudal en el tiempo. Este hidrograma debe constar de una fase de ascenso y otra de descenso de caudales así como de un posterior ajuste de una ecuación logística que permita establecer, para cada intervalo deseado de caudales, los puntos intermedios de la curva. La aplicación de la K debe ser de forma gradual a lo largo del hidrograma y no en base a un valor constante.

La forma de este hidrograma o gradiente de cambio de caudales a adoptar puede ser de dos tipos: en escalones o en continuo. /.../ En el caso de la adopción de un hidrograma de tipo escalonado, se debe establecer una duración fija por escalón tal que combinada con la K aplicada a ese escalón, sea técnicamente operativa y dé un resultado que se ajuste a lo ambientalmente deseado.

Como valor de referencia se puede tomar una duración mínima de 5-10 minutos por escalón, aunque ciertamente esta duración es arbitraria, por lo que no hay ningún condicionante para modificarla siempre y cuando 110 no suponga cambios bruscos y la tasa de cambio resultante no sea mayor que la K máxima calculada.

Para las fases de ascenso y descenso se aplican las siguientes expresiones, de aplicación general, derivados de la Teoría Ecológica y, en particular, de la dinámica de poblaciones:

$$\text{Ascenso} \\ Q_t = \frac{Q_f}{1 + e^{a-rt}}$$

$$\text{Descenso} \\ Q_t = \frac{Q_f}{1 + e^{rt-a}}$$

Siendo:

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

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

Donde "Q_t" es el caudal en un tiempo intermedio t; b es un valor ajustable próximo a 1; y "Q₀ y Q_f" son respectivamente los caudales de partida y final al que se quiere llegar y e: base de los logaritmos neperianos.

Siguiendo estos criterios, se pueden establecer las tasas de cambio para el caudal generador, como en el ejemplo del embalse de La Requejada:

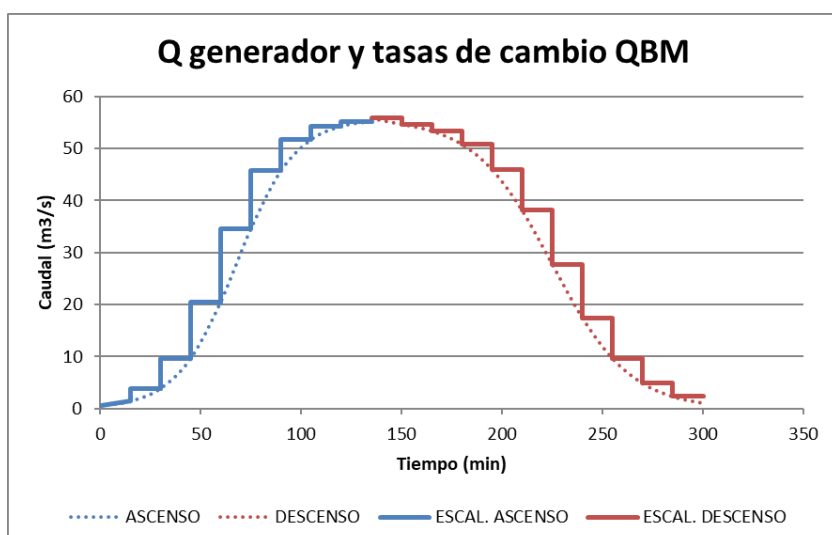


Figura 1. Tasas de cambio asociadas al caudal generador siguiendo el método propuesto para el caudal básico de mantenimiento

Este método tiene ventajas operacionales frente a otros, en primer lugar, que es válido tanto para los caudales de crecida como para la operación de las infraestructuras, además no es dependiente de los caudales diarios, lo que permite escalarlo dentro de una jornada de trabajo.

3.4 Reconocimiento en campo en caso de avenida natural o crecida controlada

Entre las tareas a realizar en la metodología se encuentran las visitas de campo, estas se realizarán cuando se efectúen sueltas controladas o se produzcan otro tipo de crecidas. Su objeto es confrontar en campo los valores teóricos de las componentes del régimen de caudales con sus efectos reales.

Para ello se han previsto dos tipos de visita, para las crecidas controladas en las que se hará un seguimiento más detallado, que puede necesitar de varias visitas y las de las avenidas naturales, en las que se usará un protocolo simplificado. Evidentemente, esta distinción no es absoluta y se decidirá de forma previa a la salida que protocolo se aplicará.

En el caso de crecidas controladas:

- Antes de la realización de la visita de campo, para realizar un seguimiento más eficaz, es necesario disponer de la siguiente información:
 - Magnitud de la avenida.
 - Horarios en los que se producirá la avenida (Comienzo, punto máximo y finalización).
 - Punto o tramo para la realización del seguimiento.
- **Primordialmente, se realizarán fotos, videos y anotaciones que permitan estimar la magnitud de la avenida.** Parte de esta información será enviada “in situ” para su publicación en la web de la confederación.
- En caso de que sea posible, se marcarán con pintura el material que pueda ser desplazado por la avenida. Como por ejemplo acúmulos de gravas dispuestos fuera del cauce.
- En caso de que sea factible, se dispondrán de marcas de nivel mediante el marcado de árboles o grandes bloques.
- Se tomarán periódicamente medidas “in situ” de temperatura, conductividad y oxígeno disuelto.
- Mediante un turbidímetro portátil se realizarán medidas de turbidez. Por razones de seguridad las mediciones se realizarán preferiblemente desde puentes. En caso de no ser posible, se realizarán desde la orilla, evitando en todo momento el ingreso al agua.
- Se tomarán muestras de agua para el análisis de Sólidos en Suspensión. De la misma manera, por razones de seguridad, la toma de muestras de agua se realizará preferiblemente desde puentes. En caso de no ser posible, se realizará desde la orilla, evitando en todo momento el ingreso al agua.
- Las muestras serán etiquetadas convenientemente y se mantendrán refrigeradas hasta su entrega en el Laboratorio de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

- Se observarán, fotografiarán y registrarán los arrastres de vegetación que pueda producir la avenida.

En el caso de avenidas naturales:

- **Primordialmente, se realizarán fotos, videos y anotaciones que permitan estimar la magnitud de la avenida.** Parte de esta información será enviada “in situ” para su publicación en la web de la confederación.
- Se observarán, fotografiarán y registrarán los arrastres de vegetación que pueda producir la avenida.
- Se tomarán medidas “in situ” de temperatura, conductividad y oxígeno disuelto.
- Mediante un turbidímetro portátil se realizarán medidas de turbidez periódicamente.

Ya en gabinete:

- Se recopilarán los datos de caudales registrados por la estación de aforo más cercana para correlacionarlos con las observaciones de campo.
- Se diseñará una ficha resumen con los resultados obtenidos.

Entre las visitas previstas se encuentra el reconocimiento del río Ciurana, aguas abajo de la presa del mismo nombre, donde se pretende realizar un estudio piloto del caudal generador según la propuesta efectuada por la Agencia Catalana del Agua (ACA).

El presente año está resultando anómalo por la sequía, no obstante, existe una previsión previa de crecidas controladas en el Bajo Ebro y en el embalse de Eugui, pero que se realizarán en función de cómo evolucione la situación hidrológica actual.

3.4.1 Contribución de los usuarios y otras personas interesadas

La propuesta metodológica no quiere quedarse en la mera aplicación de fórmulas, por muy justificadas científicamente que sean. También quiere adaptarse al territorio, escuchando a todas aquellas personas que tengan algo que decir. Por este motivo, se ha decidido realizar una serie de jornadas durante la ejecución de este estudio, donde se expongan todos los avances que se van realizando, de tal manera que los gestores, usuarios y otros interesados puedan expresar sus opiniones. Está en el ánimo de la Oficina de Planificación Hidrológica no sólo escuchar a todos, sino incorporar aquellas aportaciones que sean claves para armonizar los regímenes propuestos con las necesidades existentes y las limitaciones reales de cada infraestructura. Para ello se realizarán las siguientes jornadas técnicas y reuniones bilaterales:

Temática	Fecha
Planteamiento metodológico de los estudios para la determinación de caudales máximos, generadores y tasas de cambio de la demarcación del Ebro	18 de mayo de 2023
Reuniones técnicas para la presentación de la propuesta preliminar frente a los gestores de las infraestructuras	Mayo-Junio de 2024
Presentación de la propuesta definitiva de los regímenes de caudales máximos, generadores y tasas de cambio de la demarcación del Ebro	Agosto-Septiembre de 2024



Tarea 1: Recopilación de la información existente

Anexo 1: Recopilación internacional

**ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE
CAUDALES MÁXIMOS, GENERADORES Y
TASAS DE CAMBIO DE LA DEMARCACIÓN
DEL EBRO**

MAYO 2023

1. Recopilación normativa internacional

La recolección de información relativa a la normativa internacional referente a la gestión de los recursos hídricos, en concreto, la regulación de los caudales ecológicos se ha realizado, principalmente, a partir de las páginas oficiales de las entidades competentes de los diferentes países, así como de [FAOLEX](#), base de datos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) que constituye una de las colecciones más completas de legislación y políticas nacionales sobre alimentación, agricultura y gestión de los recursos naturales.

A continuación, se enumera la normativa internacional encontrada en dicha materia.

1.1 Europa

Los estados miembros de la Unión Europea tienen que elaborar los Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC) que se rigen por la [Directiva Marco del Agua \(DMA\)](#) de 2000. El papel es servir de instrumentos destinados a la gestión, protección y mejoramiento ambiental, social y económico de las aguas a nivel de la región hidrográfica, compatibilizando sus usos con su disponibilidad.

Los PHC se elaboran por ciclos de planificación, siendo revisados y actualizados cada seis años. Todos los Planes de Gestión de Regiones Hidrográficas se informan a la Comisión Europea (CE).

1.1.1 Francia

La política del agua en Francia se basa en cuatro leyes principales y se enmarca en la Directiva Marco europea sobre el Agua publicada en 2000.

- [Ley de 1964](#) (derogada) establece el principio de la gestión de las aguas por las grandes cuencas hidrográficas, las cuencas hidrográficas anexas a los principales ríos franceses.
- [La ley de 1992](#): organiza la planificación en el ámbito del agua. Dispone que se elabore un **Plan Director de Desarrollo y Gestión del Agua** (SDAGE) para cada una de las cuencas hidrográficas.
- La [ley de 2004](#) transpuso la DMA y orientando toda política de aguas hacia objetivos de resultados, entre los que destaca la consecución del buen estado de las aguas.
- La [ley de 2006 sobre el agua y los medios acuáticos](#) revisa los principios de la tarificación del agua, en particular para garantizar una mayor transparencia al consumidor. Introduce el principio del “derecho al agua” y prevé tener en cuenta el cambio climático en todas las decisiones relativas a la gestión del agua.

El territorio francés se divide en 12 cuencas: 7 continentales y 5 en el ultramar. La gestión de estas cuencas se basa en la gobernanza de un comité de cuenca y la solidaridad financiera organizada por una agencia de agua en Francia continental y por una oficina de agua en el extranjero (excepto Mayotte).

- 7 cuencas metropolitanas: Adour-Garonne, Artois-Picarde, Córcega, Loira-Bretaña, Rin-Mosa, Ródano-Mediterráneo, Sena-Normandía.
- 5 cuencas de ultramar: Guadalupe, Guyana, Martinica, Reunión y Mayotte.

Los SDAGE se aprobaron por primera vez en 1996 bajo la Ley del Agua de 1992, se actualizaron a fines de 2009 para cumplir con los requisitos de la Directiva Marco del Agua (DMA). Ahora incluyen los planes de gestión previstos por esta directiva. El SDAGE es desarrollado por el comité de cuenca, compuesto por miembros que representan a todos los actores de la gestión del agua. El SDAGE es aprobado por el prefecto coordinador de cuenca (autoridad administrativa). La secretaría técnica de cuenca es el órgano técnico encargado de elaborar los componentes del SDAGE.

La normativa de referencia son los artículos L.212-1 a L.212-2-3 y R. 212-1 a R. 212-25 del [Código de Medio Ambiente](#).

En los SDAGE de las diferentes cuencas no se encuentran referencias relativas a la gestión de los caudales ecológicos. Sin embargo, en lo relativo a **caudal mínimo ecológico** sí se recoge en el artículo L.214-18 del Código de Medio Ambiente.

También se ha publicado una [Circular de 07/05/11 relativa a la aplicación del artículo L. 214.18 del Código de Medio Ambiente sobre los caudales reservados a mantener en los cursos de agua](#) en la que se actualizan los principios generales de aplicación del artículo L.214-18 del Código de Medio Ambiente, relativo a la obligación legal de respetar el **caudal mínimo** para las obras en construcción agua, garantizando permanentemente la vida, circulación y reproducción de especies que viven en el curso de agua, y cálculo de módulos. Proporciona elementos de metodología para que los servicios comprendan mejor los supuestos especiales introducidos por la ley de aguas y medios acuáticos de 30 de diciembre de 2006.

1.1.2 Portugal

La [Agencia Portuguesa de Medio Ambiente](#) (APA) es la Autoridad Nacional del Agua que tiene competencias en la implementación de la [Ley de Aguas](#) que transpone la [Directiva Marco del Agua](#) (Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000) al ordenamiento nacional.

La APA constituye un sistema de planificación adaptado a las características de las aguas que integran las regiones hidrográficas, con base en la Ley de Aguas, y promueve la elaboración armonizada de programas especiales que tengan por objeto el litoral, la embalses y estuarios de agua pública.

El **Plan Nacional del Agua** (PNA) define la estrategia nacional para la gestión del agua. El PNA se elabora en el marco de la Ley de Aguas, establece las principales opciones de la política nacional de aguas y los principios y lineamientos que deben aplicar los planes de gestión de las demarcaciones hidrográficas y otros instrumentos de planificación hidrológica. El [primer Plan Nacional de Aguas](#) (PNA) fue aprobado por Decreto-Ley N° 112/2002, de 17 de abril. Este plan, elaborado dentro del marco legal definido por el Decreto-Ley N° 45/94, de 22 de febrero, tenía como objetivo implementar una gestión equilibrada y racional de los recursos hídricos

El [Plan Nacional del Agua vigente](#), aprobado en 2016 por un plazo máximo de 10 años, incluye un análisis de los principales problemas hídricos y un diagnóstico de la situación a escala nacional, así como la definición de objetivos, medidas y actuaciones.

Portugal dispone de ocho **Planes de Gestión de la Región Hidrográfica de Portugal** (PGRH, por sus siglas en portugués). Las **regiones hidrográficas** (RH) se componen por una o más cuencas hidrográficas y sus respectivas aguas costeras, es la principal unidad de planificación y gestión del agua. Estos planes establecen medidas con vistas a la consecución de los objetivos previstos en la Ley de Aguas, para la gestión de las aguas superficiales (interiores, de transición y costeras) y subterráneas.

La gestión de las regiones hidrográficas continentales se realiza sobre el terreno a través de servicios descentralizados en el territorio: las Administraciones de las Regiones Hidrográficas del Norte, Centro, Tajo y Oeste, Alentejo y Algarve. Las Regiones Hidrográficas son:

- Minho y Lima (RH1)
- Cávado, Ave y Leça (RH2)
- Douro (RH3)
- Vouga, Mondego y Lis (RH4A)
- Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5A)
- Sado e Mira (RH6)
- Guadiana (RH7)
- Ribeiras do Algarve (RH8)

Actualmente están en vigor los PGRH para el período 2016-2021, correspondientes al 2º ciclo de planificación.

Con respecto a los **regímenes de caudales ecológicos (RCE)**, los PGRH de las distintas regiones hidrográficas muestran tablas con la existencia o no de RCE en aprovechamientos hidroeléctricos y en presas con capacidad de regulación.

La [Guía Metodológica para la Definición de los Regímenes de Caudales Ecológicos de las Infraestructuras Hidráulicas en Portugal Continental](#) incluye un epígrafe sobre los criterios de decisión para la implementación del RCE en el que encontramos:

- Consideraciones generales
- Nuevos aprovechamientos: Los RCE generados mediante la aplicación de cualquiera de los métodos que integran el enfoque jerárquico (u otros) **no pueden ser inferiores al 10% del caudal medio anual**, con distribución mensual proporcional a la variación natural.
- Aprovechamientos hidráulicos existentes: Los RCE generados mediante la aplicación de cualquiera de los métodos incluidos en el enfoque jerárquico (u otros) **no pueden ser inferiores al 7% del caudal medio anual**, con una distribución mensual proporcional a la variación natural.

En esta guía destaca el apartado *4.5 Determinación de caudales de limpieza* (caudales que favorecen el arrastre de sustratos más finos y el control de la progresión de la vegetación en el río aguas abajo de la infraestructura hidráulica) donde se indica que estos caudales deberán verse en los aprovechamientos hidráulicos (AHs) en que los caudales resultantes de su funcionamiento no sean de magnitud o frecuencia suficiente para garantizar esta función o en ausencia de crecidas naturales.

Se plantean dos enfoques para su determinación: mediante métodos hidrológicos o mediante ecuaciones de transporte de sólidos. Estos planteamientos propuestos podrán adaptarse con la presentación de una justificación técnico-científica, en función de las condiciones del aprovechamiento hidroeléctrico y de los sectores fluviales en cuestión.

En su [Anexo I](#) incluye los Elementos necesarios para la definición de los regímenes de caudales ecológicos en el ámbito del agua. Este anexo identifica las principales características de los métodos que pueden utilizarse en el marco de la Guía Metodológica para la Definición de Regímenes de Caudales Ecológicos para Esquemas Hidráulicos en Portugal Continental, así como las respectivas hipótesis y requisitos de aplicación.

1.1.3 Reino Unido (UK)

La [Agencia de Medio Ambiente](#) es la autoridad competente en la gestión y control del agua en Inglaterra y algunos distritos de cuenca de Gales. Se encarga de revisar y actualizar los **Planes Hidrológicos de Cuenca** (PHC o RBMP por sus siglas en inglés) cada 6 años. La actualización de los PHC se ha realizado de conformidad con la [Orientación Ministerial](#) y el [Reglamento sobre el medio ambiente acuático \(Directiva marco del agua\) \(Inglaterra y Gales\) de 2017](#).

Los PHC se dividen en los diferentes distritos de cuenca fluvial (River Basin District, RBD). Hay 12 RBD en Inglaterra, Escocia y Gales. La Agencia del Medio Ambiente gestiona los 7 RBD en Inglaterra. 'Recursos Naturales de Gales' administra el RBD de Gales Occidental. 'Recursos Naturales de Gales' y la Agencia de Medio Ambiente gestionan conjuntamente los RBD de Dee y Severn. La **Agencia Escocesa de Protección del Medio Ambiente** gestiona el RBD de Escocia. La Agencia Escocesa de Protección Ambiental y la Agencia Ambiental administran conjuntamente Solway Tweed RBD.

En los PHC de los distintos distritos de cuenca fluvial no se hace referencia a los regímenes de caudales ecológicos.

La Agencia de Medio Ambiente (EA, por sus siglas en inglés) es responsable de conceder las licencias de extracción de agua y vela por que se conserve una parte del agua para satisfacer las necesidades del medio ambiente durante todo el año (Agency, 2022). Para ríos y lagos, el Reino Unido ha desarrollado umbrales de caudal específicos que fijan un límite de reducción admisible de los caudales naturales (esencialmente límites de extracción) según el tipo de río. La EA los aplica como **indicador de caudal ambiental** (EFI). El EFI se fija en un nivel que se considera que favorece el **buen estado ecológico** (GES, por sus siglas en inglés) con arreglo a la Directiva Marco del Agua (DMA). El EFI se utiliza en la clasificación hidrológica para identificar las masas de agua en las que la reducción de los caudales fluviales puede estar causando o contribuyendo al incumplimiento del buen estado ecológico. Esto se denomina evaluación del

cumplimiento de los caudales y se lleva a cabo para cada masa de agua superficial con caudales de agua dulce.

La EA evalúa la conformidad de los caudales en caudales bajos, teniendo en cuenta los niveles actuales de extracción. La evaluación del cumplimiento muestra dónde los caudales están por debajo del EFI e indica en qué medida. Esto se utiliza para identificar las zonas en las que los caudales pueden no estar en buen estado ecológico, investigar el impacto real sobre la ecología y determinar las medidas necesarias para alcanzar el GES. Los resultados de la conformidad de los caudales se presentan en cuatro bandas para indicar nuestro nivel de confianza en esa evaluación.

Caudal compatible con un "buen estado ecológico"	Caudal no admite un buen estado ecológico (confianza baja)	Caudal no admite un buen estado ecológico (confianza moderada)	Caudal no admite un buen estado ecológico (mayor confianza)
Caudal conforme con EFI	Banda no conforme 1	Banda de no conformidad 2	Banda de no conformidad 3

Tabla 1. Conformidad de los caudales de las cuencas fluviales y lacustres de Inglaterra (Fuente: Water levels and flows: challenges for the water environment, November 2022)

Esta información se ha encontrado a partir del documento "[Orientaciones: Planes Hidrológicos de Cuenca, actualización 2022: retos para el medio ambiente acuático](https://www.gov.uk/government/publications/water-levels-and-flows-challenges-for-the-water-environment)", en su capítulo 9 "**Cambios en los niveles y caudales de agua**". (<https://www.gov.uk/government/publications/water-levels-and-flows-challenges-for-the-water-environment>)

En Irlanda del Norte el reglamento sobre el agua de 2019 garantiza que la DMA (en su versión transpuesta) y los diversos actos legislativos de apoyo en materia de agua sigan funcionando después del 1 de enero de 2021, tras su salida de la Unión Europea. El Departamento de Agricultura, Medio Ambiente y Asuntos Rurales (DAERA) es responsable de elaborar un Plan de Gestión de Cuencas Fluviales.

1.1.4 Irlanda

La ley que transpone la DMA en Irlanda es el [Reglamento de las Comunidades Europeas \(Política de Aguas\) de 2003 \(SI No. 722 de 2003\)](#).

La Comisión Europea abrió un procedimiento de infracción contra Irlanda por no aplicar plenamente la DMA citando específicamente la ausencia de controles sobre las extracciones de agua. Las disposiciones legislativas vigentes en Irlanda en materia de captaciones de agua se recogen en la [Ley de Suministro de Agua de 1942](#) (modificada) y la [Ley de Administración Local \(Servicios Sanitarios\)](#) de 1964. Sin embargo, estas disposiciones sólo se refieren a la captación para el suministro público de agua por parte de las autoridades responsables de los servicios hídricos, y no regulan las captaciones privadas, comerciales o industriales. En 2018, se publicó el [Reglamento de las Comunidades Europeas \(Política de Aguas\) \(registro de extracciones\) S.I No 261 de 2018](#). Sin embargo, este reglamento sólo hace alusión al registro de captaciones y no a las condiciones para mantener un régimen de caudal ecológico. El reglamento señala que las captaciones inferiores a 25 m³ no requieren regulación.

La [Ley de Medio Ambiente Acuático \(captaciones y embalses asociados\) de 2022](#) deroga la Ley de Suministro de Agua de 1942 y determinadas disposiciones de la Ley de Administración Local (Servicios Sanitarios) de 1964 y de la Ley de 1977 sobre la Contaminación de las Aguas, y deroga la Ley de las Comunidades Europeas sobre la Política de Aguas (captaciones) de 2018 (S.I. No. 261 of 2018); modifica la Ley de Canales de 1986, la Ley de Navegación de Shannon de 1990 y la Ley de Planificación y Desarrollo de 2000. En dicha ley no se hace referencia a caudales mínimos ni máximos.

En el borrador del Plan Hidrológico Nacional para el periodo 2022-2027 del tercer ciclo de planificación tampoco se encuentra información relativa a los caudales ecológicos. (<https://www.gov.ie/en/consultation/2bda0-public-consultation-on-the-draft-river-basin-management-plan-for-ireland-2022-2027/>)

Hay un informe redactado por varios autores expertos, "[Extracción de agua: interacciones con la Directiva marco del agua y la Directiva de aguas subterráneas e implicaciones para el estado de las aguas de Irlanda](#)" que tiene un epígrafe dedicado al **caudal ambiental**.

1.1.5 Alemania

La [Ley de Recursos Hídricos](#) de 31 de julio de 2009 (BGBl. I p. 2585), que fue modificada por última vez por el artículo 1 de la ley del 4 de enero de 2023 (BGBl. 2023 I No. 5) constituye el núcleo de la ley de protección del agua y data originalmente de 1957. El agua en Alemania se gestiona por demarcaciones hidrográficas. Los distritos de cuenca fluvial son:

- Danubio
- Rin
- Mosa
- Ems
- Weser
- Elba
- Eider
- Oder
- SchleiTrave
- WarnowPeene

Las autoridades competentes de los estados federales coordinan los programas de medidas y Planes de Gestión del Agua. Se elabora un plan de gestión para cada distrito de cuenca fluvial.

Los Planes de Gestión del Agua no contemplan ninguna información relativa a los caudales máximos ni tampoco la Ley de Recursos Hídricos, pero sí relativa al **caudal mínimo de agua**. En el artículo 33: "*La construcción de represas en una masa de agua o la extracción o desviación de agua de una masa de agua solo se permite si se retiene la cantidad de descarga requerida para la masa de agua y otras masas de agua asociadas con ella a fin de alcanzar los objetivos del artículo 6, apartado 1 y de los artículos 27 a 31 (caudal mínimo de agua)*".

1.1.6 Austria

La legislación de aguas de Austria, [Ley de Derechos de Agua de 1959 modificada](#) (WRG 1959) constituye un marco legal integral para la evaluación de las diferentes condiciones de vida relevantes desde el punto de vista de la gestión del agua.

La legislación austriaca sigue las disposiciones de la DMA. Los planes de manejo del agua determinan cómo se puede lograr el buen estado para las masas de agua (**Plan Nacional de Manejo del Agua**). El Plan Nacional de Manejo Hídrico (PNG) es un instrumento de planificación para la protección, mejoramiento y uso sustentable de los cuerpos de agua. Con base en el análisis del estado actual de los cuerpos de agua, los efectos de las actividades humanas y el uso de los cuerpos de agua, se formulan objetivos para mantener y mejorar la condición del cuerpo de agua y se definen las medidas requeridas para lograr estos objetivos. El plan nacional de gestión del agua se elabora y publica cada seis años. La Agencia Federal del Medio Ambiente desarrolla las bases técnicas para la elaboración de planes nacionales de gestión del agua.

No se ha encontrado referencia a caudales máximos en el Plan Nacional de Manejo del Agua. Sin embargo, la [Ordenanza sobre Objetivos de Calidad para la Ecología de las Aguas Superficiales](#) (QZV Ökologie OG) contempla en su artículo 13 (2) el **caudal mínimo** ecológicamente necesario para garantizar la cantidad, la dinámica del caudal y la conexión con las aguas subterráneas. En el apartado 1 se establece que en el lecho del curso de agua haya un caudal base permanente tal que:

- a) Sea superior al valor del estiaje diario natural más bajo ($Q_{\min} \geq Q_{\text{estiaje natural}}$)
- b) En las aguas en las que el valor de la bajamar natural diaria más baja sea inferior a un tercio de la bajamar media anual natural. ($Q_{\min} \geq 1/3 Q_{\text{bajamar media anual}}$).

- c) En aguas en las que la descarga media sea inferior a 1 m³/s y el valor de la bajamar diaria más baja natural sea inferior a la mitad de la bajamar media anual natural. En cualquier caso, la mitad de la bajamar anual media natural ($Q_{\min} \geq \frac{1}{2} Q_{\text{bajamar media anual}}$) y en el hábitat natural de los peces alcanza valores de profundidad mínima y velocidad mínima del caudal especificados en el Anexo G. El Anexo G presenta una tabla con los **caudales ecológicos mínimos para los hábitats de los peces**.

1.1.7 Noruega

Noruega es miembro de la Asociación Europea de Libre Comercio (AELC). De acuerdo con el acuerdo del Espacio Económico Europeo (EEE), Noruega implementará completamente la DMA con un cronograma específico acordado. La DMA se transpuso a una "regulación del agua" nacional en Noruega, que entró en vigor a principios de 2007. En resumen, la implementación total en Noruega va un ciclo por detrás de los Estados miembros de la UE.

El [Reglamento del Agua](#), de 15 de diciembre de 2006 sobre un marco para la gestión del agua, que entró en vigor el 1 de enero de 2007, es la implementación noruega de la DMA.

En los Planes regionales de gestión del agua no se encuentra referencias a los caudales ecológicos. Sin embargo, en la [Ley de Cursos de Agua y Aguas Subterráneas \(Ley de Recursos Hídricos\)](#) en su artículo 10 sobre extracción de agua y **caudal mínimo** de agua, dice:

"Cuando se extraiga y desvíe agua que modifique el caudal de los ríos y arroyos con un caudal de agua seguro anual, deberá retenerse al menos el caudal normal de estiaje, a menos que se disponga otra cosa en esta sección. Lo mismo se aplica cuando el agua se retiene mediante represamiento.

En las licencias de captación, derivación o embalse, la estipulación de condiciones para el caudal mínimo de agua en ríos y arroyos se decidirá sobre la base de una evaluación específica. La decisión hará hincapié, entre otras cosas, en garantizar:

- a. *el nivel de las aguas,*
- b. *la importancia del curso de agua para la flora y la fauna,*
- c. *la calidad del agua,*
- d. *las masas agua subterránea.*

La autoridad del curso de agua podrá autorizar una excepción a las condiciones establecidas en los párrafos primero y segundo por un período más breve en casos concretos sin consecuencias para el medio ambiente. Las decisiones adoptadas en virtud del presente apartado no podrán ser objeto de recurso".

1.2 Otros países del mundo

1.2.1 Australia

El Gobierno australiano aprobó la [Ley del Agua en 2007](#) que constituye el marco legislativo para la gestión del agua. Se aprobó para ayudar a la Iniciativa Nacional del Agua que entró en vigor en 2004 como reforma del sector del agua en toda Australia. Es un acuerdo entre los gobiernos de todos los estados, territorios y la Commonwealth.

En 2019 se publicaron las [Directrices del caudal ambiental de los recursos hídricos \(No. 2\)](#) que constituyen un instrumento para la Ley del Agua de 2007 que establece los requisitos de caudal necesarios para mantener los ecosistemas acuáticos. Los caudales ambientales, a efectos de la Ley del Agua se especifican en una tabla del documento. Los componentes de los caudales ambientales son:

- **Caudal base:** Componente del caudal aportado en su mayor parte por las aguas subterráneas. Volumen mínimo de agua de agua que el arroyo necesita para mantener los peces, las plantas, los insectos y proteger la calidad del agua. Se determina cada mes para cada tramo de arroyo o río.

- **Pequeñas crecidas y crecidas mayores:** El objetivo de las pequeñas o grandes crecidas, llamadas **caudales de mantenimiento**, es desplazar los sedimentos y mantener la forma del cauce.
- **Caudales para fines especiales:** Son aquellos diseñados para una necesidad ecológica particular, por ejemplo, el caudal necesario para fomentar la reproducción de una especie de peces o proteger el hábitat de una rana. Actualmente, no se especifica ningún caudal para fines especiales en las Directrices.
- **Nivel de reducción del embalse:** Son los niveles en los que un embalse, lago o estanque debe mantenerse para que no se produzcan impactos en los macrófitos, los procesos de sedimentación y la calidad del agua.

Los **Planes de Cuenca** establecen la cantidad de agua que se puede tomar de la Cuenca cada año, dejando suficiente para los ríos, lagos, humedales, plantas y animales. Y **los Planes de Recursos Hídricos** son una parte integral de los Planes de Cuenca y establecen nuevas reglas sobre la cantidad de agua que se puede tomar de un sistema, asegurando que el desvío sostenible no se exceda con el tiempo.

1.2.2 Estados Unidos

En **Estados Unidos** tan solo los estados de Alaska, California, Hawái y Texas disponen de legislación específica sobre caudales (<https://www.freshwaterinflow.org/>), aunque no se ha podido comprobar si es específica a caudales máximos. Son destacables los experimentos de crecidas controladas realizados en el cañón del Colorado (Arizona) donde, en base a la evaluación de los impactos provocados por la presa de Glen Canyon, se decidió hacer una serie de ensayos de crecidas controladas, con la idea de imitar al máximo los procesos naturales y recrear la dinámica hidromorfológica anterior al embalse. Estos experimentos han sido realizados en 1996, 2004, 2008, 2012, 2013, 2014, 2016 y 2018. (<https://www.usgs.gov/centers/sbsc/about/gcmrc>).

1.2.3 Latinoamérica

Según distintos artículos científicos consultados sobre países referentes de Latinoamérica, se detecta que no disponen de una normativa asociada a los caudales ecológicos o que esta tiene un alcance limitado. Así, **Argentina** no dispone de legislación sobre caudales ecológicos⁷; la legislación de **Chile** contiene algunas disposiciones sobre caudales ambientales, sin embargo, los requisitos legales y políticos tienen un alcance limitado y han sido mal aplicados por las instituciones reguladoras⁸, su determinación se encuadra dentro de los estudios de impacto ambiental; **Perú** no tiene legislación de caudales ecológicos, aunque se pide su cálculo en los estudios de impacto ambiental; **Colombia** tiene legislado solo los caudales mínimos, aunque recientemente (2019) se elaboró documento con una propuesta ajustada de metodológica denominado "Metodología para la estimación de caudales ambientales en Colombia", donde se incluyen todos los componentes de los caudales ambientales. (<https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/caudal-ambiental/>). El fin de esta guía es ajustar la metodología a emplear en proyectos de licenciamiento ambiental, principalmente. El Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible adoptó la metodología para la estimación del caudal ambiental en el río Bogotá.

⁷ G. Aguilera & M. Pouilly 2012. Caudal ecológico: definiciones y adaptación a la región andina. Acta zoológica lilloana 56 (1-2): 15–30.

⁸ Elizabeth J. Macpherson* and Pia Weber Salazar. 2020. Towards a Holistic Environmental Flow Regime in Chile: Providing for Ecosystem Health and Indigenous Rights. En Transnational Environmental Law, 9:3 (2020), pp. 481–519



Tarea 1: Recopilación de la información existente

ANEXO 2: Documento de Orientación nº 31 “Caudales ecológicos en la aplicación de la Directiva Marco del Agua”

ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS, GENERADORES Y TASAS DE CAMBIO DE LA DEMARCACIÓN DEL EBRO

MAYO 2023

1. Guía europea de caudales ecológicos

En el presente apartado se sintetiza y se extrae el contenido considerado más relevante (para el objeto del presente estudio) del Documento de Orientación nº 31 "Caudales ecológicos en la aplicación de la Directiva Marco del Agua". Documento elaborado por el grupo de trabajo de caudales ecológico de la CIS (Estrategia común de Implantación) y aprobado por los Directores del Agua de la UE en noviembre de 2014.

Según se indica, "el documento pretende ser una guía para estimular una asimilación común de los caudales ecológicos con el fin de apoyar la consecución de los objetivos medioambientales de la Directiva Marco del Agua (DMA) que abordan las presiones que afectan al régimen hidrológico (por ejemplo, captaciones de aguas superficiales y subterráneas y embalses). Abarcando todo el proceso de implementación de la DMA, desarrolla los pasos en los que la consideración de los caudales ecológicos es críticamente necesaria.". Por lo que el documento no ofrece un protocolo completo para la aplicación de los caudales ecológicos en las masas de agua, ni pretende conducir a una aplicación uniforme de los caudales ecológicos.

Cabe destacar que la guía **no presenta información exclusiva sobre caudales máximos, generadores o tasas de cambio, aunque justifica la necesidad de su incorporación en el régimen de caudales ecológicos, por ser uno de sus principales componentes.**

El documento presenta inicialmente un resumen ejecutivo, que se desarrolla posteriormente en cuatro partes: Parte I: Introducción; Parte II: Conceptos; Parte III: Comprensión y recomendaciones para considerar los caudales ecológicos en la aplicación de la DMA; Parte IV: Otras medidas.

En la Parte II "Conceptos", se indica el porqué de la necesidad de determinar un régimen de crecidas. Respecto a los caudales máximos y generadores, se indica que "**el régimen de crecidas desempeña un papel fundamental en la estructura y el funcionamiento del ecosistema acuático (TNC, 2011a).** Los cambios a corto plazo en el caudal causados por las crecidas pueden proporcionar un respiro necesario a las estresantes condiciones de bajo caudal. Las pequeñas crecidas permiten a los peces y otros organismos móviles acceder a llanuras de inundación y hábitats como canales secundarios, remansos, fangales y humedales. Estas zonas pueden proporcionar importantes recursos alimentarios que permitan un crecimiento rápido, ofrecer refugio frente a las aguas de alta velocidad y baja temperatura del cauce principal, o utilizarse para el desove y la cría. Las grandes crecidas pueden desplazar cantidades significativas de sedimentos, madera y otras materias orgánicas, formar nuevos hábitats y mejorar las condiciones de calidad del agua tanto en el cauce principal como en las masas de agua de la llanura de inundación. El papel desempeñado por los sedimentos es bastante relevante debido a su interacción con los "elementos" biológicos e hidromorfológicos."

Así mismo, se indica en esta parte que el concepto de caudales ambientales, o ecológicos, ha evolucionado a lo largo del tiempo, existiendo diversas definiciones para ellos. Disponiendo en el contexto de la Orientaciones que el Grupo de Trabajo adoptó el término de "caudales ecológicos" con la siguiente definición de trabajo:

"Los caudales ecológicos se consideran en el contexto de la DMA como "un régimen hidrológico coherente con la consecución de los objetivos medioambientales de la DMA en las masas de agua superficiales naturales mencionadas en el apartado 1 del artículo 4"."

En este apartado 1 del artículo 4 de la DMA, los objetivos medioambientales se refieren a:

- el no deterioro del estado existente
- consecución de un buen estado ecológico en una masa de agua superficial natural cumplimiento de las normas y objetivos de las zonas protegidas, incluidas las designadas para la protección de hábitats y especies en las que el mantenimiento o la mejora del estado del agua sea un factor importante para su protección, incluidos los lugares Natura 2000 pertinentes designados en virtud de las Directivas sobre aves y hábitats.

La Parte III del documento de orientación supone el eje central de la guía, donde se abordan los siguientes aspectos:

- Apartado 3. Escenario (marco jurídico de la UE para los caudales ecológicos y Legislación y directrices sobre caudales ecológicos en los Estados miembros).
- Apartado 4. Caudales ecológicos en la evaluación del estado y los objetivos medioambientales.
- Apartado 5. Evaluación de las presiones e impactos hidrológicos.
- Apartado 6. Establecimiento de programas de seguimiento.
- Apartado 7. Definición de los caudales ecológicos y análisis de las diferencias con la situación actual.
- Apartado 8. Medidas para la consecución de caudales ecológicos.
- Apartado 9 Masas de agua muy modificadas y exenciones.
- Apartado 4. Participación pública.

Referente a los aspectos metodológicos en el cálculo de caudales ecológicos, destaca el apartado de *Definición de los caudales ecológicos y análisis de las diferencias con la situación actual* (apartado 7 de la Guía). Donde se indican tres categorías generales de metodologías: (1) Metodologías hidrológicas, (2) Metodologías hidráulico-habitacionales y (3) Metodologías holísticas.

Las metodologías hidrológicas se basan en el análisis de datos históricos (existentes o simulados) sobre caudales. Las metodologías hidráulico-habitacionales se basan en el hecho de que la variabilidad de los caudales actúa sobre la biota a través de una plantilla hidromorfológica, determinando, cuándo y durante cuánto tiempo, están disponibles los hábitats para las comunidades acuáticas y ribereñas (Petts, 2009). Las metodologías holísticas pretenden fusionar los requisitos de los caudales humanos y de los ecosistemas en un marco de evaluación sin fisuras (Arthington 1998). La filosofía de estos enfoques es que todos los componentes bióticos y abióticos principales constituyen el ecosistema que hay que gestionar y, en segundo lugar, que todo el espectro de caudales, y su variabilidad temporal y espacial, constituyen los caudales que hay que gestionar (Arthington 1998). Los marcos holísticos se denominan a veces enfoques de panel de expertos, en los que las normas de caudal ambiental se elaboran en un taller en el que un equipo multidisciplinar de expertos (áreas típicas como la hidrología, la geomorfología, la calidad del agua y diversas disciplinas de la ecología) examina los datos específicos del río.

El apartado presenta una comparativa de las tres categorías generales de las metodologías, comparativa que se transcribe literalmente a continuación:

Categoría de metodología	Uso general	Escala	Duración de la evaluación (meses)	Costes relativos	Frecuencia relativa de uso
Hidrológica	Examen de los datos históricos de caudal para encontrar los niveles de caudal que se dan de forma natural en un río y que pueden considerarse umbrales "seguros" para la extracción de caudal.	Ríos enteros, aplicable a las evaluaciones regionales	1-6	€	+++
Hidráulico - Hábitat	Examen del cambio en la cantidad de hábitat físico para un conjunto seleccionado de especies o comunidades objetivo en función de la descarga	Se aplica a escala de lugar de estudio/segmento fluvial y se amplía a toda la cuenca hidrográfica basándose en el supuesto de que las condiciones del lugar son "representativas"	6-18	€€	++

Tarea 1: Recopilación de la información existente

Categoría de metodología	Uso general	Escala	Duración de la evaluación (meses)	Costes relativos	Frecuencia relativa de uso
Holístico	Examen de los flujos en un taller de opinión de expertos que conduzca a la recomendación de caudales para todos los componentes del ecosistema fluvial, incluidos los usos sociales y recreativos	Ríos enteros, aplicable a escalas regionales o fluviales específicas	12-36	€€ - €€€	+(creciente)

Respecto a las metodologías empleadas por los estados miembros se indica en el apartado 3.2 que, " *tras examen de la legislación y de las metodologías desarrolladas no se han tenido en cuenta directamente los requisitos de la DMA sobre caudales ecológicos en términos de objetivos medioambientales y definición del estado ecológico. En consecuencia, **las metodologías no suelen tener en cuenta todos los componentes pertinentes del caudal (más allá del caudal mínimo, que es el más comúnmente contemplado)** que deben tenerse en cuenta en un régimen de caudales coherente con los objetivos medioambientales de las Directivas de la UE; la mayoría de ellas se refieren a valores hidrológicos estadísticos con una relación poco clara con los impactos biológicos; muy pocas elaboran características hidrológicas, morfológicas y biológicas naturales específicas del tipo de río.*"

Asimismo es destacable, referente a los aspectos metodológicos reflejados en la Guía, el Anexo B2 donde se indican las distintas metodologías para evaluar los caudales ecológicos de los Estados miembros de UE, anexo que se presenta íntegramente al final de este apartado.

Por otro lado, respecto a las Normativas relacionadas con los caudales ecológicos, en la Guía se presenta un Anexo (Anexo B1) donde se indica la legislación guías u otras regulaciones relacionadas con los caudales ecológicos de cada Estado Miembro de la EU, anexo que se considera puede ser de utilidad, aunque no se presenta en este apartado por tratarse, por norma general, de legislación genérica.

A continuación se transcribe íntegramente el resumen ejecutivo de la Guía, donde se define perfectamente el contenido y mensajes claves del documento.

Por último, cabe indicar que la **guía** presenta un carácter genérico, **no es un protocolo de aplicación** ni pretende que en toda Europa se aplique una metodología uniforme para el cálculo de los caudales ecológicos.

Resumen ejecutivo

Por qué esta guía

Basándose en una evaluación de los avances en la aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA) en su primer ciclo, el Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa subrayó la urgente necesidad de abordar mejor la extracción excesiva de agua, la segunda presión más común sobre el estado ecológico de la UE, y de reconocer que la calidad y la cantidad del agua están íntimamente relacionadas dentro del concepto de "buen estado". Para ello sería necesario un reconocimiento en toda la UE de los caudales ecológicos, es decir, la "cantidad de agua necesaria para que el ecosistema acuático siga prosperando y proporcionando los servicios de los que dependemos". Para lograrlo, el Blueprint propuso la elaboración de un documento de orientación en el marco de la estrategia común de aplicación (CIS) de la DMA que proporcione una definición comunitaria de los caudales ecológicos y una interpretación común de cómo deben calcularse, de modo que los caudales ecológicos puedan aplicarse en el próximo ciclo de planes hidrológicos de cuenca (RBMP) cuya adopción está prevista para finales de 2015.

Qué cubre (y qué no cubre) este documento

Este documento tiene por objeto apoyar una comprensión compartida de los caudales ecológicos (Caudales E) y las formas de utilizarlos en los planes hidrológicos de cuenca. A tal fin, abarca una definición de trabajo en el contexto de la DMA. En segundo lugar, ofrece una visión general de las etapas del ciclo de la DMA en las que los caudales ecológicos desempeñan un papel. En tercer lugar, este documento se basa en las enseñanzas extraídas de las prácticas que los Estados miembros ya llevan a cabo en este ámbito y ofrece información sobre metodologías, seguimiento, medidas y evaluación en relación con los caudales ecológicos.

Este documento no ofrece un protocolo completo para la aplicación de los caudales ecológicos en las masas de agua, ni pretende conducir a una aplicación uniforme de los caudales ecológicos. Se anima a los Estados miembros a hacer el mejor uso posible de la interpretación común de los caudales ecológicos en todas las etapas del proceso de la DMA. La aplicación de los caudales de agua europeos en lugares específicos también podría tener en cuenta otros aspectos, como la legislación nacional o regional, los valores medioambientales específicos o los servicios ecosistémicos, respetando al mismo tiempo las obligaciones derivadas de la DMA, la Directiva sobre hábitats y otras directivas de la UE, así como los compromisos internacionales (Patrimonio Mundial, Convenio de Ramsar, etc.).

Los caudales alternativos coherentes con el buen potencial ecológico o con las exenciones del artículo 4 de la DMA podrían tener en cuenta consideraciones de costes desproporcionados y actividades de desarrollo humano sostenible.

Necesidades de caudal de los ecosistemas acuáticos

Las disposiciones de la DMA reconocen el papel fundamental de la cantidad y la dinámica del agua para apoyar la calidad de los ecosistemas acuáticos y la consecución de los objetivos medioambientales.

Este vínculo ha recibido bastante atención en la literatura científica desarrollada a lo largo de las 3 últimas décadas. [Está bien documentado el reconocimiento de que el régimen hidrológico desempeña un papel primordial en la determinación de los hábitats físicos, que a su vez determinan la composición biótica y sustentan la producción y la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos.](#) Más allá de la mera consideración de los caudales mínimos en periodos secos, esta base de conocimientos subraya la necesidad de incluir todos los

componentes del caudal como objetivos operativos de la gestión cuantitativa del agua, desde los caudales base (incluidos los caudales bajos) hasta el régimen de crecidas (magnitud, frecuencia, duración, temporalidad y tasa de cambio).

Una definición de trabajo de los caudales ecológicos para la aplicación de la DMA

En el contexto de estas Orientaciones, el Grupo de Trabajo adoptó el término de "caudales ecológicos" con la siguiente definición de trabajo:

Los caudales ecológicos se consideran en el contexto de la DMA como "un régimen hidrológico coherente con la consecución de los objetivos medioambientales de la DMA en las masas de agua superficiales naturales mencionadas en el apartado 1 del artículo 4".

Considerando el apartado 1 del artículo 4 de la DMA, los objetivos medioambientales se refieren a:

- no deterioro de la situación actual
- consecución del buen estado ecológico en masas de agua superficiales naturales,
- cumplimiento de las normas y objetivos de las zonas protegidas, incluidas las designadas para la protección de hábitats y especies en las que el mantenimiento o la mejora del estado del agua es un factor importante para su protección, incluidos los lugares Natura 2000 pertinentes designados en virtud de las Directivas sobre aves y hábitats (BHD)⁹.

Cuando las masas de agua puedan designarse como masas de agua muy modificadas y/o puedan acogerse a una exención, los requisitos conexos en materia de régimen de caudales deberán derivarse teniendo en cuenta la viabilidad técnica y las repercusiones socioeconómicas sobre el uso que se vería afectado por la implantación de caudales ecológicos. El caudal que debe implantarse en estas masas de agua no está cubierto por la definición de trabajo de caudal ecológico y se hará referencia a él de forma diferenciada. Estos últimos caudales se abordan en cierta medida en el documento de orientación.

Recomendaciones para la aplicación de los caudales ecológicos en el proceso de la DMA

Estas recomendaciones consisten en la recopilación de todos los "mensajes clave" del documento de orientación que se enumeran al principio de los capítulos 3 a 8.

Se espera que los Estados miembros tengan en cuenta de forma gradual y progresiva las recomendaciones de estas orientaciones en su aplicación de la DMA. Este documento se elaboró con los Estados miembros el año anterior a la finalización de sus proyectos de planes hidrológicos de cuenca para el segundo ciclo. Se espera que los Estados miembros consideren en qué medida las recomendaciones de estas orientaciones pueden incluirse en estos planes de gestión basados en los resultados antes de su adopción en diciembre de 2015, y en las fases posteriores de planificación, como la revisión de los programas de seguimiento, en la puesta en marcha de sus programas de medidas para diciembre de 2018 y en la aplicación de medidas a lo largo de todo el segundo ciclo. Obviamente, la plena consideración de algunas

⁹ Directivas 92/43/EC y 79/409/EEC

recomendaciones (por ejemplo, sobre el análisis de Presiones e Impactos abordado en el capítulo 4) sólo será posible cuando se prepare el tercer ciclo.

Escenario político

- La Directiva Marco del Agua, así como las Directivas de Aves y Hábitats, fijan objetivos vinculantes en materia de protección y conservación de los ecosistemas dependientes del agua. Estos objetivos sólo pueden alcanzarse si se garantizan regímenes de caudales de apoyo. El establecimiento y mantenimiento de caudales ecológicos, en el sentido utilizado en este documento, es por tanto un elemento esencial para alcanzar esos objetivos. Por consiguiente, la consideración de los caudales ecológicos debe incluirse en los marcos nacionales, incluidos los vinculantes, según proceda, haciendo referencia clara a los distintos componentes del régimen de caudales naturales (y no sólo al caudal mínimo) y a la necesidad de vincular su definición a los requisitos biológicos de acuerdo con los objetivos de la DMA y la BHD; las exenciones deben justificarse de acuerdo con los de la DMA.

- Se recomienda que estos marcos incluyan medios para garantizar la aplicación efectiva de los caudales ecológicos, por ejemplo, vinculando la planificación estratégica para el desarrollo de los usos impactantes (por ejemplo, riego, energía hidroeléctrica, navegación, control de inundaciones...) y el proceso de concesión de permisos.

Los caudales ecológicos en la evaluación de la situación y los objetivos medioambientales

- [La evaluación del régimen hidrológico es un requisito explícito de la DMA a la hora de asignar un estado ecológico alto.](#)

- Para otras clases de estado, la clasificación del estado ecológico debe basarse en métodos biológicos sensibles a todas las presiones existentes, en particular a las hidrológicas. La clasificación de una masa de agua sometida a presiones hidrológicas significativas utilizando únicamente métodos biológicos que no sean adecuadamente sensibles a la alteración hidrológica, puede dar lugar a una sobrestimación del estado ecológico que no se ajustaría a la DMA. En caso de que aún no se disponga de tales métodos, los Estados miembros deberían desarrollarlos urgentemente, proporcionando métricas más específicamente sensibles a las presiones hidrológicas que tengan en cuenta la relación entre la hidrología, la morfología y los impactos biológicos. La evidencia de una alteración hidrológica grave debería poner en marcha un seguimiento adecuado (operativo o de investigación) y medidas para mitigar significativamente el impacto.

- La definición de caudal ecológico debería englobar todos los objetivos medioambientales del artículo 4(1) (no deterioro, consecución de los GES, cumplimiento de los requisitos específicos de las zonas protegidas cuando proceda).

- El mantenimiento del estado de conservación de los hábitats dependientes del agua y de las especies protegidas en virtud de las Directivas de Aves y de Hábitats puede requerir condiciones de caudal que sean diferentes o vayan más allá de las requeridas para la consecución del GES o el mantenimiento del HES. Estos requisitos específicos deben identificarse y tenerse en cuenta en la aplicación de las distintas etapas de la DMA.

Evaluación de las presiones e impactos hidrológicos

- El análisis con arreglo al artículo 5 debe evaluar detenidamente las presiones significativas que alteren el régimen de caudales y tengan como resultado un impacto sobre la biología que pueda contribuir al incumplimiento de los objetivos medioambientales.
- Los impactos ecológicos de las alteraciones hidrológicas y su importancia deben evaluarse en última instancia con indicadores biológicos contruidos a partir de datos de seguimiento que sean específicamente sensibles a las alteraciones hidrológicas.

- En caso de que las métricas biológicas disponibles no detecten las presiones hidrológicas, o no sean lo suficientemente específicas para aislar su contribución al impacto global sobre el estado, y dado que el régimen hidrológico está bien reconocido como un impulsor clave de la calidad de los ecosistemas fluviales, la evaluación del impacto significativo de la presión hidrológica puede basarse en gran medida en una evaluación de las alteraciones hidrológicas del caudal del río.
- En muchos casos, las alteraciones hidrológicas más graves ya pueden detectarse con algunas herramientas sencillas teniendo en cuenta el alcance de las presiones o la alteración espacio-temporal de los hábitats

Establecimiento de programas de seguimiento

- La definición adecuada y la aplicación eficiente de los caudales ecológicos requieren una cantidad significativa de datos hidrológicos derivados del seguimiento del régimen hidrológico; los enfoques de modelización pueden complementar en cierta medida la insuficiencia de datos de seguimiento.
- Los programas de seguimiento deben adaptarse para proporcionar una imagen mejorada de las alteraciones hidrológicas y su impacto en el hábitat/morfología y la biología y para apoyar eficazmente la consecución de caudales ecológicos.
- Debe recopilarse suficiente información hidrológica para poder estimar el régimen de caudal actual y su desviación del régimen de caudal natural.
- El desarrollo de la vigilancia hidrológica operativa debería estar relacionado con las presiones hidrológicas de las aguas superficiales y subterráneas y priorizarse allí donde sea probable que sea necesario actuar.
- El seguimiento integrado de los elementos de calidad hidrológica, morfológica y biológica permitirá estimar la eficacia de las acciones de restauración de los caudales en el marco del programa de medidas.
- El primer paso para abordar el cambio climático es saber cómo se ve afectada la hidrología y cómo evoluciona a largo plazo; la hidrología incluida en el seguimiento de vigilancia informará sobre la evolución a largo plazo del régimen natural de caudales.

Definir los caudales ecológicos y analizar las diferencias con la situación actual

- Para ser coherente con los objetivos medioambientales del apartado 1 del artículo 4, la definición de los caudales medios debe ser el resultado de un proceso técnico/científico sin tener en cuenta los impactos socioeconómicos asociados. Estos últimos impactos sólo deberían tenerse en cuenta a la hora de derivar el régimen de caudales que debe aplicarse en las HMWB, o en las masas de agua sujetas a una exención, en coherencia con las condiciones establecidas por la DMA.
- Se han desarrollado muchos métodos que pueden utilizarse para la definición de los caudales ecológicos, que difieren principalmente en cuanto a la integración de los aspectos biológicos, la escala, la complejidad y el volumen de los datos necesarios.
- La selección del método más adecuado depende de la disponibilidad de recursos (incluidos los datos de seguimiento) y de la gravedad de las presiones. Los métodos puramente hidrológicos pueden ser un enfoque razonable para abarcar toda la cuenca hidrográfica; será necesario un enfoque más detallado para adoptar medidas específicas, que pueden afectar a los usos socioeconómicos, a fin de garantizar su eficacia.
- En los casos en que es probable que las alteraciones hidrológicas impidan la consecución de los objetivos medioambientales, la evaluación del desfase entre el régimen de caudal actual y el caudal ecológico es un paso fundamental para fundamentar el diseño del programa de medidas.

Medidas para la consecución de caudales ecológicos

- Para alcanzar los objetivos medioambientales de la DMA en los ríos naturales, los programas de medidas (PdM) deben garantizar la protección de los caudales ecológicos y su restauración.
- Como parte de las medidas básicas, los controles de las captaciones de aguas superficiales y subterráneas, los embalses y otras actividades que afectan a la hidromorfología constituyen una base sólida para proteger y restablecer los caudales ecológicos, mediante el proceso de autorización y la revisión periódica de los permisos.
- Pueden ser necesarias muchas medidas complementarias para apoyar la consecución de los objetivos medioambientales de la DMA. En muchos casos, la combinación de medidas hidrológicas (garantizar el mantenimiento de los caudales ecológicos mediante todas las captaciones y la regulación) y morfológicas (mejorar los hábitats acuáticos para hacerlos menos vulnerables a las deficiencias de caudal) puede ser el enfoque más rentable.
- El PdM debe apoyar el desarrollo de conocimientos sobre las necesidades de caudal de los ecosistemas fluviales, tanto a gran escala como a nivel de emplazamiento, cuando proceda.
- Deberá llevarse a cabo una cuidadosa evaluación de los costes asociados a la aplicación para fundamentar la selección de las medidas o combinaciones de medidas más rentables.
- Estas últimas consideraciones no deben utilizarse para revisar los valores asociados a los caudales ecológicos que deben derivarse de un proceso técnico/científico; sin embargo, pueden ser útiles para informar sobre la posible designación de la masa de agua como HMWB o para solicitar una exención.

Masas de agua muy modificadas y excepciones

- Las alteraciones hidrológicas sin cambio sustancial de la morfología pueden justificar, en circunstancias muy específicas, la designación provisional de masas de agua muy modificadas (HMWB), que en general sólo debe basarse en la identificación de un cambio sustancial de la morfología.
- La definición del caudal ecológico y la identificación de las medidas necesarias para suministrarlo y alcanzar el GES deberían, en caso de alteración significativa de la hidrología, considerarse parte de la prueba de designación de HMWB y justificar que estas medidas no pueden adoptarse.
- En la definición del buen potencial ecológico debe llevarse a cabo una evaluación cuidadosa del régimen hidrológico que debe proporcionarse, junto con las medidas de mitigación para mejorar las condiciones del caudal; dependiendo de la naturaleza y la gravedad de la alteración morfológica, el régimen hidrológico coherente con el GEP puede estar muy cerca de los caudales ecológicos.
- Del mismo modo, una exención en virtud del apartado 5 del artículo 4 puede justificarse con una presión hidrológica significativa; esta justificación requerirá la definición del caudal ecológico y la determinación de las medidas necesarias para suministrarlo. [El régimen de caudales que se aplique en la masa de agua deberá ser lo más parecido posible al caudal ecológico](#). Cuando la hidrología no sea la causa de la exención, el régimen hidrológico deberá ser por defecto el caudal ecológico identificado para apoyar el GES, a menos que puedan utilizarse pruebas para establecer un régimen hidrológico diferente que apoye el objetivo alternativo.

Participación Pública

- Dada su importancia para la consecución de los objetivos medioambientales y las posibles repercusiones de las medidas asociadas a los usuarios, [los programas de participación son especialmente cruciales para la consecución de los caudales ecológicos.](#)
- El éxito dependerá en última instancia de una interacción eficaz con las partes interesadas, desde los políticos a los usuarios locales, y de la capacidad de comunicar la necesidad de caudales ecológicos entre aquellos cuyos intereses se ven afectados.
- La participación pública en los caudales europeos debe desarrollarse en todas las fases del proceso de planificación de la DMA, desde su diseño, plan de aplicación y seguimiento efectivo de la aplicación, garantizando que la participación continúe en los siguientes ciclos de planificación.

Anexo B.2. Metodologías para evaluar las deficiencias en los caudales ecológicos

Los Estados miembros de la UE están utilizando las siguientes aproximaciones metodológicas para evaluar las lagunas en los caudales ecológicos. Esta tabla ha sido elaborada por los miembros del GT, y complementada con la información disponible en King et al. (2008) y Benítez Sanz y Schmidt (2012).
Leyenda: Sí (Y), No (N).

País	Hidroológico	Hidráulico	Simulación de hábitat	Holístico	Comentarios
Austria (AT)	Y	Y	Y	Y	Una combinación - Requisitos hidrológicos/hidráulicos generales que pueden afinarse mediante la modelización de hábitats de forma voluntaria (caso por caso) teniendo en cuenta las funciones ecológicas específicas del régimen de caudales que son necesarias para alcanzar y mantener los GES para los elementos biológicos no sólo ahora sino también a largo plazo. Pero no se incluyen aspectos adicionales como la economía, ya que esto sólo es relevante para la definición del GEP y la aplicación de exenciones.
Bélgica (BE)	Y	N	Y	N	Tipo estático de método y modelización, que depende del tipo de los cursos de agua (navegables o no navegables). (Benitez Sanz y Schmidt, 2012)
Bulgaria (BG)	N	N	N	N	El proyecto previsto abordará la determinación de los caudales ambientales y desarrollará un caudal ambiental adecuado vinculado al buen estado ecológico y al tipo de río. El proyecto incluye actividades para la determinación del caudal mínimo ambiental conforme a los tipos establecidos de la categoría "río" y a los métodos incluidos en un documento de ámbito europeo "Caudales ambientales como herramienta para alcanzar los objetivos de la DMA (documento de debate)".
Chipre (CY)	Y ¹	N	N	N	1 Todos los métodos propuestos y utilizados en la RBMP son métodos hidrológicos (Límites de Desvío Sostenible, Umbral de Caudal Mínimo, Tasa de Extracción Máxima).
Chequia (CZ)	Y	N	Y	N	El enfoque hidrológico se basa en la capacidad del caudal residual mínimo para mantener el equilibrio hidrológico y biológico en el curso de agua. También debe haber otras captaciones y gestiones del agua por debajo (aguas abajo) de la captación. El método utilizado actualmente se basa principalmente en el enfoque hidrológico. El nuevo método que se está desarrollando como base del Reglamento del gobierno checo también se basa principalmente en la hidrología, pero también utiliza los resultados de la simulación del hábitat. La investigación de la simulación del hábitat se llevó a cabo en los cursos de agua checos y se centró en los peces. Se utilizó la metodología IFIM y el modelo PHABSIM como herramienta de modelización.
Alemania (DE)	Y	N	Y	N	Índices hidrológicos, opinión de expertos en casos específicos y una metodología de simulación de hábitats: CASIMIR (Computer Aided Simulation Model for Instream Flow Requirements). Para evaluar 100 caudales se ha utilizado la media de los caudales diarios mínimos de cada año, o una fracción de ellos, y la opinión de expertos. CASIMIR se ha aplicado a los invertebrados bentónicos como modelo de esfuerzo cortante bentónico, y se están desarrollando nuevos modelos para el hábitat de los peces y las comunidades vegetales de la zona ribereña (King et al., 2008).
Dinamarca (DK)	Y	N	N	N	Métodos hidrológicos: método de la mediana mínima (King et al., 2008)
Estonia (EE)					No hay información
Grecia (EL)	Y ¹	Y ²	Y ³	N	1 Los caudales ambientales se consideran aguas abajo de las pequeñas centrales hidroeléctricas mediante el uso de criterios hidrológicos. No existe una legislación específica que haga referencia a las evaluaciones de los caudales ecológicos o a los requisitos de los caudales internos para las comunidades acuáticas. 2, 3 Las metodologías hidráulicas y de hábitat se aplican a nivel científico (investigación). Los operadores de presas y los gestores del agua están obligados a ajustarse a las normas hidrológicas establecidas por la JMD 49828/2008.
España (ES)	Y	N	Y	Y	La mayoría de los casos en España combinan modelos hidráulicos y de hábitat, los casos 18, 19, 20, 23, 26 y 32 ilustran algunas metodologías españolas.
Finlandia (FI)	N	N	Y	N	En algunos casos: modelización del hábitat de los peces y otros hábitats basada en la relación entre los caudales, la profundidad del agua, el sustrato y la calidad y cantidad de hábitats disponibles (Benítez Sanz y Schmidt, 2012).

Tarea 1: Recopilación de la información existente

País	Hidroológico	Hidráulico	Simulación de hábitat	Holístico	Comentarios
Francia (FR)	Y ¹	Y ²	Y ³	N ⁴	<p>1 Los métodos hidrológicos se basan en el análisis de datos hidrológicos;</p> <p>2 Los métodos hidráulicos se basan en la relación entre los parámetros hidráulicos, la morfología del río y el valor del caudal mínimo;</p> <p>3 Los métodos de hábitat cruzan la evolución de las características hidráulicas con las preferencias biológicas de especies, etapas de la vida o grupos de especies. Estos tres métodos pueden combinarse.</p> <p>Se utilizan dos enfoques principales (http://www.irstea.fr/dynam):</p> <p>- Método EVHA (Evaluación del Hábitat), basado en la caracterización hidráulica y topográfica de una estación y en el uso de un modelo hidráulico para diferentes valores de la velocidad calculada y del nivel del agua a varias velocidades (Ginot et al., 1998);</p> <p>- Método ESTIMHAB, basado en los resultados de modelización del método EVHA. La evolución de las zonas de hábitat en función del caudal está directamente relacionada con la geometría del canal, la hidráulica y el valor del caudal medio. Este enfoque incluye los principios de las relaciones entre la hidráulica, la superficie mojada y la geometría de los cauces que, a su vez, depende de la hidrología (Souchon et al., 2003).</p> <p>4 Los métodos holísticos fijan los valores mínimos de caudal y ayudan a determinar los regímenes hidrológicos. En Francia, estos métodos se han desarrollado en los últimos 15 años. Pero la Ley de Aguas francesa sólo define un requisito de valor mínimo y no un conjunto de características del régimen hidrológico.</p> <p>Referencia : Circular de 5 de julio de 2011 en aplicación del artículo L. 214-18 del Código del Medio Ambiente francés sobre los caudales de los cursos de agua.</p>
Croacia (HR)	Y	N	N	N	En la mayoría de los casos se trata del caudal medio mínimo anual.
Hungria (HU)	Y ¹	Y ²	N	N	<p>1 Para el cálculo del caudal ecológico, el elemento de base son los valores mínimos de los caudales medios mensuales plurianuales (m³/s). Dado que en HU el mes crítico para la disponibilidad del volumen de agua superficial es agosto (este mes suele tener valores mínimos de caudal), la práctica de HU se centra en los caudales medios plurianuales sólo en los meses de agosto como los valores de caudal más críticos de los años. El valor mínimo de los caudales medios plurianuales mínimos en los meses de agosto es el valor base de los caudales ecológicos en m³/s. En HU, el 75% de este valor base significa el caudal ecológico actualmente en práctica. Es sólo un número simple y no es adecuado para la amplia variedad de vida del agua y los diferentes tipos de masas de agua.</p> <p>2 HU ha aplicado una solución técnica pragmática para las vías navegables de los canales fluviales pertinentes, ya que calcula el caudal de agua que es obligatorio mantener para garantizar el buen estado del lecho fluvial. El primer objetivo ha sido realmente garantizar el transporte y otros servicios relacionados con el agua, pero indirectamente también se han resuelto objetivos ecológicos en el caso de ríos que no se encuentran en condiciones naturales. La tasa de este flujo de agua se ha calculado como el 75% del flujo de agua mínimo registrado anteriormente en los ríos en cuestión.</p>
Islandia IS	Y	N	N	N	Sin comentarios.
Italia IT	Y	Y	Y	N	<p>Índices hidrológicos, incluido el Análisis de la Curva de Duración del Caudal (FDCA), caudales medios diarios y anuales; Metodología de Incremento del Caudal en el Cauce (IFIM); Método Tennant; Método del Perímetro Mojado; Método Singh, y Método Orth y Leonard para la regionalización; enfoque híbrido que utiliza la regionalización de Q95 sobre la base de la geología y la zona de captación.</p> <p>Los índices hidrológicos y la IFIM en aplicaciones de uso intensivo de recursos son los más comúnmente aplicados, pero la modelización MesoHABSIM se está extendiendo.</p> <p>Se están desarrollando las relaciones entre los cultivos en pie de las pesquerías y las variables medioambientales. (King et al., 2008)</p> <p>La Ley (D.M. 28 julio 2004) exige caudales instream mínimos, que se evalúan mediante una metodología determinada en la que se tienen en cuenta los aspectos hidromorfológicos y ecológicos.</p>
Lituania LT	Y	N	N	N	Sin comentarios.
Luxemburgo LU	Y	N	N	N	10% AMF o 30% MMF (Benitez Sanz <i>et al.</i> , 2012)
Letonia LV	Y	N	N	N	La metodología se basa en el régimen hidrológico y las características químicas de ríos de tipo específico (ríos de salmónidos / ciprinidos)
Malta MT	N	N	N	N	El concepto de caudal ecológico es completamente nuevo en las islas maltesas. No existen datos y, por tanto, ninguno de los métodos puede aplicarse por ahora. Malta está construyendo su base de información como primer paso de este largo proceso.

Tarea 1: Recopilación de la información existente

País	Hidroológico	Hidráulico	Simulación de hábitat	Holístico	Comentarios
P. Bajos NL	Y	Y	Y	N	Se han utilizado muchos métodos diferentes: modelo hidrológico, PAWN; enfoques alternativos, como HEP, un modelo general de puntuación de la idoneidad del hábitat, una clasificación de ecotipos (ECLAS), un modelo de hábitat físico (MORRES), un modelo de idoneidad del hábitat (EKOS) y un modelo de análisis de políticas y alternativas (AMOEBA); modelo tipo HSI; metodologías híbridas basadas en la simulación de hábitats, como un modelo de microhábitats basado en SIG. (King et al., 2008)
Polonia PL					Sin información
Portugal PT	Y	N	Y	N	Para las pequeñas presas de riego y las pequeñas centrales hidroeléctricas se recomienda la aplicación de un método nacional desarrollado para el Plan Hidrológico Nacional de 2003 (Alves y Bernardo, 2003). Este método define los caudales instantáneos para cada mes, considerando la curva de duración de caudales y las necesidades hídricas del ecosistema. Este método considera diferentes regímenes de Caudales Ecológicos para años normales/húmedos y para años secos, que se eligen considerando la precipitación en los meses anteriores, y un caudal de avenida, con un período de retorno de 2 años. El volumen total de agua para el mantenimiento del régimen Eflow es de alrededor del 15 al 18% de la escurrentia total anual. Para las grandes presas se sugieren métodos más complejos, como la Metodología del Incremento del Caudal en el Cauce (IFIM) (Bovee, 1982), pueden utilizarse otros métodos con base científica.
Rumania (RO)	Y	N	N	N	Define el vertido salubre (sanitario) como el vertido mínimo requerido en una sección transversal de un curso de agua, con el fin de garantizar las condiciones naturales de vida, para los ecosistemas acuáticos existentes. Además, el apartado 1 del artículo 64 de la Ley de Aguas establece que "las personas jurídicas con obras hidráulicas bajo su administración o explotación están obligadas [...] a asegurar la demanda de agua para la industria, la agricultura, la población y el caudal necesario para la protección del ecosistema acuático". Se ha considerado caudal medio el mínimo entre el Q95% (caudal medio mensual mínimo anual con un 95% de probabilidad de ocurrencia y el 10% del caudal medio plurianual (basándose en los estudios disponibles realizados por los institutos de investigación).
Suecia SE	Y	Y	Y	N	Comúnmente estático pero en algunos casos definido a partir de la migración de peces (Benitez Sanz y Schmidt, 2012). El Simulador de Sistemas Fluviales (RSS) es el más utilizado, pero se han realizado pocos estudios de caudales ambientales. (King et al., 2008)
Eslovenia SI	Y ¹	N	N	Y ²	1 El enfoque hidrológico se basa en la reversibilidad, la cantidad, la longitud y la duración de la extracción de agua y el tipo ecológico del curso de agua. 2 Podrá determinarse un valor inferior de caudales ecológicamente aceptables sobre la base de un enfoque holístico a petición del solicitante del derecho de agua. El estudio deberá evaluar las características hidromorfológicas, biológicas y químicas del tramo del río en el que se produce la derivación/extracción de agua. No obstante, si se utiliza un enfoque hidrológico u holístico, la determinación final de los caudales ecológicamente aceptables deberá incluir también las medidas de protección.
Eslovaquia SK	Y ¹	N	N	Y ²	El diseño de los valores de Eflow (el caudal residual mínimo) se basa en el enfoque hidrológico, con valores de entrada para el cálculo: caudal mínimo de 100 años, campo de probabilidad de los caudales medios mensuales (valor para un alto grado de garantía, normalmente el 98%), caudales M-día (caudal medio diario igual o superado en M días), Sin embargo, el valor final de diseño para cada perfil incluye también el enfoque holístico.
Reino Unido UK	Y ¹	N	Y ²	N	Inglatera 1 El cribado hidrológico se lleva a cabo comparando las estadísticas de caudal basadas en curvas de duración del caudal, con normas ajustadas para distintos tipos de ríos en función de la sensibilidad ecológica. 2 A continuación, se llevan a cabo investigaciones para determinar si el incumplimiento de las normas hidrológicas está teniendo un impacto negativo en la ecología. Si es así, se proponen medidas que reflejen el caudal ecológico propuesto. Esto puede incluir la consideración de la disponibilidad de hábitats.
Suiza CH					Sin información
Noruega NO	Y ¹	N	N	Y ²	1 No existe ningún método ni requisito técnico específico, debido a la gran variedad de cuencas fluviales y a los distintos fines (ecología, paisaje, recreo, etc.). No obstante, suelen utilizarse índices hidrológicos como punto de partida para la evaluación, por ejemplo Q95 verano/invierno o "caudal bajo común" (a menudo entre el 6 y el 12 % del caudal medio anual). 2 Métodos diferentes aplicados en cada caso, basados en una definición dinámica/enfoque global, incluidas regulaciones de prueba en algunos casos.



Tarea 1: Recopilación de la información existente

ANEXO 3: Recopilación de información de Normativas de los Planes Hidrológicos del 3^{er} Ciclo de Planificación

ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS, GENERADORES Y TASAS DE CAMBIO DE LA DEMARCACIÓN DEL EBRO

MAYO 2023

Contenido

1. Recopilación de información existente en los Planes Hidrológicos del 3^{er} Ciclo	1
1.1 Disposiciones generales del Real Decreto 35/2023	2
1.2 Demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental	4
1.2.1 Normativa	4
1.2.2 Anejo 5. “Caudales ecológicos”. Metodología	4
1.3 Demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental	6
1.3.1 Normativa	6
1.3.2 Anejo 5. “Caudales ecológicos”. Metodología	6
1.4 Demarcación hidrográfica del Miño-Sil	8
1.4.1 Normativa	8
1.4.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología	8
1.5 Demarcación hidrográfica del Duero	11
1.5.1 Normativa	11
1.5.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología	12
1.6 Demarcación hidrográfica del Tago	14
1.6.1 Normativa	14
1.6.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología	14
1.7 Demarcación hidrográfica del Guadiana	17
1.7.1 Normativa	17
1.7.2 Anejo 6. “Requerimientos de Caudales ecológicos”. Metodología	17
1.8 Demarcación hidrográfica del Guadalquivir	20
1.8.1 Normativa	20
1.8.2 Anejo 6. “Requerimientos de Caudales ecológicos”. Metodología	20
1.9 Demarcación hidrográfica del Segura	22
1.9.1 Normativa	22
1.9.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología	23
1.10 Demarcación hidrográfica del Júcar	25
1.10.1 Normativa	25
1.10.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología	26
1.11 Demarcación hidrográfica del Ebro	28
1.11.1 Normativa	28
1.11.2 Anejo 5. “Caudales ecológicos”. Metodología	28
1.12 Demarcación hidrográfica de Galicia-Costa	31
1.12.1 Normativa	31
1.12.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología	31

1.13 Demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas	34
1.13.1 Normativa.....	34
1.13.2 Anejo V. “Caudales ecológicos”. Metodología	34
1.14 Demarcación hidrográfica de Guadalete y Barbate	36
1.14.1 Normativa.....	36
1.14.2 Anejo V. “Caudales ecológicos”. Metodología	36
1.15 Demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras	38
1.15.1 Normativa.....	38
1.15.2 Anejo V. “Caudales ecológicos”. Metodología	38
1.16 Distrito de la cuenca fluvial de Cataluña.....	40
1.16.1 Normativa.....	40
1.16.2 Anejo 2. “Caudales de mantenimiento o ecológicos y requerimientos hídricos”. Metodología	41
1.17 Resumen de las Normativas.....	42
1.18 Resumen de los valores dispuestos en las distintas Normativas para el 3er Ciclo de Planificación.....	45

1. Recopilación de información existente en los Planes Hidrológicos del 3^{er} Ciclo

Entre la distinta información a recopilar adquiere una importancia relevante lo que se ha realizado en el territorio español en referencia a los caudales ecológicos máximos, caudales generadores y tasas de cambio. Por ello, se ha recopilado la información existente de todos los Organismos de Cuenca para el actual ciclo de Planificación Hidrológica 2022-2027 (3^{er} ciclo de Planificación).

Se ha recopilado, tanto para las Demarcaciones intercomunitarias como para las intracomunitarias, la **Normativa**, incluidos sus Apéndices, y la **Memoria y Anejo de caudales ecológicos** de todos los Planes Hidrológicos de cada una de ellas para el tercer ciclo. No obstante, algunas cuencas intracomunitarias no disponen de anejo de caudales ecológicos, ni de una normativa asociada a ellos, debido a las características de sus ámbitos. En concreto las siguientes: Islas Baleares, Gran Canaria, Fuerteventura, Lanzarote, Tenerife, La Palma, La Gomera y El Hierro. Aun así, para estos casos se ha obtenido la Normativa y Memoria de los planes para el tercer ciclo de planificación.

Respecto a la Normativa de las Demarcaciones intercomunitarias, cabe indicar que se encuentra dispuesta a través del *Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro*¹⁰.

El resto de información (Anejos y Memoria) se ha obtenido de la página web¹¹ dispuesta por el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO), donde se facilitan los enlaces a la documentación de los planes hidrológicos de tercer ciclo, tanto intercomunitarios como intracomunitarios.

En el presente apartado se presenta, por lo tanto, un resumen de la información recopilada para las Demarcaciones, así como, las disposiciones adicionales del *Real Decreto 35/2023* referidas a los caudales ecológicos.

Las Demarcaciones recogidas en estos apartados son:

- Intercomunitarias: Cantábrico Oriental, Cantábrico Occidental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro. No se incluyen los apartados para las demarcaciones de Ceuta y Melilla ya que, como se indica en su respectivas Normativas (artículo 8), *no se establecen caudales ecológicos ya que los regímenes de agua que discurren por sus cauces son muy similares a los naturales y no existen infraestructuras de regulación significativas o concesiones de aguas que puedan alterarlo*".
- Intracomunitarias: Galicia Costa, Cuencas Mediterráneas Andaluzas, Guadalete y Barbate, Tinto, Odiel y Piedras y, por último, Distrito cuenca fluvial de Cataluña. Al igual que en el caso anterior no se disponen apartados para las islas Baleares y Canarias ya que sus Normativas no presentan disposiciones referentes a caudales máximos, generadores y tasas de cambio.

La información que se recoge se divide en dos partes para cada demarcación. En la primera parte se indican los aspectos normativos referentes a los caudales objeto de estudio, mientras que en la segunda se indican los aspectos más relevantes de la metodológica empleada, obtenida de lo indicado en los anejos de caudales ecológicos del Plan.

Por último, en formato tabular, se presentan dos resúmenes de las Normativas de las distintas Confederaciones. En el primero se indican los artículos y apéndices normativos dispuestos por cada una de las Demarcaciones y componente del caudal ecológico a estudiar, mientras que en el segundo se presenta el rango de valores dispuestos para los caudales en los Apéndices Normativos.

¹⁰ https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-3511

¹¹ https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/PPHH_tercer_ciclo.aspx

1.1 Disposiciones generales del Real Decreto 35/2023

El Real Decreto 35/2023 consta de un artículo, nueve disposiciones adicionales, una disposición transitoria, una disposición derogatoria, cinco disposiciones finales y trece anexos. De estos trece anexos, los doce primeros incluyen el contenido normativo de los correspondientes planes hidrológicos, que son analizados en los apartados sucesivos.

De entre las nueve disposiciones adicionales destacan la quinta y la sexta, por estar estrechamente relacionadas con los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. La disposición adicional quinta afronta la especial problemática de garantizar la continuidad y seguridad del suministro eléctrico y la disposición adicional sexta regula las especiales circunstancias para la liberación de los caudales ecológicos generadores.

La **disposición adicional quinta** se denomina “**Cumplimiento de caudales ecológicos ante estados de emergencia o reposición del sistema eléctrico**”, presenta dos apartados, transcritos a continuación:

1. *No se entenderá como incumplimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque conlleve el deterioro temporal del estado de determinadas masas de agua, el caso en que **cualquiera de las componentes del citado régimen de caudales ecológicos** no pueda ser respetada como consecuencia de aplicar los Procedimientos de Operación establecidos para afrontar los estados de emergencia o de reposición del servicio, en virtud de la obligación de garantizar la continuidad y seguridad del suministro eléctrico señalada en el artículo 30 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del sector eléctrico.*

*Tampoco se considerará incumplimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque conlleve el deterioro temporal del estado de determinadas masas de agua, el hecho de que el valor establecido para cualquiera de las componentes del citado régimen no pueda ser garantizado por **desconexiones rápidas de la red que provoquen interrupciones del servicio** en el ámbito local, motivadas por disparos en ciertas centrales hidroeléctricas debidos a razones técnicas que sean excepcionales y no hayan podido preverse razonablemente.*

2. *Superado el episodio crítico al que alude el apartado anterior, y en el supuesto de que como consecuencia del mismo se hubiese ocasionado un deterioro temporal del estado de ciertas masas de agua, el organismo de cuenca, con la colaboración del Operador del Sistema y de las empresas generadoras involucradas en las unidades de generación hidráulica implicadas en el incidente, elaborará un informe justificativo de la aplicabilidad de esta exención atendiendo a los requisitos señalados en los artículos 38 y 39 ter del Reglamento de la Planificación Hidrológica, aprobado por el Real Decreto 907/2007, de 6 de julio.*

Por su parte, en la **disposición adicional sexta “Liberación artificial de la componente de caudales ecológicos: régimen de crecidas”** se establece lo siguiente:

1. *La liberación de los caudales ecológicos generadores o regímenes de crecida establecidos en los planes hidrológicos se realizará en el año hidrológico en que corresponda una vez transcurrido el periodo de retorno indicado en su definición, contado en años desde la anterior avenida de dimensión igual o superior a la requerida. Esta liberación **se realizará en el momento que indique la Comisión de Desembalse** buscando ocasionar los menores perjuicios socioeconómicos y las menores pérdidas de garantía y disponibilidad de agua.*
2. *Si la aportación de estas crecidas correspondiese en un momento en que el territorio implicado estuviese afectado por **sequía** prolongada o por alerta o emergencia por escasez, de acuerdo al diagnóstico mensual objetivo que ofrezca el plan especial de sequías aplicable, el Comité Permanente de la **Comisión de Desembalse**, al que se refiere el artículo 49 del Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por el Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, **podrá acordar el aplazamiento del momento de liberación de los caudales generadores hasta que se superen esas situaciones.***

Así mismo, referente a los caudales ecológicos es destacable la **Disposición transitoria única. Adaptación de órganos de desagüe.** que habilita un tiempo, necesario e imprescindible, para poder preparar los órganos de desagüe de las presas al objeto de que puedan liberar los regímenes de caudales ecológicos establecidos en los planes hidrológicos que se aprueban.

Por último, se debe mencionar lo que se indica en la disposición final tercera *Actualización de la instrucción de planificación hidrológica.*, ya que, aunque directamente no se menciona caudales máximos o generadores, se indica que en el plazo de dieciocho meses desde la entrada en vigor del Real Decreto, se aprobará una orden que actualice la Instrucción de Planificación Hidrológica (ARM/2656/2008). En particular, **la orden fijará los criterios técnicos y metodologías para la determinación de los caudales ecológicos** para el conjunto de las demarcaciones hidrográficas, con las especificidades que se requieran, y los criterios y el procedimiento para establecer una zonificación de las masas de agua subterránea como medida de protección, a efectos del otorgamiento de autorizaciones y concesiones

1.2 Demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 5. "Caudales ecológicos".

1.2.1 Normativa

1.2.1.1 Régimen de caudales máximos

En la Normativa de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico Oriental se han dispuesto los caudales máximos (*Apéndice 4.4. Distribución temporal de caudales máximos*) para tres (3) masas de agua, todas ellas situadas aguas abajo de embalses. Las masas de agua que presentan régimen de caudales máximos son: Río Ordunte II, Río Urumea II y río Endara (embalses de Ordunte, Añarbe y San Antón, respectivamente). La distribución temporal del caudal máximo es mensual, oscilando sus valores ente 1,8 m³/s, mínimo dispuesto en el río Endara, y 26 m³/s, valor máximo dispuesto para todos los meses en el río Urumea.

La Normativa presenta un artículo concreto sobre caudales máximos, *Artículo 12. Caudales máximos ecológicos*, donde se indica lo siguiente:

En el apéndice 4.4 se fijan los regímenes de caudales máximos ecológicos para algunas masas de agua de la categoría río con importantes estructuras de regulación.

La evacuación de caudales superiores a los indicados en el apéndice 4.4 por los órganos de desagüe de las presas no constituirá un incumplimiento del régimen de caudales máximos cuando en episodios de avenidas se actúe conforme a la Norma de Explotación correspondiente.

A lo largo del presente ciclo de planificación se realizará un estudio para identificar las masas de agua en las que la tasa de cambio pueda afectar al estado a fin de tomar medidas al efecto.

1.2.1.2 Régimen de caudales generadores

En la Normativa de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental no se han dispuesto los caudales generadores ni tasas de cambio.

1.2.2 Anejo 5. "Caudales ecológicos". Metodología

Se según se indica en el Anejo 5 del Plan para el tercer ciclo "*En este ciclo de planificación no se han establecido caudales máximos ecológicos en masas de agua adicionales a las ya determinadas en el ciclo anterior. Esto obedece a que el resto de las infraestructuras de regulación existentes en la demarcación son de muy pequeña entidad, con limitada capacidad de regulación y sus efectos aguas abajo son atenuados inmediatamente por la incorporación de cuencas adyacentes no reguladas. Por eso, no se ha considerado pertinente definir los caudales máximos o tasas de cambio en las masas de agua relacionadas.*"

En el ciclo anterior, la caracterización de caudales máximos se realizó analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Se consideró el percentil 90 de la serie de caudales medios mensuales para cada mes, con datos procedentes del modelo SIMPA. También se comparó dicho percentil con la serie de desembalses de la infraestructura correspondiente.

Este régimen de caudales máximos se verificó mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat para comprobar que se garantizase tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. Para ello, se

comprobó que al menos se mantuviese un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles, analizando también la conectividad del tramo en aquellos casos en los que el refugio fuese inferior al 70%.

Se utilizaron los valores de velocidades máximas limitantes propuestos por la propia IPH: alevines (0,5-1 m/s), juveniles (1,5-2 m/s) y adultos (<2,5 m/s).

Finalmente, si el valor del caudal obtenido a partir del percentil 90 fuera inadecuado en los modelos de hábitat, se optó por una reducción del caudal máximo hasta unos valores que permitiesen mantener el refugio y el caudal máximo estimado tuviese coherencia hidrológica.

Respecto a **las tasas de cambio** se indica en la memoria del Plan que: *“En el marco de los trabajos del tercer ciclo de planificación, se ha valorado y estudiado, así mismo, la posibilidad de introducir otros elementos del régimen de caudales ecológicos, como caudales máximos y tasas de cambio, en determinadas masas de agua. Los resultados del análisis concluyen que, a priori, en la demarcación no otros hay embalses y otros elementos de regulación significativos que puedan hacer necesario definir caudales máximos o tasas de cambio en las masas de agua relacionadas. No obstante, se plantea complementar las disposiciones normativas del plan hidrológico relativas a la prohibición general de las prácticas de hidropuntas o emboladas, con futuros estudios futuros orientados a la determinación de tasas de cambio aplicables a los aprovechamientos no consuntivos que lo precisen.*

Respecto a los **caudales generadores**, como ya se ha indicado estos caudales no están dispuestos en la Normativa del tercer ciclo. No obstante, según se indica en el Anejo V “Caudales ecológicos” de este Plan, en el primer ciclo de Planificación se definió la crecida asociada al caudal generador para algunos tramos muy regulados ubicados aguas abajo de importantes infraestructuras de regulación, basándose en el cálculo de los cuantiles de caudal máximo obtenidos mediante el análisis estadístico de las series de caudales máximos anuales procedentes de una selección de estaciones de aforos. Para esta demarcación se concluyó que el periodo de retorno correspondiente al caudal generador era de 2,5 años.

1.3 Demarcación hidrográfica del Cantábrico Occidental

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 5. “Caudales ecológicos”.

1.3.1 Normativa

1.3.1.1 Régimen de caudales máximos

En la Normativa de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental se han dispuesto los caudales máximos (*Apéndice 4.3. Distribución temporal de caudales máximos*) para cinco (5) masas de agua, todas ellas situadas aguas abajo de embalses. Las masas de agua que presentan régimen de caudales máximos son: Río Navia V, Río Narcea V, Río Nalón III, Río Nansa III, Río Besaya I (embalses de Arbón, La Barca, Rioseco, Palombera y Alsa-Torina, respectivamente). La distribución temporal del caudal máximo es mensual, oscilando sus valores ente 8 m³/s, mínimo dispuesto en el río Besaya I (embalse de Alsa-Torina), y 220 m³/s, valor máximo dispuesto para todos los meses en el río Navia V (embalse de Arbón).

La Normativa presenta un artículo concreto sobre caudales máximos, *Artículo 10. Caudales máximos ecológicos*, donde se indica lo siguiente:

“En el Apéndice 4.3 se fijan los regímenes de caudales máximos ecológicos para algunas masas de agua de la categoría río con importantes estructuras de regulación.

La evacuación de caudales superiores a los indicados en el Apéndice 4.3 por los órganos de desagüe de las presas no constituirá un incumplimiento del régimen de caudales máximos cuando en episodios de avenidas se actúe conforme a la Norma de Explotación aprobada.”

1.3.1.2 Régimen de caudales generadores

En la Normativa de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental no se han dispuesto los caudales generadores ni tasas de cambio.

1.3.2 Anejo 5. “Caudales ecológicos”. Metodología

Según se indica en la memoria del Plan Hidrológico para el tercer ciclo de Planificación, en el Plan 2009-2015 se acometieron estudios específicos para determinar los elementos que constituyen el régimen de caudales ecológicos según el apartado 3.4.1.3 y siguientes de la IPH. Dado que en determinados aspectos no se llegó a resultados suficientemente concluyentes, se optó por incorporar al Plan Hidrológico únicamente los caudales mínimos, los máximos y su distribución temporal, así como el régimen especial en situaciones de sequía, en todas las masas de agua río.

Se según se indica en esta misma Memoria del tercer ciclo *“La determinación de los caudales ecológicos máximos se basa en el estudio realizado en aquellas masas que habían sido previamente seleccionadas para realizar estudios de modelación del hábitat y que tienen importantes estructuras de regulación aguas arriba, y así se mantienen en este ciclo, son un total de 5 masas.”*

La metodología empleada para la determinación de los caudales máximos es idéntica a la descrita en el punto anterior para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental

Respecto a las tasas de cambio se indica que debido a que deberían definirse a una escala temporal horario, al ser escasos los datos que pueden usarse, será procedente iniciar una nueva etapa de estudios que permita definir estas tasas de cambio, especialmente en las masas río que se detecten como más conflictivas

Respecto a los caudales generadores, como ya se ha indicado no dispuestos en la Normativa, se indica en el Anejo V que para algunos de los tramos intercomunitarios muy regulados ubicados aguas abajo de importantes infraestructuras de regulación se ha definido en el primer ciclo de planificación la crecida asociada al caudal generador. Dicho caudal generador se aproxima al caudal de sección llena del cauce o nivel de "bankfull" o, en su defecto, a la Máxima Crecida Ordinaria (MCO). Como resultado de los trabajos realizados se han obtenido mapas correspondientes a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años.

Para la DHC Occidental se ha concluido que el periodo de retorno correspondiente al caudal generador es de 2,5 años.

1.4 Demarcación hidrográfica del Miño-Sil

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 4. “Caudales ecológicos”,

1.4.1 Normativa

1.4.1.1 Régimen de caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 5.6. Caudales ecológicos máximos. Caudales ecológicos máximos para nuevas concesiones o modificación de las existentes*. Se presentan caudales máximos trimestrales (Oct-Dic/Ene-Mar/Abr-Jun/Jul-Sep) para un total de 280 masas de agua. El rango de caudales máximos es muy variable, oscilando entre el mínimo 0,02 m³/s, establecidos para los meses estivales en la masa de agua ES386MAL000010 “Lago Guitiriz o San Xoan, y el valor máximo, 1486 m³/s, establecidos para los meses de octubre a diciembre en el embalse de Frieira (ES480MAR002120), ubicado en la parte baja del río Miño.

La normativa presenta el Artículo 10. Caudales máximos, caudales generadores y tasas de cambio, donde en diferentes apartados se tratan a estos componentes de manera conjunta:

1. Las tasas de cambio en situaciones ordinarias, los caudales generadores y los caudales máximos para las nuevas concesiones y autorizaciones o de la modificación de las existentes vienen reflejados en el apéndice 5 y en el anejo 4 de la Memoria. En cualquier caso, las tasas de cambio, los caudales generadores y los caudales máximos se implantarán en aquellos puntos en los que sea necesario para la protección o mejora del estado o potencial ecológico de las masas de agua afectadas o prevenir su deterioro, de manera que no comprometan la garantía del suministro eléctrico ni la seguridad del sistema eléctrico nacional.

2. Las tasas de cambio, caudales generadores y caudales máximos señalados anteriormente, podrán no fijarse en solicitudes de centrales reversibles entre embalses existentes, siempre y cuando no impidan los usos preexistentes.

1.4.1.2 Régimen de caudales de crecida

Los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 5.2. Caudales generadores*. Donde en forma de tabla se recoge para 280 masas de agua las siguientes variables: Caudal generador, periodo de retorno y mes de máxima frecuencia. Al igual que en el caso de los caudales máximos los valores indicados en este apéndice son muy variable, oscilando entre el mínimo 0,2 m³/s establecido para el Lago Guitiriz y el máximo 3.635 m³/s dispuestos para el embalse de Frieira.

Como se ha comentado anteriormente la Normativa presenta el Artículo 10 de manera conjunta con los caudales máximos y tasas de cambio.

De la misma manera, las tasas de cambio se presentan para 280 masas de agua en el *Apéndice 5.4. Tasas de cambio en situaciones ordinarias. Tasas de cambio de la serie de caudales diarios y para episodios de avenida a aplicar a nuevas concesiones o modificaciones de las existentes*.

1.4.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología

1.4.2.1 Régimen de caudales máximos

Para el estudio de los caudales máximos se siguen las instrucciones de la IPH, y la metodología expuesta en el apartado “3.2 Distribución temporal de caudales máximos” de la “Guía para la determinación del régimen de caudales” (GEC-ver. 0.7). Siguiendo las Instrucciones de la IPH, el régimen máximo de caudales máximos se verificará mediante el uso de los modelos hidrobiológicos, 1D ó 2D, de forma que

se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad longitudinal del tramo. De esta forma se han calculado el valor de los mismos en ocho embalses que se recogen en el anexo 4.10 y en la tabla 1 del anexo 4.4.

Para el resto de masas, para el cálculo de los caudales máximos se han empleado las series de aportaciones del modelo precipitación-escorrentía SIMPA para el periodo 1980-2012. Las series se han organizado por meses, de tal forma que la propuesta de caudales máximos se ha realizado según las recomendaciones de la IPH, aplicando el percentil 90 sobre la curva de caudales mensuales clasificados.

El procedimiento seguido para los ocho embalses indicados antes, consta de una caracterización hidrológica del tramo, y de una posterior verificación de que dicho percentil (caudal) garantiza el refugio para los estadios/especies más restrictivos y también la conectividad de tramo, mediante los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat.

La caracterización hidrológica del tramo se han calculado los percentiles 90% de los meses correspondientes a los años húmedos, para la serie (1940/41-2005/06) de caudales a régimen natural, con el fin de validar un caudal suficientemente alto que permita incluir y validar todos los inferiores a éste.

Para ello, se ha hecho un estudio de años húmedos, según lo que considera el IAHRIS como tal, son aquellos años que tengan un percentil superior al 75% de la media anual, sobre la serie larga de caudales. Posteriormente, se ha calculado el P90 con los datos mensuales de los años húmedos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos buscados a cualquier caudal menor.

Asimismo, Para evaluar el hábitat de refugio se han considerado los intervalos limitantes de velocidades máximas propuestos en la IPH:

Estadio	Velocidad limitante	Profundidad limitante
Alevín	< 1,0	> 0,10
Juvenil	< 2,0	> 0,15
Adulto	< 2,5	> 0,25

Se realiza el estudio de conectividad mediante el empleo de simulaciones 1D y 2D.

Por último, y tras las reuniones mantenida con la dirección del Estudio, se llega a la conclusión de realizar la distribución mensual de caudales máximos, limitados por la biología de las especies consideradas en los tramos para la verificación, para ello se han considerado los periodos biológicamente significativos dispuestos en la “*Guía para la Determinación del Régimen de Caudales ecológicos*”.

1.4.2.2 Régimen de caudales de crecida. Metodología

Métodos empleados:

Frecuencia: Para determinar la periodicidad de los eventos generadores, se parte de la regionalización dispuesta por el CEDEX en la que asigna un coeficiente de variación (Cv) según la zona estudiada.

Magnitud del caudal generador viene dada por el caudal de avenida asociado al periodo de retorno determinado anteriormente, T_{MCO} . Para determinar este caudal de avenida se ajusta la ley de frecuencia de la serie de caudales máximos anuales a una función de distribución tipo Gumbel, habitual en este tipo de estudios.

Número de eventos a estudiar: de entre todos los episodios de avenida identificados a lo largo de los n años de la serie de caudales, se han analizado los n/T eventos con caudal punta más próximo al Q_{gen}

Tasas de cambios: para cada evento seleccionado, se hallan las tasas máximas de cambio (pendiente, $m^3/s/día$) de las ramas ascendente y descendente de los hidrogramas, obteniéndose sendas series de tasas, de n/T elementos.

Duración del evento: Viene definida por las tasas de ascenso y descenso, desde el caudal base hasta el Q_{gen} y viceversa.

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

1.5 Demarcación hidrográfica del Duero

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Duero, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 4. "Caudales ecológicos",

1.5.1 Normativa

1.5.1.1 Régimen de caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el Apéndice 5.3. Régimen de caudales ecológicos máximos, en m^3/s . Se presentan caudales máximos para los meses de verano (julio, agosto y septiembre) en 14 embalses: Villameca, Casares, Porma, Cervera, Requejada, Castrovido, Aguilar, Cuerda del Pozo, Pontón Alto. Las Cogotas, Úzquiza, Linares del Arroyo, Vencías y Águeda. El rango de caudales máximos es variable, oscilando entre el mínimo $3,2 m^3/s$, establecidos en el embalse de Cervera, y el valor máximo, $35,0 m^3/s$, para el embalse de Porma.

Destaca el siguiente artículo:

Art 9.3. Los caudales máximos no serán de aplicación en casos de gestión de avenidas, comprendiendo este período tanto los desembalses preventivos para minimizar sus efectos, los propios de gestión del episodio de las crecidas, así como los realizados para volver a las condiciones de resguardo correspondientes; así como también en un contexto de avería o maniobras en los órganos de desagüe, cuando lo aconseje la seguridad de la presa o cuando lo exijan motivos de salubridad pública. En estos casos el explotador de la presa presentará un informe que justifique esta excepción con posterioridad a la maniobra.

1.5.1.2 Régimen de caudales de crecida

Para los embalses en los que se ha definido el régimen de caudales de crecida, las tasas de cambio medias serán valores recomendables en situaciones de operación normal de dichas infraestructuras.

Los caudales generadores se presentan en el Apéndice 5.4. Caudales ecológicos de crecida. Donde en forma de tabla se recoge para 21 embalses las siguientes variables: Magnitud, Frecuencia del periodo de retorno, tasas de cambio medias (en ascenso y descenso, duración del hidrograma, duración de las fases de ascenso y descenso, estacionalidad y volumen del hidrograma. Al igual que en el caso de los caudales máximos los valores indicados en este apéndice son muy variables, oscilando entre el mínimo $7,0 m^3/s$ establecido en el embalse de Casares y el máximo $373 m^3/s$ dispuesto para los embalses de Santa Teresa y Almendra.

En la Normativa se presenta el siguiente artículo para los caudales de crecida

Art 9.4. Caudales ecológicos de crecida:

- a) *El régimen de caudales ecológicos de crecida se fija en el apéndice 5.4.*
- b) *El régimen establecido tiene carácter orientativo y se realizará, siempre que sea posible, dentro del ciclo de planificación correspondiente, mediante las avenidas naturales que transcurran a través de las infraestructuras hidráulicas existentes, o en su caso, mediante la realización de una crecida artificial de acuerdo con las características fijadas en el apéndice 5.4.*
- c) *La realización de una maniobra de crecida artificial se llevará a cabo verificando todos los protocolos de seguridad en situaciones de avenida. Para llevar a cabo la operación, los titulares de las infraestructuras pondrán en conocimiento del Organismo de cuenca la fecha en la que procederá a efectuarla y las condiciones de la misma.*
- d) *La maniobra de generación de un caudal de crecida será documentada y el titular de la infraestructura remitirá al Organismo de cuenca la información precisa para que éste elabore un informe específico sobre el desarrollo de la misma y los valores alcanzados durante la maniobra, así como sobre los efectos de la crecida sobre las condiciones del cauce, lecho y hábitats ligados al tramo afectado.*

1.5.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología

1.5.2.1 Régimen de caudales máximos

El régimen de caudales máximos se ha realizado en aquellas masas situadas aguas abajo de los embalses incluidos en la “situación 1, gestión de embalses”. En total 14 embalses, de los cuales dos necesitan estudios específicos (estos embalses quedan reflejados en la Normativa del Plan).

El caudal máximo se ha caracterizado con diversas series de caudal:

- Percentil 90 de la serie diaria de caudal.
- Percentil 90 de la serie mensual de caudal.
- Percentil 90 de la serie diaria de caudal de los años húmedos.
- Percentil 90 de la serie mensual de caudal de los años húmedos.

Se consideran años húmedos cuando su aportación supera al 75% de los años considerados (percentil superior al 75% de la media anual). Para ello se ha utilizado la serie larga (1940/41-2017/18).

Posteriormente, se ha calculado el P90 con los datos mensuales de los años húmedos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos buscados a cualquier caudal menor. Se ha considerado periodo húmedo el comprendido entre los meses de noviembre a mayo y el periodo seco el comprendido entre los meses de junio a octubre.

Siguiendo las instrucciones de la IPH, se ha verificado mediante el uso del modelo hidrobiológicos 2D tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad longitudinal del tramo. En la mayoría de los casos los alevines no se han tenido en cuenta, ya que los tramos de río estudiados no eran aptos para su desarrollo.

Con los valores de caudales máximos (criterio P90 periodo seco/húmedo) en su versión publicada en el plan 2016-2021, se valoraron tanto *el no empeoramiento en cuanto a alteración hidrológica* como las afecciones a las demandas que implicaría su implantación efectiva. La alteración hidrológica en los meses de verano se reduciría en unas 44 masas de agua y este hecho contribuiría de forma positiva al cumplimiento de los objetivos medioambientales de esas masas. Por el contrario, se producirían unas importantes afecciones a las demandas agrarias (las UDAs que incumplen criterios de garantía aumentarían en más del 20% y el déficit medio anual se multiplicaría por más de tres) e hidroeléctricas. Teniendo en cuenta lo anterior, en el Esquema de Temas Importantes del ciclo III, se establece un régimen de caudales máximos menos ambicioso, que minimiza la afección a las demandas y que también disminuye el número de masas en las que no empeora su alteración hidrológica. Estos valores tendrán que ser objeto de una implantación adaptativa.

Además, en cuanto al uso hidroeléctrico, se ha tenido en cuenta el informe de la Dirección General de Operación de Red Eléctrica Española de 15 de diciembre de 2014 titulado: “Importancia del equipo generador hidroeléctrico en la operación del sistema eléctrico” que considera que hay determinados aprovechamientos hidroeléctricos en la demarcación hidrográfica del Duero que son claves en la garantía de suministro de la red.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establecen caudales máximos en los meses de verano compatibles con el uso del agua de las demandas actuales, para los 14 embalses: Villameca, Casares, Porma, Cervera, Requejada, Castrovido, Aguilar, Cuerda del Pozo, Pontón Alto. Las Cogotas, Úzquiza, Linares del Arroyo, Vencías y Águeda.

1.5.2.2 Régimen de caudales de crecida. Metodología

En este tercer ciclo se mantiene el régimen de caudales de crecida considerados en el II ciclo de planificación, para las masas de agua contempladas en la “situación 1. Gestión de embalses”. En total 20 embalses incluidos en la Normativa del Plan.

La CHD realizó la propuesta de régimen teniendo en cuenta el método de Palau para el diseño del hidrograma y haciendo nuevos cálculos del valor del caudal generador. Esta propuesta fue llevada al proceso de concertación de caudales.

Métodos empleados:

Magnitud del caudal generador.

- Ajuste de Gumbel a partir de datos procedentes de SIMPA.
- Ajuste de Gumbel a partir de aportaciones reales a embalse.
- Cálculo de caudales máximos según el CEDEX.

La **frecuencia** del caudal generador se caracterizó por su inversa, el periodo de retorno. Estos se estimaron a partir del coeficiente de variación por regiones definido por el CEDEX.

Las **tasas de cambio y la duración** se obtuvieron de la aplicación del método del Caudal Básico de Mantenimiento (QBM) o método de Palau.

La **estacionalidad** tuvo en cuenta los meses del año con más probabilidad de que se produzcan las crecidas de forma natural.

No obstante, Hay que tener en cuenta que el régimen de crecidas propuesto es indicativo y está pendiente de validación. Según la IPH en su art. 3.4.1.4.1.4.

Se pretende, sin embargo, validar el régimen de crecidas de cada una de las infraestructuras mediante pruebas in situ, con operaciones controladas y en total coordinación con los gestores de las presas y la Comisaría de Aguas. Por lo tanto, las propuestas del régimen de caudales de crecida son provisionales en tanto en cuanto no se validen con una maniobra.

Para los embalses en los que se ha definido el régimen de caudales de crecida, las tasas de cambio medias serán valores recomendables en situaciones de operación normal de dichas infraestructuras.

1.6 Demarcación hidrográfica del Tajo

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Tajo, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 4. “Caudales ecológicos”.

1.6.1 Normativa

1.6.1.1 Régimen de caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 5.4. Caudales máximos*. Se presentan caudales máximos para tres periodos, meses de octubre a enero (3 meses), meses de febrero a abril (3 meses) y de mayo a septiembre (5 meses) en 17 embalses: Almoguera, Molino de Chinchá, La Tajera, Beleña, Alcorlo, Pálmaces, El Vado, El Pardo, Manzanares el Real, El Atazar, Picadas, Castrejón, Rosarito, Borbollón, Rivera de Gata, Valdeobispo y Jerte.

Los valores que presentan los caudales máximos dispuestos varían desde los 3,8 m³/s dispuestos para los meses más secos (Mayo a Septiembre en el embalse de Pálmaces hasta el valor máximo, 411 m³/s, dispuestos en el embalse de Castrejón para los meses húmedos, embalse situado en el tramo medio del río Tajo.

Para los embalses antes mencionados se presenta en el *Apéndice 5.5. Tasas de cambio*, las tasas ascendentes y descendentes máximas para cada uno de ellos.

La Normativa presenta en el *Artículo 11 Normas complementarias para el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos* en su apartado 5 la siguiente disposición:

5. La evacuación por los órganos de desagüe de las presas, de caudales superiores a los caudales máximos indicados en el apéndice 5.4, o que superen las tasas de cambio señaladas en el apéndice 5.5, no constituirá un fallo del régimen de caudales ecológicos, en un contexto de gestión de avenidas, comprendiendo este período, tanto los desembalses preventivos para minimizar sus efectos, los propios de gestión del episodio de crecidas, como los realizados para volver a las condiciones de resguardo correspondientes, de forma que se permita cumplir que el máximo caudal desaguado sea inferior al máximo caudal de entrada estimado en dicho período, de acuerdo con lo establecido en el artículo 10.4 del RDPH.

1.6.1.2 Caudales generadores

Los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 5.3. Caudales generadores*. Donde en forma de tabla se recoge para 15 embalses las siguientes variables: Caudal generador propuesto, pendiente máxima en ascenso y descenso, y tiempo mínimo de ascenso y descenso de la crecida.

Los valores de los caudales generadores oscilan entre los 15,8 m³/s, dispuestos en el embalse de El Pardo, y los 682,9 m³/s dispuestos en el embalse de Castrejón.

En la Normativa no se presenta un artículo concreto para los caudales de crecida, aunque en el *Artículo 10. Regímenes de caudales ecológicos*, en el apartado 4 se indica que “*El régimen de caudales generadores previsto en el apéndice 5.3, se conseguirá mediante la liberación de una crecida artificial, siempre que no se hubiera alcanzado en los cinco años anteriores mediante las avenidas naturales.*”

1.6.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología

1.6.2.1 Régimen de caudales máximos

Se consideran vigentes los estudios de caracterización del régimen de caudales ecológicos en el primer ciclo de Planificación.

La metodología empleada en estos estudios se resume a continuación:

En los estudios de la capacidad natatoria de la ictiofauna se decidió tomar como limitantes de la velocidad máxima las propuestas en la IPH (Alevines: 0.5 - 1 m/s - Juveniles: 1.5 - 2 m/s - Adultos <2,5 m/s).

El procedimiento para la determinación de los caudales máximos consta de una caracterización hidrológica del tramo y de una posterior verificación de que dicho percentil garantiza el refugio para los estadios/especies más restrictivos, y también la conectividad de tramo, mediante los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat.

Para la caracterización hidrológica de la distribución temporal de caudales máximos se calcularon los percentiles 90 de los meses correspondientes a los años húmedos, para la serie larga (1940/41-2005/06) de caudales en régimen natural. Se consideran años húmedos aquellos años que tengan un percentil superior al 75% de la media anual, sobre la serie larga de caudales. Posteriormente, se calculó el percentil 90 con los datos mensuales de los años húmedos, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos buscados para cualquier caudal menor.

Para la evaluación del hábitat de refugio se consideraron los intervalos limitantes de velocidad máxima propuestos en la IPH.

Estadio	Velocidad limitante	Profundidad limitante
Alevín	< 1,0	> 0,10
Juvenil	< 2,0	> 0,15
Adulto	< 2,5	> 0,25

Se hizo un análisis espacial de la distribución de velocidades, analizando el porcentaje de superficie mojada del tramo que supera las velocidades óptimas, con los programas de simulación en una y en dos dimensiones.

Para aquellos caudales que proporcionan un refugio por debajo del 70% de la superficie mojada del tramo, se tendrá que comprobar que existe conectividad en el tramo.

La evaluación de la conectividad se recurrió a programas de simulación. Se ha considerado, por estudios consultados previamente, que, a partir de un valor de 0,25 m de anchura de paso, ya existe conectividad de hábitats en el tramo.

1.6.2.2 Régimen de caudales de crecida. Metodología

La IPH define el caudal generador como “el caudal que regula la estructura geomorfológica de los cauces, evitando su progresivo estrechamiento y colonización”. La implantación de esta componente del régimen de caudales ecológicos obligará a los gestores de las presas donde se implante a desaguar estos caudales, con una periodicidad mínima de una vez cada cinco años, en el supuesto de que en ese período no se hubieran producido de manera natural. En el primer ciclo de planificación se realizó su caracterización conforme a lo establecido en el punto “3.4.1.4.1.4. Caracterización del régimen de crecidas” de la IPH. Fueron unos valores de referencia, pero su aplicación práctica es compleja, pues hay que asegurarse de que estos valores no produzcan daños en el dominio público hidráulico, en infraestructuras o en las actividades humanas establecidas. De ahí que, en la IPH, se indique que “*La validación del caudal generador deberá llevarse a cabo mediante la modelación hidráulica del cauce, en un tramo representativo de su estructura y funcionalidad, teniendo en cuenta, para ello, los estudios de inundabilidad del tramo afectado, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras*”.

Siguiendo estas instrucciones, en este ciclo de planificación se ha realizado una recopilación de estos estudios de inundabilidad específicos de cada tramo, incluidos los valores de referencia que figuran en las normas de explotación de las presas de la cuenca. **Se ha adoptado como valor de la magnitud del caudal generador el menor valor de caudal punta de los estudios disponibles en cada tramo.** De esta forma, los valores aquí planteados aportan una cierta garantía de que no producirán afecciones significativas en las infraestructuras o en las actividades antrópicas relacionadas con el medio fluvial o

realizadas en sus inmediaciones. Lo que no es óbice para que su implantación sea realizada con la máxima cautela, vigilando que no se producen daños. También debe evaluarse la efectividad del régimen de caudales generadores propuesto.

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

1.7 Demarcación hidrográfica del Guadiana

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 6. "Requerimientos de caudales ecológicos".

1.7.1 Normativa

1.7.1.1 Régimen de caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 6.4. Régimen de caudales ecológicos máximos en masas estratégicas reguladas*. Se presentan caudales máximos para dos periodos, meses de noviembre a marzo (5 meses) y de abril a octubre (7 meses) en 31 masas de agua.

Los valores que presentan los caudales máximos dispuestos varían desde los 0,1 m³/s dispuestos en la masa de agua Río San Juan II y 526,5 m³/s dispuestos en la parte baja del río Guadiana antes de su ingreso a Portugal (masa de agua Río Guadiana VI).

Así mismo, en el *Apéndice 5. Tasas máximas de cambio. Masas de agua estratégicas reguladas*, se presentan tasas horarias ascendentes y descendentes, para 38 masas y tasas de cambio del caudal medio diario para cinco masas más.

La Normativa no presenta un artículo concreto para los caudales máximos, aunque en el *Artículo 10. Cumplimiento del régimen de caudales ecológicos* se indica en el Apartado 4 lo siguiente "Los caudales máximos cumplen con el régimen de caudales ecológicos cuando no se superan los valores establecidos en el apéndice 6."

1.7.1.2 Caudales generadores

Los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 6.6. Caudales generadores. Masas de agua estratégicas reguladas*. Donde se recoge para 32 masas de agua, y sus embalses asociados, las siguientes variables: Caudal generador propuesto, tasa de ascenso, tasa de descenso y tiempos de ascenso y descenso.

Los valores de los caudales generadores oscilan entre los 0,1 m³/s, dispuestos en el embalse de Cornalbo, y los 119,1 m³/s dispuestos en el embalse de Orellana.

En la Normativa no se presenta un artículo concreto para los caudales de crecida, aunque en el *Artículo 9. Regímenes de caudales ecológicos*, en el apartado 4 se indica que "Los caudales generadores deberán aplicarse antes del inicio de la campaña de riego del quinto año hidrológico en los que no se hayan presentado de forma natural y no hayan sido calificados como de sequía prolongada. Como mínimo los caudales generadores deberán alcanzarse en tres horas, mantenerse una hora y descender en seis horas".

1.7.2 Anejo 6. "Requerimientos de Caudales ecológicos". Metodología

Los caudales máximos, generadores y tasas de cambio se establecen asociados a la infraestructura o elemento causante de la alteración del régimen hidrológico.

1.7.2.1 Caudales máximos

Estos caudales se estiman, tal como se indica en el apartado 3.4.1.4.1.2. De la IPH para dos periodos: un período húmedo que en la cuenca del Guadiana se ha establecido entre los meses de noviembre a marzo y un período seco que corresponde al resto de los meses del año es decir, de abril a octubre ambos inclusive.

Se han calculado los percentiles de excedencia mensuales de la serie de caudales mensuales en régimen natural del SIMPA, para este estudio hidrológico se han utilizado las series del modelo comprendidas entre el año hidrológico 1969-70 al 1994-95., sobre esta serie se han calculado los percentiles 60, 70, 80 y el percentil 90 de la serie de caudales medios mensuales.

La validez de estos valores en términos de caudales de excedencia, se ha verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, para comprobar que se garantiza tanto una adecuada existencia de refugio como el mantenimiento de la conectividad del tramo para los estadios piscícolas. Como criterio general, se ha seguido el de la Instrucción (IPH), considerando que en el tramo debe mantenerse al menos, un 50% de la superficie mojada como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles.

Se ha utilizado como criterio para fijar el caudal máximo en el periodo seco, la velocidad limitante para alevines (1 m/s), y para el periodo húmedo la velocidad limitante para juveniles (2 m/s). Se emplea el módulo "Fish passage" del programa Rhyhabsim.

Sobre la serie de porcentajes obtenidos con los caudales máximos de excedencia citados, se observa si se supera el 50 % de superficie de velocidad crítica en la velocidad de 1 m/s, que se asigna a periodo seco y de 2 m/s que se asigna a húmedo.

La definición de los dos periodos considerados se realiza en función de las emergencias de alevines de las especies de peces condicionantes en cada tramo, como en estos ríos se trata de ciprínidos, se considera que el periodo seco va desde mayo-octubre y el húmedo de noviembre a abril. Para determinar estos caudales máximos, se han analizado los resultados de la simulación hidráulica, considerando máximos admisibles los que circulando por el río no produzcan efectos ambientales indeseables, por ejemplo, al superar la capacidad de resistencia a las fuerzas de arrastre de la fauna o de la vegetación acuática enraizada.

Por otra parte, la estimación de las tasas máximas de cambio se ha realizado a partir del análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de 20 años de duración. Se han calculado las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se ha contado con una estimación media de las tasas de cambio. En ningún caso el percentil es superior al 90%, tanto en ascenso como en descenso.

1.7.2.2 Caracterización del régimen de crecidas. Caudal generador. Metodología

Según se indica en el Apéndice 2 del Anejo 6, los caudales generadores se han estimado en función de las metodologías siguientes:

- Media móvil máxima de 30 días, se toma el valor medio de la serie generada al calcular la serie de medias móviles máximas de 30 días con las series de caudales diarios naturales.
- Caudal máximo con periodo de retorno $T = 26$, se analiza la serie de caudales naturales máximos y se ajusta a una función de distribución, normalmente Gumbel, obteniéndose el caudal que en la serie ocupa la posición correspondiente a un periodo de retorno de 2 años. Para ríos temporales según la Guía de caudales ecológicos, se calcula para un periodo de retorno de 5 años ("*cuando no exista información detallada de la magnitud de la crecida bankfull, seleccionar la crecida con periodo de retorno 5 años como crecida formativa*").
- Caudal máximo con periodo de retorno $T = 1,5$, se analiza la serie de caudales naturales máximos y se ajusta a una función de distribución, normalmente Gumbel, obteniéndose el caudal que en la serie ocupa la posición correspondiente a un periodo de retorno de 1,5 años.
- Caudal generador del lecho (CEDEX, 2003), se calcula a partir de la serie de caudales máximos anuales, el periodo de retorno es el que se indica en este trabajo para cada hidro-región. De las metodologías analizadas, se propone para su empleo en la demarcación del Guadiana la media móvil de 30 días.

De las metodologías analizadas, se propone para su empleo en la demarcación del Guadiana la media móvil de 30 días.

Tarea 1: Recopilación de la información existente

El valor obtenido por el método hidrológico de la media móvil de 30 días es comparado con los caudales de desagüe de fondo y de tomas de turbinación de las presas de los distintos embalses, para que no se establezcan caudales generadores que sean superiores a los que puedan ser desaguados por las presas en situación ordinaria.

Por último, se limitan los caudales generadores a los máximos caudales que en cada tramo no generan afecciones a bienes y personas, de forma que se asegure que en la implantación del caudal generador en los distintos embalses no se produzcan inundaciones.

1.8 Demarcación hidrográfica del Guadalquivir

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 4. “Restricciones al uso, prioridades de usos y asignación de recursos”.

1.8.1 Normativa

1.8.1.1 Régimen de caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 6.1.2. Régimen de caudales máximos de las masas de agua superficial de la categoría río, aguas abajo de embalse, en condiciones ordinarias*. Se presentan caudales máximos para tres periodos, meses de noviembre a abril (6 meses), freza, y de mayo a octubre (6 meses) en 14 embalses: Negratín, Guadalmena, La Fernandina, Guadalén, Canales, Quéntar, El Pintado, Cala, Quiebrajano, Martín Gonzalo, Huesna, Melonares, La Minilla y Gergal

Los valores que presentan los caudales máximos dispuestos varían desde los 1,7 m³/s dispuestos en el embalse Martín Gonzalo (para la época de freza y meses de mayo a octubre), y 84,4 m³/s dispuestos en el embalse de Gergal.

La Normativa no presenta un artículo concreto para los caudales máximos, aunque en el *Artículo 11. Otros componentes del régimen de caudales ecológicos*, se indica en el Apartado 1 lo siguiente: “Los caudales máximos cumplen con el régimen de caudales ecológicos cuando no se superan los valores establecidos en el apéndice 6 (tabla 6.1.2).”

1.8.1.2 Caudales generadores

En la Normativa de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir no se han dispuesto caudales generadores ni tasas de cambio.

En el *Artículo 11. Otros componentes del régimen de caudales ecológicos*, se indica en su Apartado 2, “A lo largo del presente ciclo de planificación se realizará un estudio para identificar las masas de agua en las que la tasa de cambio o la frecuencia del caudal generador puedan ser causa del mal estado a fin de tomar medidas al efecto.”

1.8.2 Anejo 6. “Requerimientos de Caudales ecológicos”. Metodología

1.8.2.1 Caudales máximos

La evaluación de la distribución de caudales máximos para cada hidroperíodo (seco y húmedo) se llevó a cabo en aquellos tramos fluviales ubicados aguas debajo de infraestructuras e regulación con un volumen de embalse superior a 1 hm³. De éstas, se seleccionaron 31 tramos para el cálculo de la distribución estacional de caudales ecológicos máximos por métodos hidrológicos, 10 de los cuales se verificaron mediante, modelos ecohidráulicos.

El procedimiento seguido fue:

- Caracterización inicial de los caudales máximos analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales, en régimen natural de al menos 20 años de duración.
- Selección de umbral máximo del percentil del 90% en consonancia a lo establecido en la IPH y en ocasiones un valor inferior a juicio de experto.
- Verificación mediante el uso de modelos hidráulicos asociados a modelos de hábitat, de modo que se verifique la existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles. A falta de estudios,

se consideró la necesidad de asegurar al menos un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles.

- En los casos en los que no se cumplieran los valores mínimos de refugio/conectividad, se tomaron series de caudales mensuales menos restringidas para su validación hidrobiológica.
- Validación de manera diferenciada en los diferentes mesohábitats del río (rápidos, remansos, etc.), en especial para el caso de los alevines.

1.9 Demarcación hidrográfica del Segura

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Segura, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 5. "Caudales ecológicos".

1.9.1 Normativa

1.9.1.1 Régimen de caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 6.1.3. Régimen de caudales máximos en masas de agua ubicadas aguas abajo de presas de regula*. Se presentan caudales máximos, con carácter semestral (meses de septiembre a febrero y de marzo a octubre), para 21 masas de agua. En la mayoría de estas masas no se establece limitación por caudales máximos, ya que (según se indica mediante nota) el *caudal que generaría afección al hábitat es muy superior a los caudales medios diarios circulantes habitualmente*.

Los valores que sí se encuentran dispuestos oscilan entre los 1,6 m³/s dispuestos para la masa de agua situada aguas abajo del embalse de Argos, y los 60 m³/s dispuesto para el río Mundo aguas abajo del embalse Camarillas. Ambos valores se dan para el periodo de marzo a agosto.

La Normativa no presenta un artículo concreto para los caudales máximos, aunque el *Artículo 9. Definición, control y seguimiento del régimen de caudales ecológicos* presenta tres apartados donde se mencionan los caudales máximos. Estos apartados son el 2, 3 y el 10, que se presentan íntegramente a continuación:

2. Los valores que definen estos caudales ecológicos se encuentran recogidos en el apéndice 6 de estas disposiciones normativas y comprenden los caudales mínimos ecológicos en la totalidad de las masas tipo río y los caudales generadores, tasas de cambio y los caudales máximos en aquellas masas que por sus características y condiciones resultan exigibles.

3. Se considera que los caudales mínimos cumplen con el régimen de caudales ecológicos cuando éstos alcanzan al menos los valores establecidos en el referido apéndice 6.1. Igualmente se considera que los caudales máximos cumplen con el régimen de caudales ecológicos cuando éstos no superan los valores establecidos en el citado apéndice 6.1.

10. Con el objeto de limitar las variaciones bruscas de caudal que pueden afectar a la presencia y abundancia de las diferentes especies fluviales, se establecen las máximas tasas de cambio que pueden alcanzarse en la gestión ordinaria de aquellas infraestructuras de regulación e hidroeléctricas de la demarcación, que presentan una mayor variabilidad en su régimen de caudales desembalsados. Estas tasas no serán de aplicación, cuando por cuestiones derivadas de la seguridad de la presa, resulte necesario aumentar la velocidad de desembalse con respecto a lo ahora establecido.

1.9.1.2 Caudales generadores

Los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 6.1.4. Régimen de caudales generadores*. Donde en forma de tabla se recoge para 7 masas de agua las siguientes variables: Caudal diario, duración y frecuencia. Los valores de caudales generadores oscilan entre 6,3 m³/s, establecido para las masas situadas aguas abajo del embalse del embalse de Taibilla, y 54,3 m³/s dispuesto para dos masas de agua del río Segura. Se establece que la duración de la crecida será de 24 horas y la frecuencia cada 5 años, valores establecidos para las siete masas de agua.

En lo referente al articulado, tan solo en el destaca el Apartado 2 del Artículo 9, anteriormente citado.

1.9.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología

1.9.2.1 Caudales máximos

La metodología para la determinación de los regímenes de caudales ecológicos sigue las disposiciones establecidas en la IPH.

Los caudales máximos fueron estimados para aquellas masas ubicadas aguas abajo de infraestructuras hidráulicas, para las cuales los caudales propuestos suponían una limitación a su gestión. Su caracterización fue realizada analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Se consideró el percentil 90 de la serie de caudales medios máximos para cada mes, en régimen natural estimado por modelos de precipitación-escurrentía (SIMPA) desarrollados por el CEDEX a nivel nacional. En algunos casos también se comparó este percentil 90 de la serie natural con el percentil 90 de la serie de desembalses de la infraestructura correspondiente.

Para el caso de las masas de agua estratégicas, este régimen de caudales máximos se verificó mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, para comprobar que se garantiza tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. Para ello, se comprobó que al menos se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles (con velocidades inferiores a 1 m/s), analizando también la conectividad del tramo para aquellos casos en los que el refugio sea inferior al 70%.

La IPH indicaba que las velocidades admisibles por la ictiofauna se extrajeran de curvas de relación entre el tamaño del individuo y la velocidad máxima admisible, en caso de encontrarse disponibles. Sin embargo, con carácter general se utilizaron los valores de velocidades máximas limitantes propuestos por la propia IPH: alevines (0,5-1 m/s), juveniles (1,5-2 m/s) y adultos (<2,5 m/s).

Para el caso de las masas de agua en las que la alteración hidrológica derivada de la regulación de recursos ha producido modificaciones morfológicas del cauce y éste se ha adaptado a la circulación de caudales regulados y/o trasvasados, la aplicación de criterios estrictamente hidrológicos sobre el régimen natural a la hora de determinar los caudales máximos no se consideró válida.

Para dos casos (tronco del río Segura aguas abajo del Cenajo y río Mundo aguas abajo de Talave) se consideró más adecuado estimar los caudales máximos mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, para comprobar que se garantizaba tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. Para ello, se comprobó que al menos se mantuviera un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles (con velocidades inferiores a 1 m³ /s), analizando también la conectividad del tramo para aquellos casos en los que el refugio sea inferior al 70%.

Para el caso de las masas de agua no estratégicas, el caudal máximo obtenido mediante criterios hidrológicos se verificó con el caudal máximo de la masa de agua prioritaria ubicada aguas arriba que mantiene un 50% de superficie mojada como refugio.

Respecto al cálculo de las tasas de cambio se realizó la aplicación estricta de la IPH, calculándose 2 valores para evaluar la tasa máxima de cambio diaria de las series anuales de caudales de, al menos, 20 años de duración:

- Tasa máxima de ascenso [90 %], corresponde al valor medio obtenido de la serie anual y percentiles del 90%, de ascenso, calculado sobre las tasas de cambio de los caudales medios diarios.
- Tasa máxima de descenso [90 %], corresponde al valor medio obtenido de la serie anual de percentiles del 90%, de descenso, calculado sobre las tasas de cambio de los caudales medios diarios.

Para los embalses más importantes de la demarcación (Fuensanta, Cenajo, Talave y Camarillas) se procedió a mejorar las tasas de cambio con tasas diarias. Además, se determinaron tasas de cambio a nivel horario para complementar el estudio realizado a nivel diario:

- Por un lado se calcularon las tasas de cambio horarias en un grupo de estaciones localizadas aguas abajo de embalses, disponiendo de resultados para masas de agua en régimen alterado.
- Por otro, se seleccionó otra estación con características hidrológicas similares a las anteriores y que se encontrase fuera de influencia de desembalses o alteraciones significativas, obteniendo así resultados de tasas de cambio horarias en una masa de agua en régimen seminatural o no alterado significativamente.
- Finalmente, se compararon los resultados obtenidos en ambos casos con la finalidad de ver la desviación en las tasas de cambio en uno y otro régimen (alterado y natural o potencialmente no alterado).

1.9.2.2 Caracterización de régimen de crecidas

La **frecuencia** del caudal generador se estimó a partir del coeficiente de variación por regiones definido por el CEDEX.

La **magnitud** del caudal generador. se calculó el caudal asociado al mismo a partir de la aplicación de la función de GUMBEL a la serie de caudales máximos anuales en régimen natural, calculados a nivel diario.

Por lo tanto, se procedió a calcular el caudal generador mediante análisis hidrológicos de la serie de caudales en régimen natural diario.

En una posterior fase de los trabajos, durante el periodo de vigencia del PHDS 2015/21, los resultados obtenidos mediante métodos hidrológicos se han contrastado y ajustado en cada caso teniendo en cuenta datos de aforo y distribución de infraestructuras de regulación existentes, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras. Asimismo, y siempre que sea posible y necesario, se revisarán los Planes de emergencia de presas y diversa información sobre deslindes, con vistas a corroborar que el régimen de avenidas propuesto no produce afecciones graves a personas y bienes materiales.

1.10 Demarcación hidrográfica del Júcar

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 5. “Régimen de caudales ecológicos”.

1.10.1 Normativa

1.10.1.1 Régimen de caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en los *Apéndices 5.3. Caudales máximos de desembalse y tasas de cambio en las principales infraestructuras de regulación y Apéndice 5.5. Régimen de caudales máximos y tasas de cambio establecido para el uso hidroeléctrico*. Se presentan caudales máximos con periodicidad mensual, junto con las tasas de cambio, para un total de 52 puntos, de los cuales 19 son los embalses principales de la cuenca (Apéndice 5.3) y 33 son para centrales hidroeléctricas (apéndice 5.5.).

Los valores de caudales máximos oscilan entre 0,1 m³/s dispuestos para el Embalse de Amadoiro y los 90,6 m³/s dispuestos en el embalse de El Naranjero.

La Normativa en su *Artículo 10. Definición del régimen de caudales ecológicos* presenta apartados concretos para cada uno de los componentes de caudales ecológicos. Para los caudales máximos se reserva el Apartado 3 que dispone lo siguiente:

“3. En cuanto al caudal máximo:

a) Con objeto de minimizar la inversión de régimen hídrico en los ríos de la Demarcación que puedan afectar a la presencia y abundancia de las diferentes especies de fluviales, se establece el régimen de caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las principales infraestructuras de regulación, así como en la gestión de las infraestructuras hidroeléctricas. Estos caudales máximos se recogen en el apéndice 5.3 y 5.5 respectivamente.

b) A tal efecto, se denomina gestión ordinaria de una infraestructura de regulación a aquella en que el operador moviliza el recurso hídrico para atender a un uso. Se exceptúa aquellas situaciones en los que se tenga que alcanzar el nivel de resguardo por episodios de avenidas.”

Para las tasas de cambio se dispone el Apartado 5:

“5. En cuanto a las tasas de cambio: Con el objeto de limitar las variaciones bruscas de caudal que puedan afectar a la presencia y abundancia de las diferentes especies fluviales, se establecen las máximas tasas de cambio que pueden alcanzarse en la gestión ordinaria en las principales infraestructuras de regulación, así como en la gestión de las infraestructuras hidroeléctricas de la demarcación. Estas tasas de cambio se recogen en el apéndice 5.3 y 5.5 respectivamente. Estas tasas no serán de aplicación, cuando se realice un caudal generador de acuerdo al punto 4.”

1.10.1.2 Caudales generadores

Los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 6.1.4. Régimen de caudales generadores*. Donde en forma de tabla se recoge para 7 masas de agua las siguientes variables: Caudal diario, duración y frecuencia. Los valores de caudales generadores oscilan entre 6,3 m³/s, establecido para las masas situadas aguas abajo del embalse del embalse de Taibilla, y 54,3 m³/s dispuesto para dos masas de agua del río Segura. Se establece que la duración de la crecida será de 24 horas y la frecuencia cada 5 años, valores establecidos para las siete masas de agua.

En lo referente al articulado, tan solo en el destaca el Apartado 2 del Artículo 9, anteriormente citado.

1.10.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología

1.10.2.1 Caudales máximos

En los trabajos de elaboración del Plan Hidrológico 2022-2027, se han revisado los caudales máximos propuestos en el ciclo anterior (2016-2021) ateniendo a lo que indica la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH):

Los caudales máximos que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas se definirán, al menos, en dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año.

Su caracterización se realizará analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración.

Con la finalidad de preservar las magnitudes fundamentales del régimen natural, se recomienda no utilizar percentiles superiores al 90%, en consonancia con los umbrales propuestos en apartados posteriores para los índices de alteración hidrológica.

Este régimen máximo de caudales máximos deberá ser verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. A falta de estudios de más detalle, se asegurará que al menos se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles

En base a ello, la primera corrección que se hace en el establecimiento del régimen de caudales máximos es la de eliminarlos en aquellos tramos que no cuentan con una infraestructura de regulación y establecerlos únicamente asociados a estas infraestructuras. En el ámbito de la demarcación se han establecido en 19 embalses con capacidad de regulación suficiente como para producir una alteración del régimen hidrológico produciendo una inversión del mismo, además de en los puntos de restitución de los usos hidroeléctricos para suavizar grandes variaciones de caudal.

Para calcular el régimen de caudales máximos en cada embalse se emplean series en régimen natural con un periodo de 20 años. La procedencia de las series es variable, por norma general, son datos mensuales Patricial-31, con un factor de factor de variación diaria, aunque también se emplean datos diarios de las estaciones de aforo disponibles.

Respecto a las tasas de cambio se indica que en el PHJ 2016-2021, las tasas de cambio se establecieron analizando la pendiente de ascenso y descenso de los hidrogramas de máxima crecida ordinaria con discretización temporal de 10 minutos. Como era necesario realizar el análisis sobre las series en régimen natural y dadas las particularidades de los ríos pertenecientes a la Demarcación Hidrográfica del Júcar, donde se producen crecidas bruscas en periodos de tiempo muy cortos, se utilizaron las series históricas de caudales de las estaciones de aforo de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) o del Sistema de Alerta de Información Hidrológica (SAIH) de la CHJ ubicadas en las cabeceras de los ríos que ofrecen datos diezminutales, en lugar de las series restituidas o modelos que ofrecen un dato de paso temporal mensual. Es por ello que las tasas de cambio sólo se pudieron establecer en los tramos altos de los ríos donde apenas existen infraestructuras hidráulicas que alteran el régimen hidrológico.

En los trabajos de revisión del Plan Hidrológico, se ha mejorado la metodología para ampliar los tramos de río donde implantar las tasas de cambio. La metodología consiste en el análisis de las máximas tasas de cambio de todas las avenidas ordinarias de series de caudales diarios en régimen natural. Tal y como se indica en la Instrucción de Planificación Hidrológica, se han obtenido las series clasificadas y se ha establecido la tasa de cambio que se corresponde con el valor del percentil 90 (p90), tanto en la rama de ascenso como en la de descenso. Se han utilizado datos históricos diarios de las estaciones de aforo, seleccionando periodos anteriores a la construcción de las infraestructuras que podían alterar este régimen natural. De esta forma, las tasas de cambio se han establecido asociadas a embalses y a centrales hidroeléctricas en base al resultado obtenido del análisis de la estación de aforos que se ha considerado representativa del tramo, dando lugar a valores de tasas de cambio en m³/s/día.

Pero para las centrales hidroeléctricas, es necesario establecer una tasa de cambio horaria ($m^3/s/h$) más acorde con las maniobras que se realizan en este tipo de infraestructuras. Para ello se ha obtenido un factor de paso de tasa de cambio diaria a tasa de cambio horaria relacionando los resultados obtenidos del análisis de las tasas de cambio de avenidas ordinarias de caudales diarios con los de las avenidas de caudales horarios. Esta relación sólo se ha podido establecer en algunas estaciones de aforo donde se disponía de series de caudal horario en régimen natural además del caudal diario, y la relación obtenida se considera válida en la región con homogeneidad estadística según el mapa de caudales máximos de las cuencas intercomunitarias (CEDEX, 2011).

Para las infraestructuras de regulación más importantes en el ámbito de la demarcación hidrográfica del Júcar, se han establecido tasas de cambio tanto horarias como diarias, debiendo cumplir ambas.

La tasa de cambio horaria impone una limitación intra-diaria en la maniobra de los desembalses que impide que se cambie con excesiva brusquedad los caudales de salida hasta alcanzar el caudal máximo. Por otra parte, la tasa de cambio diaria limita las variaciones excesivas de un día al siguiente, aunque se hayan cumplido las horarias.

En usos hidroeléctricos, la variación diaria puede ser cercana a cero en general, pero en algunos casos, coincidiendo con los cambios de demanda eléctrica, se pueden producir cambios excesivos en la variación diaria.

En otros usos, como regadío o abastecimiento, y en el traslado de volúmenes embalsados de unos puntos de almacenamiento a otros, los caudales de salida de los embalses pueden ser muy importantes. En estos casos, la limitación de cambio horario regula indirectamente la maniobra al comienzo y final del desembalse.

1.10.2.2 Caracterización de régimen de crecidas

En el PHJ 2016-2021 se obtuvieron unos caudales generadores según una metodología propuesta por el Centro de Estudio Hidrográfico del CEDEX (CEDEX, 1996) cuyos resultados se validaron y ajustaron en el caso de que la presa dispusiera de Normas de Explotación donde poder consultar el caudal de afección aguas abajo de dicha presa.

A pesar de que en el PHJ 2016-2021 se definieron estos caudales generadores, no se llegaron a implantar de forma efectiva durante su ciclo de planificación. En los trabajos de revisión para la elaboración del PHJ 2022-2027 se han definido caudales generadores en 7 embalses bajo el principio de precaución.

Para ello se ha partido de la información ya proporcionada en el PHJ 2016-2021 y bajo el mencionado principio de precaución se han establecido los siguientes criterios de diseño de los eventos de caudal generador propuestos:

- Se ha tenido en cuenta la limitación de este caudal por afecciones aguas abajo establecidas en las normas de explotación.
- También se ha tenido en cuenta la posibilidad de implementación práctica del hidrograma en una jornada laboral (extendida a 10-12 horas en algunos casos).
- Se ha considerado que el volumen desembalsado sea menor del 5% de la capacidad del embalse. Este criterio afecta principalmente a los pequeños embalses y es necesario tenerlo en cuenta para no comprometer los recursos hídricos almacenados.
- Se han determinado en las series diarias de caudales (en estación de aforos aguas arriba o determinando las entradas al embalse) las avenidas de un caudal medio diario en el rango de un 50% superior o inferior al valor equivalente del caudal medio diario producido por el evento del caudal generador propuesto. Mediante este análisis se ha contrastado que, por un lado, existen avenidas similares al evento de caudal generador propuesto y, por otro, que las tasas de cambio diarias que produce el evento son compatibles con las de estas avenidas.

1.11 Demarcación hidrográfica del Ebro

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Ebro, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 5. “Caudales ecológicos”.

1.11.1 Normativa

1.11.1.1 Régimen de caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 6.5.1. Caudales máximos*. Se presentan caudales máximos para once (11) masas de agua, con una estacionalidad anual. En el *Apéndice 6.5.2. Tasa de cambio*, se presentan las tasas de cambio horarias para estas 11 masas de agua. Las masas de agua son: Río Grío desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Jalón (1); Río Jalón desde el río Perejiles hasta el río Ribota (1); Embalse de Ardisa; Embalse de La Sotonera; Embalse de El Grado; Embalse de Yesa; Embalse de Santolea; Río Linares desde su nacimiento hasta la estación de aforos número 43 de San Pedro Manrique (2); Embalse de Itoiz; Embalse de Rialb y Embalse de Flix

Los valores de la magnitud de caudales máximos oscilan entre los 5,0 m³/s, dispuestos para la masa de agua situada aguas abajo del futuro embalse de San Pedro Manrique, y los 1.900 m³/s dispuestos para el embalse de Flix.

La Normativa no presenta un artículo concreto para los caudales máximos, aunque el *Artículo 10. Régimen de caudales ecológicos* presenta en su apartado 5 las siguientes indicaciones:

5. El apéndice 6.5 establece el caudal máximo, el caudal generador y la tasa de cambio para el extremo de aguas abajo de las masas de agua que en él se indican. Durante este periodo de planificación y conforme a lo previsto en el apartado 5.2 de la Memoria se llevarán a cabo estudios para valorar el establecimiento de caudales máximos, generadores y tasas de cambio en puntos prioritarios de la cuenca situados aguas abajo de los principales embalses y de mejora de las metodologías de determinación de caudales ecológicos y de análisis de la relación entre el régimen de caudales ecológicos y el estado de las masas de agua.

1.11.1.2 Caudales generadores

Los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 6.5.3. Caudales generadores*. Donde en forma de tabla se recoge para las 11 masas de agua citadas anteriormente las siguientes variables: Magnitud del caudal generador, frecuencia, tasas horarias de cambio en descenso y ascenso, duración del hidrograma, duración de las fases de ascenso y descenso, estacionalidad y volumen del hidrograma.

Los valores de caudales generadores oscilan entre 1 m³/s, establecido para la masa situada aguas abajo del futuro embalse de San Pedro Manrique, y 1.200 m³/s dispuestos para el embalse de Flix. Para las once masas de agua se establece que la frecuencia de la crecida será de dos años, cuya estacionalidad se sitúa en primavera y otoño. Igualmente para todas las masas de agua, se prevé que la crecida tendrá una duración de 8 h.

En lo referente al articulado, tan solo en el destaca el Apartado 5 del Artículo 10, anteriormente citado.

1.11.2 Anejo 5. “Caudales ecológicos”. Metodología

1.11.2.1 Caudales máximos

La metodología para la determinación de los regímenes de caudales ecológicos sigue las disposiciones establecidas en la IPH.

Su caracterización fue realizada analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración.

Según se indica en el apartado 3.3.1.1. del Anejo V Estudios previos para la aproximación técnica a los caudales ecológicos de la cuenca del Ebro” del PHDE 2014 donde se recogen las metodologías propuestas, “se necesita de una serie hidrológica representativa de al menos 20 años en régimen natural que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos. Esta serie debe estar caracterizada a escala diaria, por lo que se ha determinado de la siguiente forma:

- Utilización directa de la red de aforos, de encontrarse las masas de agua en régimen natural.
- Modelización hidrológica de series en régimen natural a escala mensual (SIMPA V2) con la posterior aplicación del patrón de distribución diario correspondiente a estaciones de control en régimen natural o cuasi-natural situadas en tramos pertenecientes al mismo tipo fluvial, para lo que se han empleado las hidrorregiones definidas por el CEDEX

Este régimen máximo de caudales máximos debía ser verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantizara tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. A falta de estudios de más detalle, se consideró que se debía asegurar que al menos se mantuviera un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles.

Las velocidades admisibles se extrajeron de curvas que relacionen el tamaño del individuo con la velocidad máxima admisible. En caso de no disponer de dichas curvas y de tratarse de especies piscícolas, se utilizaron los siguientes intervalos de velocidades máximas limitantes: alevines (0,5-1 m/s), juveniles (1,5-2 m/s) y adultos (<2,5 m/s).

Para el diseño de la distribución de caudales máximos se utilizó como condicionante la velocidad limitante (velocidad crítica) para la evolución y desarrollo de la fauna piscícola. Las velocidades producidas en el cauce con un determinado caudal circulante se obtuvieron de los programas hidráulicos que se habían generado al modelizar el hábitat. Se utilizó como criterio para fijar el caudal máximo en el periodo seco la velocidad para alevines de 1 m/s, y para el periodo húmedo la velocidad para juveniles de 2 m/s.

El procedimiento de verificación consistió en lo siguiente:

- Realización de una simulación de caudales comenzando por aquellos en los que se observa una disminución del hábitat (en las curvas APU-Q ya generadas en los tramos) de alevines o juveniles.
- La simulación continuaba con valores crecientes de caudal hasta alcanzar el caudal máximo medio anual, según los datos hidrológicos obtenidos para ese tramo.

La definición de estos dos periodos se realizó en función de los alevines de las especies de peces condicionantes en cada tramo. Si eran ciprínidos se consideró que el periodo seco iba desde mayo-octubre y el húmedo de noviembre a abril; en el caso de la trucha el periodo seco comprendía marzo- agosto y el húmedo septiembre-febrero.

La distribución temporal de caudales máximos se realizó para las 64 masas de agua en las que se habían hecho los trabajos de modelización. No obstante, en aquellos casos en los que la aplicación del régimen de máximos obtenido pudo condicionar sustancialmente la gestión de los sistemas de explotación, se optó por su no inclusión en la Normativa, a la espera que el seguimiento adaptativo de los caudales ecológicos ofrezca criterios empíricos más sólidos.

Por su parte, se calcularon las tasas de cambio a partir del análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de, al menos, 20 años de duración. Se calcularon las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se contó con una estimación media de las tasas de cambio. Se empleó la recomendación de que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso.

Los parámetros analizados fueron, por tanto, los valores medios de los incrementos o descensos diarios de caudal en la serie de caudales diarios característica del tramo correspondientes al percentil 70 y al 90.

1.11.2.2 Caracterización de régimen de crecidas

En aquellos tramos situados aguas abajo de importantes infraestructuras de regulación la crecida asociada al caudal generador se asocia al caudal de sección llena del cauce y se define incluyendo su magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa máxima de cambio, tanto en la curva de ascenso como en la curva de descenso del hidrograma de la crecida.

La magnitud de la crecida asociada al caudal generador se ha calculado para distintos periodos de retorno:

- Caudal ecológico máximo media móvil 30 días
- Caudal máximo con periodo de retorno $T= 2$ años
- Caudal máximo con periodo de retorno $T= 1,5$ años
- Caudal máximo con periodo de retorno del estudio de periodos de retorno asociados al caudal generador realizado por el CEDEX

La tasa máxima de cambio, la frecuencia y la duración de la crecida asociada al caudal generador se obtuvo del análisis estadístico de la serie representativa del régimen hidrológico del río con 20 años de datos.

La validación del caudal generador se llevó a cabo mediante la modelación hidráulica del cauce, en un tramo representativo de su estructura y funcionalidad, teniendo en cuenta, para ello, los estudios de inundabilidad del tramo afectado, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras.

De acuerdo a las experiencias piloto realizadas y a falta de estudios específicos, se consideró que la Media móvil 30 días es la más adecuada para el cálculo de la crecida asociada al caudal generador.

1.12 Demarcación hidrográfica de Galicia-Costa

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica de Galicia Costa, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo 4. “Caudales ecológicos”,

1.12.1 Normativa

1.12.1.1 Caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 8.3 Régimen de caudales máximos, caudales generadores y tasas de cambio*. Se presentan caudales máximos mensuales para un total de 20 masas de agua. El rango de caudales máximos es muy variable, oscilando entre el mínimo 0,24 m³/s, establecido para el mes de octubre, en Roufrío (Embalse de Beche), y el valor máximo, 182,26 m³/s, establecido para los meses de noviembre a abril en el río Ulla (Salto de Touro).

Respecto a las tasas de cambio se presentan para aquellas infraestructuras que producen energía hidroeléctrica, en total 11 infraestructuras. Presentan las tasas cambio en dos situaciones de la central hidroeléctrica, arrancada y funcionamiento. Para ambas situaciones las tasas de cambio son mínimas, denominándola en el caso de la Arrancada, “máximo legal”, y , en el caso del funcionamiento, “valor alternativo”, donde a su vez se proponen dos tasas de cambio, una que es un porcentaje del caudal concesional y la otra que es un máximo, o valor alternativo en m³/s/min.

La Normativa presenta el *Artículo 17. Consideraciones respecto a caudales máximos, caudales generadores y tasas de cambio*, donde en diferentes apartados se tratan aspectos referentes a estos componentes de los caudales ecológico:

1. *En el apéndice 8.3 se fijan los regímenes de caudales máximos ecológicos para algunas masas de agua de la categoría río con importantes estructuras de regulación. Estos caudales se implantarán en aquellos puntos en los que sea necesario para la protección o mejora del estado o potencial ecológico de las masas de agua afectadas.*
2. *En el apéndice 8.3 se recogen las tasas de cambio para las infraestructuras de regulación.*
3. *Dadas las especiales características hidrológicas de las cuencas de Galicia-Costa y de la capacidad de los embalses, con una renovación en general anual, se considera que de forma ordinaria se producen los caudales generadores en el año hidrológico. En caso de apreciarse un progresivo estrechamiento o colonización del cauce, por no producirse estos caudales generadores en tres años hidrológicos consecutivos, Augas de Galicia podrá solicitar al explotador del embalse la adopción de las medidas necesarias para evitar el deterioro de las masas de agua. Estos caudales vienen recogidos en el apéndice 8.3.*

1.12.1.2 Caudales generadores

Al igual que los anteriores los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 8.3 Régimen de caudales máximos, caudales generadores y tasas de cambio*. Donde en forma de tabla se recoge para 24 masas de agua las siguientes variables: Caudal generador, días de ascenso y descenso de la crecida y volumen del hidrograma. Al igual que en el caso de los caudales máximos los valores indicados en este apéndice son muy variables, oscilando entre el mínimo 1,03 m³/s establecido en el embalse de Meicende y el máximo, 453,78 m³/s dispuestos para el embalse de Barrie de la Maza.

Como se ha comentado anteriormente la Normativa presenta el Artículo 17 de manera conjunta con los caudales máximos y tasas de cambio.

1.12.2 Anejo 4. “Caudales ecológicos”. Metodología

1.12.2.1 Régimen de caudales máximos

Para el estudio de los caudales máximos se siguen las instrucciones de la IPH.

El procedimiento seguido para la distribución del régimen de caudales máximos consta de una caracterización hidrológica de cada tramo y una posterior verificación (biológica) de que el percentil de caudal seleccionado garantiza el refugio para los estadios/especies más restrictivos y también la conectividad de tramo. Esta comprobación se realiza mediante los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat. Se debe subrayar que se han calculado los caudales máximos en al menos “dos períodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año”.

Análisis hidrológico del tramo

Se ha determinado un caudal suficientemente alto que permita incluir y validar los inferiores a éste de cada hidroperíodo, es decir, se pretende conseguir un valor alto de caudal que pueda ser validado biológicamente, ya que es “soportable” para los peces desde un punto de vista biológico.

Así, para la definición de este caudal de validación, en función del periodo húmedo y seco, se ha tomado como criterio emplear años húmedos y el percentil 90% del mes más húmedo de cada hidroperíodo. A estos efectos, se entiende como años húmedos aquéllos cuya media sea superior al percentil 80. Este criterio está en consonancia con los índices de alteración hidrológica para la caracterización del estado de las masas de agua.

Verificación biológica: Evaluación de refugio.

Se han considerado los intervalos limitantes de velocidades máximas propuestos en la IPH, dado que no existe información extensiva y contrastada para el conjunto de la ictiofauna de la demarcación hidrográfica de Galicia-Costa. Los condicionantes de profundidad se exponen en la siguiente tabla:

Estadio	Profundidad
Alevín	> 10 cm
Juvenil	> 15 cm
Adulto	> 25 cm

Para evaluar el refugio se hace un análisis espacial de la distribución de velocidades, valorando el porcentaje de superficie mojada del tramo que supera las velocidades óptimas y obteniendo así el porcentaje de superficie de refugio sobre el total de la superficie mojada del tramo. De esta forma, puede representarse gráficamente el porcentaje de refugio frente a los caudales simulados. Se considera que por debajo del 50% no existe refugio. Para aquellos caudales que proporcionan un refugio entre el 50 y el 70% de la superficie mojada del tramo se ha de comprobar la existencia/inexistencia de conectividad en el mismo.

Teniendo en cuenta la entidad de los cauces, se considera que para valores superiores a 1 m de anchura de paso, con un mínimo de 0,25 m, ya existe conectividad de hábitats en el tramo.

Toma de decisiones

Teniendo en cuenta los períodos de presencia de los distintos estadios a lo largo del año, se comprueba que se cumplen las condiciones de refugio y de conectividad del tramo, y a partir de qué caudal y estadio se rompen. Se pueden dar las siguientes situaciones:

- Si el refugio está siempre por encima del 70%, el caudal queda validado.
- Si el caudal simulado da un refugio por debajo del 50%, esos caudales se consideran como no recomendables.
- Si el refugio está comprendido entre el 50% y el 70% del total de la superficie mojada del tramo, se comprueba la conectividad del tramo, quedando el caudal máximo limitado por aquel valor que rompe la conectividad en dicho rango.

Así, la propuesta de régimen de caudales máximos para cada mes se obtiene del percentil 90 (P90) de cada hidroperíodo, limitado o no en su valor por la presencia de restricciones piscícolas.

Por su parte las tasas de cambio se han calculado para caudales turbinados. Se ha estipulado una tasa de cambio por minuto máxima del 3% del caudal máximo concedido (o de 250 l/s cada minuto), excepto en el momento de iniciar el funcionamiento después de una interrupción, en el que se podrá verter hasta un 20% del caudal concesional, con un máximo de 1500 l/s.

1.12.2.2 Régimen de caudales de crecida. Metodología

Métodos empleados:

Frecuencia: Para determinar la periodicidad de los eventos generadores se ha partido de la regionalización dispuesta por el CEDEX en la que asigna un coeficiente de variación (Cv) según la zona estudiada (o regiones estadísticas identificadas). A partir de dicho coeficiente, se ha estimado el periodo de retorno correspondiente a la máxima crecida ordinaria:

$$TMCO = 5Cv$$

Magnitud del caudal generador viene dada por el caudal de avenida asociado al periodo de retorno determinado anteriormente, T_{MCO} , calculado a partir del ajuste extremal de las serie de caudales máximos anuales a una función de distribución:

$$Q_{gen} (m^3/s) = Q_{TMCO}$$

Número de eventos a estudiar: se han analizado los eventos con caudal punta cercanos al Q_{gen} (tanto por encima como por debajo del mismo), en concreto, los eventos comprendidos entre $T=2$ y $T=5$ años de la serie sintética generada de 100 años. Con este intervalo, se incluyen los periodos de retorno establecidos para toda la demarcación hidrográfica de Galicia-Costa (2,5 y 3 años).

Tasa de cambio diaria: Estimación a partir del análisis de los eventos seleccionados como avenidas ordinarias de las series hidrológicas representativas de caudales medios diarios. Se han calculado las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se ha contado con una estimación media de las tasas de cambio. Se ha seguido la recomendación de que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso. También se ha analizado el hidrograma con las tasas de cambio máximas.

Duración del evento: Definida por las tasas de ascenso y descenso, desde el caudal base hasta el Q_{gen} y viceversa.

Estacionalidad: Momento de implementación de dicho caudal, se hará coincidir con momentos de avenida en el periodo de otoño/invierno-primavera.

1.13 Demarcación hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo V. “Caudales ecológicos”,

1.13.1 Normativa

1.13.1.1 Caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 6.2 Caudales máximos de desembalse en infraestructuras de regulación*. Se presentan caudales máximos, para el periodo húmedo y el periodo seco, en un total de 8 masas de agua. Como norma general, el periodo húmedo abarca los meses de noviembre a abril (6 meses), considerándose el periodo seco para los meses de mayo a octubre. Excepto para dos masas de agua del sistema de explotación III-2, donde el periodo seco va de julio a noviembre por tener un régimen nival. La masas de agua que presentan esta excepción son “Ízbor entre Béznar y Rules” (Presa de Béznar y “Bajo Guadalfeo” (Presa de Rules).

El rango de caudales máximos oscila entre el mínimo 0,9 m³/s, establecido en el periodo seco, en la masas de agua “Vélez y Bajo Guaro” (Presa de la Viñuela), y el valor máximo, 15,5 m³/s, establecido en el periodo húmedo para la masa de gua “Guadalhorce entre Jévar y Grande” (Presa de la Encantada)

La Normativa presenta el *Artículo 12. Otros componentes del régimen de caudales ecológicos*, donde en diferentes apartados menciona aspectos de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. Respecto a los caudales máximos tan solo se indica que *se hallan determinados en las correspondientes Tablas del Anexo 5 de los Documentos del presente Plan*.

1.13.1.2 Caudales generadores

Lo caudales generadores se presentan en el *Apéndice 6.3 Caudales generadores en masas reguladas aguas arriba*. Donde en forma de tabla se recoge para 9 masas de agua las siguientes variables: frecuencia, magnitud (caudal punta y volumen), duración media en días, estacionalidad y tasas de cambio diarias (ascendentes y descendentes). Al igual que en el caso de los caudales máximos los valores indicados en este apéndice son muy variables, oscilando entre el mínimo 8,6 m³/s establecido para la presa de Béznar y el máximo 82,3 m³/s dispuestos para la presa de La Encantada.

Como se ha comentado anteriormente, la Normativa presenta el *Artículo 12. Otros componentes del régimen de caudales ecológicos*, donde en diferentes apartados menciona aspectos de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. En concreto, para los caudales generadores y sus tasas de cambio se indica lo siguiente (apartados 2 y 3):

2. *Como regla general, los caudales generadores deberán aplicarse antes del inicio de la campaña de riego del tercer año hidrológico en los que no se hayan presentado de forma natural y no hayan sido calificados como de sequía prolongada. Como mínimo, los caudales generadores deberán alcanzarse en tres horas, mantenerse una hora y descender en seis horas.*

3. *A lo largo del presente ciclo de planificación se realizará un estudio para identificar las masas de agua en las que la tasa de cambio pueda ser el causante del mal estado a fin de tomar medidas al efecto*

1.13.2 Anejo V. “Caudales ecológicos”. Metodología

1.13.2.1 Distribución temporal de caudales máximos

Su caracterización se realiza analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración.

Este régimen de caudales máximos se verifica mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles, como el mantenimiento de la conectividad del tramo.

Para ello, se asegura que, al menos, se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles (alevines y juveniles). Las velocidades admisibles se extraen de curvas que relacionen el tamaño del individuo con la velocidad máxima admisible. Al no disponer de dichas curvas y tratarse de especies piscícolas, la IPHA indica que se utilicen los siguientes intervalos de velocidades máximas limitantes: alevines (0,5-1 m/s), juveniles (1,5-2 m/s) y adultos (<2,5 m/s).

Por lo tanto, para el diseño de la distribución de caudales máximos se ha utilizado como condicionante la velocidad limitante (velocidad crítica) para la evolución y desarrollo de la fauna piscícola. Se han definido los dos periodos en función de las emergencias de alevines de las especies de peces condicionantes: periodo seco (mayo-octubre) y periodo húmedo (noviembre-abril).

De este modo, las velocidades producidas en el cauce con un determinado caudal circulante se han obtenido de los programas hidráulico que se han generado al modelizar el hábitat, y se ha utilizado como criterio para validar y fijar el caudal máximo en el periodo seco la velocidad para alevines de 0,5-1 m/s, y para el periodo húmedo la velocidad para juveniles de 1,5-2 m/s.

1.13.2.2 Régimen de caudales de crecida. Metodología

La magnitud de la crecida asociada al caudal generador se ha calculado, por tanto, para distintos periodos de retorno:

- Caudal máximo con periodo de retorno $T= 1,5$.
- Caudal máximo con periodo de retorno $T= 2$.
- Caudal máximo con periodo de retorno del estudio de caudales generadores del Mapa de caudales máximos (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), 2011), en el que se varía la duración del periodo de retorno en cada hidrorregión en función de datos fisiográficos y climáticos de las cuencas.

La tasa máxima de cambio, la frecuencia y la duración de la crecida asociada al caudal generador se obtienen del análisis estadístico de la serie representativa del régimen hidrológico del río con 20 años de datos. Estas variables se han calculado tanto para la crecida correspondiente al periodo de retorno $T=2$, como al asociado al caudal generador del estudio realizado por el CEDEX.

La validación del caudal generador se debe llevar a cabo mediante la modelización hidráulica del cauce, en un tramo representativo de su estructura y funcionalidad, teniendo en cuenta, para ello, los estudios de inundabilidad del tramo afectado, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras.

Referente a las tasas de cambio, su estimación se ha realizado a partir del análisis de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de, al menos, 20 años de duración, calculando las series clasificadas anuales de incrementos medios diarios, tanto en ascenso como en descenso, sobre las que se ha establecido un percentil de superación en ascenso y en descenso del 95% y se ha obtenido una estimación media de las tasas de cambio. Si bien en la IPHA se recomienda que el percentil no sea superior al 70-90%, en el caso de los ríos de la DHCMA se ha optado por un percentil del 95%, dado el carácter irregular de los mismos.

1.14 Demarcación hidrográfica de Guadalete y Barbate

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica Guadalete y Barbate, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo V. "Caudales ecológicos".

1.14.1 Normativa

1.14.1.1 Caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 6.2 Caudales máximos de desembalse en infraestructuras de regulación*. Se presentan caudales máximos, para el periodo húmedo y el periodo seco, en un total de 7 masas de agua. El periodo húmedo abarca los meses de noviembre a abril (6 meses), considerándose el periodo seco para los meses de mayo a octubre. En este apéndice se presenta, además, las tasas de cambio diarias (ascendente y descendente) para caudales máximos.

El rango de caudales máximos oscila entre el mínimo 0,4 m³/s, establecido en el periodo seco, en embalse de Almodóvar, y el valor máximo, 49,1 m³/s, establecido en el periodo húmedo para el embalse de Guadalcaçín.

La Normativa presenta el *Artículo 12. Otros componentes del régimen de caudales ecológicos*, donde en diferentes apartados menciona aspectos de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. Respecto a los caudales máximos tan solo se indica que *se hallan determinados en las correspondientes Tablas del Anexo V de los Documentos del presente Plan*.

1.14.1.2 Caudales generadores

Los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 6.3 Caudales generadores en masas reguladas aguas arriba*. Donde en forma de tabla se recoge para 7 masas de agua las siguientes variables: caudal, periodo de retorno y estacionalidad (para todas las masas de agua se indica el mes de diciembre). Al igual que en el caso de los caudales máximos los valores indicados en este apéndice son muy variables, oscilando entre el mínimo 6,8 m³/s establecido para el embalse de Almodóvar y el máximo 136,2 m³/s dispuestos para el embalse de Arcos.

Como se ha comentado anteriormente, la Normativa presenta el *Artículo 12. Otros componentes del régimen de caudales ecológicos*, donde en diferentes apartados menciona aspectos de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. En concreto, para los caudales generadores y sus tasas de cambio se indica lo siguiente (apartados 2 y 3):

2. *Como regla general, los caudales generadores deberán aplicarse antes del inicio de la campaña de riego del tercer año hidrológico en los que no se hayan presentado de forma natural y no hayan sido calificados como de sequía prolongada. Como mínimo, los caudales generadores deberán alcanzarse en tres horas, mantenerse una hora y descender en seis horas.*

3. *A lo largo del presente ciclo de planificación se realizará un estudio para identificar las masas de agua en las que la tasa de cambio pueda ser el causante del mal estado a fin de tomar medidas al efecto*

1.14.2 Anejo V. "Caudales ecológicos". Metodología

1.14.2.1 Distribución temporal de caudales máximos

Su caracterización se realiza analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración.

Se definen los conceptos de velocidad óptima y velocidad crítica. El primero hace referencia a la velocidad o intervalo de velocidades a la que el individuo es capaz de desplazarse con un coste energético mínimo, mientras que el segundo consiste en un valor de velocidad que provoca el arrastre aguas abajo de los ejemplares.

La velocidad óptima se corresponde con los valores de velocidad que en la curva de idoneidad para cada estadio de las especies analizadas tienen asociada un valor de preferencia de 1. Los valores de velocidad que superan esta velocidad óptima producen afecciones en los individuos cuya intensidad depende de la diferencia entre estas dos velocidades. La metodología existente aconseja que al menos en la mitad de la superficie del tramo, la velocidad no supere a la velocidad óptima, denominando a esta superficie como refugio. Además, en caso de que la superficie del tramo en la cual se supere la velocidad óptima sea de más del 30% se recomienda realizar un estudio de conectividad del tramo.

Referente a las tasas de cambio, su estimación se realiza mediante el análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa como mínimo de 20 años en régimen natural.

El procedimiento consiste en analizar individualmente cada año hidrológico de la serie, elaborando dos series de tasas de cambio por año hidrológico, una de incremento y otra de decremento de caudal, y en cada una de ellas se halla el percentil del 90%, ya que en la IPHA se especifica que el percentil no debe superar el 70-90%. La media de los percentiles de todos los años de la serie constituye el valor de tasa de cambio admisible.

1.14.2.2 Régimen de caudales de crecida. Metodología

En el Anejo V no se expone la metodología empleada en el cálculos de este régimen. Tan solo se definen los tipos de crecidas que se pueden dar, agrupándolas en tres grupos: caudal generador, caudal de limpieza y caudal de conectividad, indicando para este último grupo que se restringe su aplicación en la DHGB, ya que la implantación del caudal de conectividad puede implicar niveles de riesgo no asumibles.

1.15 Demarcación hidrográfica del Tinto, Odiel y Piedras

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en la Demarcación Hidrográfica Guadalete y Barbate, según lo dispuesto en la Normativa del Plan Hidrológico del tercer ciclo (2022-2027) y en el Anejo V. "Caudales ecológicos".

1.15.1 Normativa

1.15.1.1 Caudales máximos

Los caudales ecológicos máximos se presentan en formato tabular en el *Apéndice 6.2 Caudales máximos de desembalse en infraestructuras de regulación*. Se presentan caudales máximos, para el periodo húmedo y el periodo seco, en un total de 3 masas de agua. El periodo húmedo abarca los meses de noviembre a abril (6 meses), considerándose el periodo seco para los meses de mayo a octubre. En este apéndice se presenta, además, las tasas de cambio diarias (ascendente y descendente) para caudales máximos.

El rango de caudales máximos oscila entre el mínimo 1,2 m³/s, establecido en el periodo seco, en embalse de Corumbel, y el valor máximo, 11,6 m³/s, establecido en el periodo húmedo para el embalse de Jarrama.

La Normativa presenta el *Artículo 12. Otros componentes del régimen de caudales ecológicos*, donde en diferentes apartados menciona aspectos de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. Respecto a los caudales máximos tan solo se indica que *se hallan determinados en las correspondientes Tablas del Anexo V de los Documentos del presente Plan*.

1.15.1.2 Caudales generadores

Los caudales generadores se presentan en el *Apéndice 6.3 Caudales generadores en masas reguladas aguas arriba*. Donde en forma de tabla se recoge para 3 masas de agua las siguientes variables: caudal, periodo de retorno y estacionalidad (para todas las masas de agua se indica el mes de diciembre). Los valores de caudal generador asignados a cada masa de agua se encuentran en un rango muy homogéneo, el valor máximo (45,9 m³/s) se establece para el embalse Sotiel-Olivargas, mientras que el mínimo (42,1 m³/s) se establece para el embalse de Corumbel.

Como se ha comentado anteriormente, la Normativa presenta el *Artículo 12. Otros componentes del régimen de caudales ecológicos*, donde en diferentes apartados menciona aspectos de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio. En concreto, para los caudales generadores y sus tasas de cambio se indica lo siguiente (apartados 2 y 3):

2. *Como regla general, los caudales generadores deberán aplicarse antes del inicio de la campaña de riego del tercer año hidrológico en los que no se hayan presentado de forma natural y no hayan sido calificados como de sequía prolongada. Como mínimo, los caudales generadores deberán alcanzarse en tres horas, mantenerse una hora y descender en seis horas.*

3. *A lo largo del presente ciclo de planificación se realizará un estudio para identificar las masas de agua en las que la tasa de cambio pueda ser el causante del mal estado a fin de tomar medidas al efecto*

1.15.2 Anejo V. "Caudales ecológicos". Metodología

1.15.2.1 Distribución temporal de caudales máximos

Su caracterización se realiza analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración.

Se definen los conceptos de velocidad óptima y velocidad crítica. El primero hace referencia a la velocidad o intervalo de velocidades a la que el individuo es capaz de desplazarse con un coste energético mínimo, mientras que el segundo consiste en un valor de velocidad que provoca el arrastre aguas abajo de los ejemplares.

La velocidad óptima se corresponde con los valores de velocidad que en la curva de idoneidad para cada estadio de las especies analizadas tienen asociada un valor de preferencia de 1. Los valores de velocidad que superan esta velocidad óptima producen afecciones en los individuos cuya intensidad depende de la diferencia entre estas dos velocidades. La metodología existente aconseja que al menos en la mitad de la superficie del tramo, la velocidad no supere a la velocidad óptima, denominando a esta superficie como refugio. Además, en caso de que la superficie del tramo en la cual se supere la velocidad óptima sea de más del 30% se recomienda realizar un estudio de conectividad del tramo.

Referente a las tasas de cambio, su estimación se realiza mediante el análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa como mínimo de 20 años en régimen natural.

El procedimiento consiste en analizar individualmente cada año hidrológico de la serie, elaborando dos series de tasas de cambio por año hidrológico, una de incremento y otra de decremento de caudal, y en cada una de ellas se halla el percentil del 90%, ya que en la IPHA se especifica que el percentil no debe superar el 70-90%. La media de los percentiles de todos los años de la serie constituye el valor de tasa de cambio admisible.

1.15.2.2 Régimen de caudales de crecida. Metodología

En el Anejo V no se expone la metodología empleada en el cálculos de este régimen. Tan solo se definen los tipos de crecidas que se pueden dar, agrupándolas en tres grupos: caudal generador, caudal de limpieza y caudal de conectividad, indicando para este último grupo que se restringe su aplicación en la DHGB, ya que la implantación del caudal de conectividad puede implicar niveles de riesgo no asumibles.

1.16 Distrito de la cuenca fluvial de Cataluña

En el presente apartado se indican los aspectos más relevantes referente a los caudales ecológicos máximos, generadores y tasas de cambio en el Distrito de la cuenca fluvial de Cataluña, según lo dispuesto en la Normativa del Plan de Gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña 2022-2027 y en el Anexo 2. “Caudales de mantenimiento o ecológicos y requerimientos hídricos”. Cabe indicar que, a fecha de la redacción de este documento aún no ha sido aprobado el Plan de Gestión del distrito y que el periodo de consulta pública ya ha finalizado.

1.16.1 Normativa

1.16.1.1 Régimen de caudales máximos

En la Normativa del Plan de Gestión del Plan de Gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña 2022-2027 no se disponen caudales máximos.

1.16.1.2 Régimen de caudales de crecida

Los caudales generadores se presentan en el *Anexo 1.4. “Caudales de mantenimiento o ecológicos”*.

Este Anexo presenta el apartado *1.4.2. Especificidades en el régimen de caudales de mantenimiento o ecológicos en puntos donde se ubiquen grandes infraestructuras de regulación*, donde se definen las grandes infraestructuras de regulación consideradas y que son aquellas con una capacidad de almacenamiento superior a 5 hm³, o con una tasa de regulación (capacidad de almacenamiento/aportación anual) superior a 0,5. (apartado 1.4.2.a), posteriormente en el apartado 1.4.2.b se dispone que *“La determinación del régimen de caudales de mantenimiento en las grandes infraestructuras debe completarse con el establecimiento de un caudal generador y la aplicación de una tasa de cambio.”*

Ya en el subapartado *1.4.2.b.1. Caudal generador (Qg)*, se disponen los caudales generadores para un total de 11 embalses. Estos embalses son: Darnius Boadella, Sau, Susqueda, Vallforners, La Baells, La Llosa del Cavall, St. Ponç, St.. Martí de Tous, Foix, El Catllar y Riudecanyes.

Las variables que se presentan son: caudal generador y periodo preferente de su realización. Los valores indicados para el caudal generador oscilan entre el mínimo 0,8 m³/s, establecido para el embalse Martí de Tous, y el máximo 74,3 m³/s, dispuestos para el embalse de Susqueda. En este mismo subapartado se indica que el caudal generador se deberá soltar al menos una vez al año y principalmente desde los desagües de fondo. Asimismo, se indica que este caudal generador se deberá satisfacer siempre que no represente un perjuicio para la garantía de abastecimiento de agua potable previo acuerdo de las Comisiones de desembalse y siempre que no se haya dado ya con anterioridad dentro del año hidrológico un caudal igual o superior.

La Normativa dispone en su *Artículo 18.7 El régimen de caudales de mantenimiento o ecológicos en los tramos de río donde se ubiquen las infraestructuras de regulación y retención de caudales relacionadas en el anexo 1.4.2.a de estas determinaciones normativas debe completarse con un caudal generador y con una tasa de cambio, de conformidad con lo previsto en el anexo 1.4.2.b de estas determinaciones normativas.*

Respecto a las tasas de cambio en el *Artículo 22.2* se indica lo siguiente: *“Se entiende que se cumple con las tasas de cambio a que se refiere el artículo 18.7 cuando las tasas máximas de cambio establecidas para las grandes infraestructuras no se superan en un 90% del tiempo.*

Las tasas de cambio se disponen en el subapartado *1.4.2.b.2 “Tasa de cambio”*. En este apartado se indica lo siguiente:

Los cambios de caudales circulantes aguas abajo de las infraestructuras hidráulicas autorizadas

para la retención y/o regulación de caudales, y los cambios de caudales generados por el mismo plan de caudales de mantenimiento (los caudales generadores o el cambio de módulo dentro del régimen de

caudales mensuales de mantenimiento), pueden ser factores que alteran y condicionan la habitabilidad de las comunidades en los sistemas fluviales aguas abajo si las fluctuaciones se dan de forma repentina, sobre todo en aquellos tramos más cercanos a las grandes infraestructuras hidráulicas.

Por esta razón, se fija una tasa de cambio de caudal (de incremento y de decrecimiento), que amortigüe y atenúe los cambios en el régimen de caudales manipulados.

La tasa de cambio de caudales (de crecimiento y de decrecimiento) condiciona el caudal máximo o mínimo, según se incremente o decrezca el caudal, que debe dejarse circular en cada intervalo de tiempo (una hora):

$$\text{Tasa de crecimiento inducido de caudal: } Q_{t+1} (\text{máximo}) = 1,8 Q_t$$

$$\text{Tasa de decrecimiento inducido de caudal: } Q_{t+1} (\text{mínimo}) = 0,7 Q_t$$

Donde "t" son intervalos de tiempo de 1 hora.

Las infraestructuras hidráulicas destinadas sólo a la derivación de caudales no pueden llevar a término manipulaciones del régimen de caudales circulantes aguas abajo, salvo en el momento de la puesta en marcha o desconexión del aprovechamiento. En esta situación, temporal y momentánea, debe imponerse la tasa de cambio en el incremento o decrecimiento del caudal aguas abajo.

Estas tasas no son de aplicación en las maniobras de gestión de avenidas

1.16.2 Anejo 2. "Caudales de mantenimiento o ecológicos y requerimientos hídricos". Metodología

1.16.2.1 Caudales generadores

El caudal generador se define como la máxima crecida anual más probable (en el periodo 1940-2000), y se determina cogiendo la moda de la distribución de frecuencias de la serie de datos de máximas crecidas anuales, en régimen natural, del periodo seleccionado (60 años). El caudal generador soltará como mínimo una vez al año durante un intervalo de tiempo, en cómputo total desde el inicio de la crecida generada hasta al inicio de la fase de decrecimiento, de 24 horas, y en el mes en que estas crecidas se dan de manera más habitual. El caudal generador estará satisfecho siempre que no represente un perjuicio importante para la garantía de abastecimiento de aguas potable (periodos de sequía), y siempre que no se haya dado ya con anterioridad dentro del año hidrológico.

Respecto a las tasas de cambio se indica lo mismo que se reprodujo en el apartado anterior sobre la Normativa.

1.17 Resumen de las Normativas

En la siguiente tabla se indican los artículos y apéndices normativos dispuestos para cada una de las Demarcaciones y componente del caudal ecológico a estudiar

Demarcación*	Nº Artículos Qmax	Nº Artículos Qgen	Nº Artículos tasas de cambio	Artículos Qmax	Artículos Qgen	Artículos tasas de cambio	Apéndices Normativa Qmax	Apéndices Normativa Qgen	Apéndices Normativa tasas de cambio	Nº Masas de agua Qmax	Nº Masas de agua Qgen	Nº Masas de agua tasas de cambio	Observación
Cantábrico Oriental	1	No dispuesto	No dispuesto	Artículo 12	No dispuesto	No dispuesto	Apéndice 4.4	No dispuesto	No dispuesto	3	0	No dispuesto	-
Cantábrico Occidental	1	No dispuesto	No dispuesto	Artículo 10	No dispuesto	No dispuesto	Apéndice 4.3	No dispuesto	No dispuesto	5	0	No dispuesto	-
Miño-Sil	1 (conjunto)	1 (conjunto)	1 (conjunto)	Artículo 10.	Artículo 10.	Artículo 10.	Apéndice 5.6.	Apéndice 5.2.	Apéndice 5.3 Tasas caudales generadores /Apéndice 5.4.Tasas situaciones ordinarias	280	280	280	Tasas de cambio diarias
Duero	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 9. Apartado 3	Artículo 9. Apartado 4	Artículo 9. Apartado 5	Apéndice 5.3.	Apéndice 5.4.	Apéndice 5.4. (para caudales ecológicos de crecida)	14	20	20	Tasas de cambio horarias
Tajo	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 11 Apartado 5	Artículo 10 Apartado 4	Artículo 11 Apartado 5	Apéndice 5.4.	Apéndice 5.3.	Apéndice 5.5.(para caudales máximos) Apéndice 5.4 (para generadores, dan la pendiente del hidrograma)	17	15	17	Tasas de cambio horarias
Guadiana	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 10 Apartado 4	Artículo 9 Apartado 4	Artículo 9 Apartado 4	Apéndice 6.4.	Apéndice 6.6.	Apéndice 6.5. (para caudales máximos) Apéndice 6.6. (para caudales generadores)	31	32	44 (para máximos) 32 (para generadores)	Tasas de cambio horarias. De las cuarenta y cuatro tasas para máximos 5 son tasas diarias
Guadalquivir	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 11 Apartado 1	Artículo 11 Apartado 2	Artículo 11 Apartado 2	Apéndice 6.1.2.	No dispuesto	No dispuesto	14	0	No dispuesto	-

Tarea 1: Recopilación de la información existente

Demarcación*	Nº Artículos Qmax	Nº Artículos Qgen	Nº Artículos tasas de cambio	Artículos Qmax	Artículos Qgen	Artículos tasas de cambio	Apéndices Normativa Qmax	Apéndices Normativa Qgen	Apéndices Normativa tasas de cambio	Nº Masas de agua Qmax	Nº Masas de agua Qgen	Nº Masas de agua tasas de cambio	Observación
Segura	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 9. Apartados 2, 3 y 10	Artículo 9. Apartado 2	Artículo 9. Apartado 2	Apéndice 6.1.3	Apéndice 6.1.4	Apéndice 6.1.5.	21	7	5	Tasas horarias
Júcar	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 10. Apartado 3	Artículo 10. Apartado 4	Artículo 10. Apartado 5	Apéndices 5.3. y 5.5.	Apéndice 5.4.	Apéndices 5.3. y 5.5.	52	7	59	Tasas horarias
Ebro	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 10. Apartado 5	Artículo 10. Apartado 5	Artículo 10. Apartado 5	Apéndice 6.5.1.	Apéndice 6.5.3.	Apéndice 6.5.2.	11	11	11	Tasas horarias
Ceuta	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	Ver Artículo 8 Normativa
Melilla	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	Ver artículo 8 Normativa
Islas Baleares	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	Ver Artículo 40 Normativa
Galicia Costa	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 17 Apartado 1	Artículo 17 Apartado 4	Artículo 17 Apartado 3	Apéndice 8.3	Apéndice 8.3	Apéndice 8.3	20	24	11 (para máximos centrales hidroeléctricas) 24 (para qgen)	Tasas de cambio para centrales hidroeléctricas minutas. Para caudales generadores diarias
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 12 Apartado 1	Artículo 12 Apartado 2	Artículo 12 Apartado 3	Apéndice 6.2	Apéndice 6.3	Apéndice 6.3	8	9	9 (para caudales generadores)	Tasas de cambio diarias En el 2º Ciclo no se dispuso nada de caudales máximos y generadores
Guadalete y Barbate	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 12 Apartado 1	Artículo 12 Apartado 2	Artículo 12 Apartado 3	Apéndice 6.2	Apéndice 6.3	Apéndice 6.3	7	7	7 (para máximos)	Tasas de cambio diarias En el 2º Ciclo no se dispuso nada de caudales máximos y generadores
Tinto, Odiel y Piedras	1 (apartado)	1 (apartado)	1 (apartado)	Artículo 12 Apartado 1	Artículo 12 Apartado 2	Artículo 12 Apartado 3	Apéndice 6.2	Apéndice 6.3	Apéndice 6.3	3	3	4 (para máximos)	Tasas de cambio diarias En el 2º Ciclo no se dispuso nada de caudales máximos y generadores

Demarcación*	Nº Artículos Qmax	Nº Artículos Qgen	Nº Artículos tasas de cambio	Artículos Qmax	Artículos Qgen	Artículos tasas de cambio	Apéndices Normativa Qmax	Apéndices Normativa Qgen	Apéndices Normativa tasas de cambio	Nº Masas de agua Qmax	Nº Masas de agua Qgen	Nº Masas de agua tasas de cambio	Observación
<i>Distrito cuenca fluvial de Cataluña</i>	No dispuesto	1 (apartado)	1 (apartado)	No dispuesto	Artículo 18 Apartado 7	Artículo 18 Apartado 7	No dispuesto	Anexo 1.4.2	Anexo 1.4.2.	0	11	Disponen fórmula de cálculo	El cálculo de tasas debe ser horaria
<i>La Gomera</i>	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	-
<i>La Palma</i>	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	-
<i>Tenerife</i>	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	-
<i>El Hierro</i>	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	-
<i>Fuerteventura</i>	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	-
<i>Lanzarote</i>	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	-
<i>Gran Canaria</i>	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	No dispuesto	0	0	No dispuesto	-

* En cursiva Demarcaciones intracomunitarias

RESUMEN:

- Las Demarcaciones que disponen todos los componentes de caudales ecológicos en sus Normativas son:
 - Intercomunitarias: Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana, Segura, Júcar y Ebro
 - Intracomunitarias: Galicia Costa, Cuencas Mediterráneas Andaluzas, Guadalete y Barbate, Tinto, Odiel y Piedras
- No han dispuesto en sus Normativas caudales máximos, generadores y tasas de cambio las Demarcaciones de Ceuta y Melilla (intercomunitarias) y las Islas Canarias y Baleares (intracomunitarias).
- La Normativa del Distrito de la cuenca fluvial de Cataluña no dispone los caudales máximos.
- No disponen apéndices normativos para caudales generadores las Demarcaciones del Cantábrico (Oriental y Occidental) y Guadalquivir.
- La demarcación del Miño-Sil es donde se han dispuesto caudales máximos, generadores y tasas de cambio en un mayor número de masas de agua (280).
- Prácticamente, todas las Demarcaciones presentan en sus apéndices normativos tasas de cambio horarias, a excepción de las Demarcaciones de Miño Sil, Cuencas Mediterráneas Andaluzas, Guadalete y Barbate y Tinto Odiel y Piedras, que presentan tasas de cambio diarias.

1.18 Resumen de los valores dispuestos en las distintas Normativas para el 3er Ciclo de Planificación

A continuación se presenta , a título orientativo, el rango de valores dispuestos para los caudales máximos y generador dispuestos en los distintos Apéndices Normativos.

Demarcación*	Nº Masas de agua Qmax	Nº Masas de agua Qgen	Caudal máximo m³/s				Caudal generador				
			Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Promedio m³/s	Periodicidad	Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Promedio m³/s	Periodo de retorno (años)	Frecuencia
Cantábrico Oriental	3	0	26,0	1,8	10,2	Mensual	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Cantábrico Occidental	5	0	220,0	8,0	83,2	Mensual	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Miño-Sil	280	280	1.486,6	0,02	31,9	Trimestral (Oct-Dic/Ene-Mar/Abr-Jun/Jul-Sep)	3.635,0	0,2	151,5	3	Meses (ordenados de más a menos frecuencia de aparición): Diciembre, Febrero, Enero, Octubre, Noviembre, Marzo
Duero	14	20	35,0	3,2	11,5	Meses de verano (Julio, Agosto, Septiembre)	373,0	7,0	113,7	2,4 / 3,3/ 3,8	De Noviembre a Mayo
Tajo	17	15	411,1	3,8	67,7	Tres periodos: Oct-Ene (4 meses) Feb-Abr (3 meses) May-Sep (5 meses)	682,9	15,8	177,0	s/d	s/d
Guadiana	31	32	526,5	0,1	25,9	Nov-Marzo (5 meses) Abr-Oct (7 meses)	119,1	0,1	10,9		s/d
Guadalquivir	14	0	84,4	1,7	27,5	Nov-Abr (6 meses)/ Freza /May-Oct (6 meses)	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Segura	21	7	60,0	1,6	17,9	Semestral (Sep-Feb / Mar-Ago)	54,3	6,3	25,4	5	s/d
Júcar	52	7	90,6	0,1	15,1	Mensual	74,0	17,0	48,3	1,1 / 1,3 / 2 / 4	s/d
Ebro	11	11	1.900,0	5,0	248,0	Todo el año	1.200,0	1,0	138,4	2	Todo el año
Ceuta	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Melilla	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Islas Baleares	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Galicia Costa	20	24	182,3	0,2	16,5	Mensual	453,8	1,0	94,0		s/d

Demarcación*	Nº Masas de agua Qmax	Nº Masas de agua Qgen	Caudal máximo m³/s				Caudal generador				
			Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Promedio m³/s	Periodicidad	Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Promedio m³/s	Periodo de retorno (años)	Frecuencia
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	8	9	15,5	0,9	6,3	Periodo húmedo (Nov-Abr) Periodo seco (May-Oct)	82,3	8,6	36,3	5,5 / 6,5	Dic-Ene/Dic-Feb/Nov-Mar/Ene-Mar/Oct-Feb/Ene-May/Sep-Jun
Guadalete y Barbate	7	7	49,1	0,4	14,1	Periodo húmedo (Nov-Abr) Periodo seco (May-Oct)	136,2	6,8	71,6	entre 3,9 y 4,6	Diciembre
Tinto, Odiel y Piedras	3	3	11,6	1,2	6,1	Periodo húmedo (Nov-Abr) Periodo seco (May-Oct)	45,9	42,1	44,2	entre 4,3 y 4,5	Diciembre
Distrito cuenca fluvial de Cataluña	0	11	s/d	s/d	s/d	s/d	74,3	0,8	21,3	s/d	Dic-Feb / May-Jun / Dic-Ene/Sep-Nov/Abr-May
La Gomera	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
La Palma	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Tenerife	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
El Hierro	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Fuerteventura	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Lanzarote	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Gran Canaria	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d

* En cursiva Demarcaciones intracomunitarias

RESUMEN:

Los valores de caudales máximos y generadores presentan, lógicamente, una alta variabilidad, ya que dependen de las características (muy distintas en España) de cada ámbito de estudio. No obstante, a continuación se resumen los principales aspectos más destacables de la tabla anterior:

- El caudal máximo más elevado ($1900 \text{ m}^3/\text{s}$) se establece en la Demarcación del Ebro para el embalse de Flix, seguido del establecido en la Demarcación del Miño-Sil en el embalse de Frieira, $1.486,6 \text{ m}^3/\text{s}$, para los meses de octubre a diciembre.
- En sentido contrario, el caudal máximo más bajo ($0,02 \text{ m}^3/\text{s}$) se establece en la Demarcación del Miño Sil, en el lago de Guitiriz, para los meses de verano (julio a septiembre).
- Si se consideran los valores promedio de caudales máximos, la Demarcación del Ebro presenta el valor más elevado ($248 \text{ m}^3/\text{s}$) mientras que el promedio más bajo lo presenta la Demarcación Del Tinto, Odiel y Piedras con un valor de $6,1 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Respecto a la periodicidad de los caudales máximos, prácticamente, todas las Demarcaciones presentan dos periodos relacionados con el periodo seco y húmedo, a excepción de la Demarcación del Duero, que limita los caudales máximos a los meses de verano, teniendo en cuenta el uso del agua de las demandas actuales.
- El caudal generador más elevado ($3.635 \text{ m}^3/\text{s}$) se dispone en la Demarcación del Miño-Sil, así mismo en el embalse de Frieira, mientras que el mínimo caudal generador se establece en la Demarcación del Guadiana, para el embalse de Cornalbo, que adquiere un valor de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.



Tarea 1: Recopilación de la información existente

ANEXO 4: Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH)

**ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE
CAUDALES MÁXIMOS, GENERADORES Y
TASAS DE CAMBIO DE LA DEMARCACIÓN
DEL EBRO**

MAYO 2023

1. Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH)

La ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica, más conocida como IPH, es la norma española donde se detallan lo que son los caudales ecológicos y cómo calcularlos. Para determinar el régimen de caudales ecológicos, además de los caudales mínimos, se citan otras componentes:

Caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas más vulnerables a estos caudales, especialmente en tramos fuertemente regulados. Pero el cálculo no debe ser sólo su magnitud, también se pide su distribución temporal, con el objetivo de establecer una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea compatible con los requerimientos de los diferentes estadios vitales de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua. **Caudales de crecida**, con objeto de controlar la presencia y abundancia de las diferentes especies, mantener las condiciones físico-químicas del agua y del sedimento, mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica y favorecer los procesos hidrológicos que controlan la conexión de las aguas de transición con el río, el mar y los acuíferos asociados. **Tasa de cambio**, con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, como pueden ser el arrastre de organismos acuáticos durante la curva de ascenso y su aislamiento en la fase de descenso de los caudales.

Con respecto a la **caracterización de los caudales máximos** que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas se propone la siguiente metodología: se definirán, al menos, en dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos, correspondientes al periodo húmedo y seco del año. Se realizará analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. Con la finalidad de preservar las magnitudes fundamentales del régimen natural, se recomienda no utilizar percentiles superiores al 90%, en consonancia con los umbrales propuestos en apartados posteriores para los índices de alteración hidrológica.

Pero la IPH son se queda ahí, pide que el régimen sea verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. Dando posteriormente indicaciones que son las que se exponen en la metodología que se va a aplicar.

Respecto a la **tasa de cambio**, la IPH establece que se establecerá una tasa máxima de cambio, definida como la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo, tanto para las condiciones de ascenso como de descenso de caudal. Su estimación se realizará a partir del análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de, al menos, 20 años de duración. Se calcularán las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se podrá contar con una estimación media de las tasas de cambio. Se recomienda que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso. Atención, que permite excepciones: En determinados casos particulares será necesario considerar otra escala temporal que permita limitar la tasa de cambio a nivel horario.

Respecto al **régimen de crecidas**, la IPH sólo solicita su caracterización en aquellos tramos situados aguas abajo de importantes infraestructuras de regulación la crecida asociada al caudal generador será asociada al caudal de sección llena del cauce (lo que define su magnitud). Deberá definirse incluyendo su magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa máxima de cambio, tanto en la curva de ascenso como en la curva de descenso del hidrograma de la crecida.

La tasa máxima de cambio, la frecuencia y la duración de la crecida asociada al caudal generador se obtendrán, preferentemente, del análisis estadístico de una serie representativa del régimen hidrológico del río y con, al menos, 20 años de datos.

La validación del caudal generador deberá llevarse a cabo mediante la modelación hidráulica del cauce, en un tramo representativo de su estructura y funcionalidad, teniendo en cuenta, para ello, los estudios de

inundabilidad del tramo afectado, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras.

Entrando en el caso particular de los **ríos no permanentes**, la IPH indica lo siguiente: en los ríos temporales se cita que se deberían utilizar los mismos criterios definidos para la determinación de la distribución mensual de caudales mínimos y máximos en ríos permanentes. Mientras que en los intermitentes y efímeros que se determine los caudales generadores y el tiempo de recesión tras la crecida.



Tarea 1: Recopilación de la información existente

ANEXO 5: Borrador Guía española de caudales ecológicos

**ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE
CAUDALES MÁXIMOS, GENERADORES Y
TASAS DE CAMBIO DE LA DEMARCACIÓN
DEL EBRO**

MAYO 2023

Contenido

1. Borrador de la Guía española de caudales ecológicos	1
1.1 Documento 1: Technical_guidance_Qeco_Ed0.4_Permanentes.doc	1
1.2 Guia_max_Permanentes_V0.7.doc.....	4

1. Borrador de la Guía española de caudales ecológicos

Dentro de la recopilación de información se ha tenido en cuenta el Borrador de la Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos que, en 2008, sirvió de apoyo en la implantación de lo dispuesto en la IPH (*ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica*), referente a todos los componentes de los caudales ecológicos.

Este borrador consta de distintos ficheros de texto (word), en función de las distintas categorías de las masas de agua (ríos permanentes, ríos temporales, lagos y aguas de transición). De todos ellos en el contexto del presente trabajo están relacionados los ficheros denominados: *Technical_guidance_Qeco_Ed0.4_Permanentes.doc* y *Guia_max_Permanentes_V0.7.doc*.

El primer documento (*Technical_guidance_Qeco_Ed0.4_Permanentes.doc*) se encarga de definir los métodos de cálculo para todos los componentes de los caudales ecológicos, aunque no se definen los caudales máximos, que quedan definidos en el segundo fichero (*Guia_max_Permanentes_V0.7.doc*).

1.1 Documento 1: *Technical_guidance_Qeco_Ed0.4_Permanentes.doc*

Como se ha comentado en este documento se definen todos los aspectos metodológicos para la determinación de los componentes del caudal ecológico dispuestos en la IPH. En él se desarrollan la distribución temporal de caudales mínimos y la caracterización del régimen de crecidas. Aunque se mantienen dos apartados para la distribución temporal de caudales máximos y tasa de cambio, al tratarse de un borrador, no disponen de información. La información de caudales máximos se encuentra en el fichero denominado *Guia_max_Permanentes_V0.7.doc*.

Respecto a la distribución temporal de caudales mínimos se describe tanto los métodos hidrológicos como los métodos de hábitat, además, en primer lugar, se define como seleccionar puntos clave para realizar el análisis de hábitat. Estos métodos se describen detalladamente, aunque no son objeto de esta recopilación bibliográfica.

Respecto a los caudales generadores se indica que *“El régimen de caudales ecológicos deberá incluir, dentro de su variabilidad inter e intranual, un régimen de avenidas consistente con los objetivos seleccionados dado que los procesos geomorfológicos son clave para el mantenimiento de la funcionalidad y estructura de los ecosistemas fluviales y de la dinámica propia del río.”*

Se indica que el régimen de avenidas puede estar compuesto por los siguientes tipos de crecidas fundamentales: caudal generador, de limpieza y de conectividad.

El **caudal generador** es responsable, en buena medida, de la morfología del cauce, al proporcionar las condiciones para el desarrollo de procesos de erosión, transporte y sedimentación básicos para el correcto funcionamiento del sistema fluvial. El carácter del sedimento transportado, y las características del lecho y las riberas, incluyendo lo referente a la vegetación que se asienta sobre ellas, completan las condiciones que definen la geomorfología fluvial. Aunque las avenidas de mayor entidad transportan, por evento, una mayor cantidad de sedimento, las avenidas más frecuentes y de magnitud inferior transportan, en conjunto, un volumen mayor a largo plazo. Las crecidas algo inferiores, o próximas, al nivel de bankfull son las que ejercen un mayor trabajo geomorfológico, dado que los caudales bajos no son capaces, pese a su frecuencia, de transportar grandes cantidades de sedimento, y los caudales más altos tienen, debida a su escasa frecuencia, un papel menos importante en el transporte de sedimentos, aunque cumplen otras funciones esenciales para el buen estado del medio fluvial. Por tanto, el caudal generador que se puede asociar con aquel que toma valores parecidos al caudal de bankfull se constituye como el principal elemento en el mantenimiento morfológico del cauce.

El caudal de limpieza se define como el caudal generado por avenidas habituales o inferiores a la avenida de bankfull y que permiten la limpieza de los sedimentos más finos acumulados en el sustrato. En general este tipo de avenidas se sitúan dentro de los límites definidos por entre el 30 y el 50% del caudal generador del lecho. En muchos de nuestros ríos estos caudales ya son proporcionados asociadas por las aportaciones no reguladas o las aportaciones intermedias de nuestros ríos principales.

El caudal de conectividad: mantiene la conexión transversal cauce-llanura de inundación, para ello es necesario un caudal que rebase el cauce y acceda a la llanura inundándola, por consiguiente debe ser superior al caudal generador del lecho en régimen natural. Dado el nivel de antropización de las riberas de muchos de nuestros ríos y la multitud de infraestructuras emplazadas en el Dominio Público Hidráulico, la implantación de este caudal puede ser complicada e implicar unos niveles de riesgos que es necesario evaluar. Por ello puede ser recomendable restringir su aplicación a aquellas masas de agua donde por su carácter natural e importancia ambiental sea interesante mantener dicha conectividad y que a su vez presenten la regulación de una gran presa que produzca la laminación de dichos eventos de avenida y por tanto sea necesaria su recuperación como elemento hidrológico del régimen de caudales ecológicos.

Respecto a la metodología de caudales generadores se indica:

- La definición de las características del caudal generador deberá realizarse teniendo en cuenta los aspectos fundamentales de una crecida. Entre estos elementos, cabe citar la **magnitud, frecuencia, duración, época y tasa máxima de cambio**.
- El caudal generador se puede aproximar al caudal de sección llena o nivel de bankfull o en su defecto por la Máxima Crecida Ordinaria (M.C.O).
- Siguiendo las indicaciones recogidas en "Aspectos prácticos de definición de la máxima crecida ordinaria" (MIMAM, 2003) se propone la expresión siguiente para el cálculo de la M.C.O que puede aproximarse al caudal generador del lecho y que se obtiene en base a la serie máximos caudales medios diarios en régimen natural de una serie representativa de al menos 10 años

Para la determinación de MCO se puede disponer de la siguiente información sobre caudales máximos:

- a) Serie de registros anuales en una estación de aforos
- b) Leyes de frecuencia de caudales máximos

A continuación describe el proceso a seguir en cada uno de los casos para estimación de la máxima crecida ordinaria (M.C.O).

Cálculo de estadísticos a partir de datos muestrales

En los casos en que exista una estación de aforos que disponga de una serie de registros lo suficientemente extensa para determinar los valores de la media (Q_m) y coeficiente de variación (C_v) a partir de los datos de la muestra, las expresiones a utilizar serán:

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} \quad C_v = \frac{\sigma}{Q_m}$$

Donde:

Q_m	=	Caudal Medio
C_v	=	Coficiente de Variación
q_i	=	Caudales máximos instantáneos de cada uno de los años de la serie
n	=	Número total de años
σ	=	Desviación típica = $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{Q})^2}$

El valor que la Q_{MCO} se obtendrá a partir de los valores Q_m y C_v mediante la expresión siguiente:

$$\frac{Q_{MCO}}{Q_M} = 0,7 + 0,6 C_v$$

Cálculo de estadísticas a partir de leyes de frecuencia

En muchas situaciones no existen series de registros disponibles en las estaciones de aforos ó estas tienen un longitud muy escasa, en cuyo caso hay que calcular los parámetros estadísticos a partir de la ley de frecuencia.

El proceso metodológico que se propone incluye las siguientes etapas:

Estimación de la ley de frecuencia de caudales máximos instantáneos. Esta ley se puede obtener mediante métodos hidrometeorológicos, tal como se ha descrito en apartados anteriores o puede provenir directamente de otro estudio hidrológico que ya se haya llevado a cabo en el tramo de río de referencia y que se considere fiable.

- Estimación de la media (Q_m) y el coeficiente de variación (C_v) de la población representada por dicha ley. Para ello habrá que generar un número suficiente y aleatorio de valores de caudales que sigan dicha ley y calcular directamente la media y el coeficiente de variación de dicha serie.
- Obtención de valor Q_{MCO} mediante la expresión anterior o a través de la siguiente expresión alternativa, aplicable si se conoce la ley de frecuencia y el coeficiente de variación:

$$T(Q_{MCO}) = 5 \cdot C_v$$

Componentes del caudal generador

Para la implantación del caudal generador es recomendable fijar una tasa de cambio del caudal por unidad de tiempo tanto para ascenso o incremento como para el descenso o decremento del mismo que amortigüe y atenúe los cambios de caudal. Los cambios efectuados durante la recreación del hidrograma del caudal generador o los cambios provocados por la operación de las infraestructuras de regulación pueden llegar a provocar alteraciones sobre la habitabilidad de las comunidades que habitan en los sistemas fluviales especialmente en aquellos situados inmediatamente aguas abajo de las infraestructuras hidráulicas. Por esta razón es necesario fijar una tasa de cambio de caudal que amortigüe los cambios en el régimen de caudales.

En este sentido es interesante comentar la tasa de cambio desarrollada por la Agència Catalana de l'Aigua dentro del "Pla Sectorial de Cabals de Manteniment" en el que atribuyen a como recomendación de las siguientes tasas de crecimiento y descenso del caudal generador:

- Tasa de crecimiento inducido del caudal: Q_{t+1} (máximo) = 1,8 Q_t
- Tasa de descenso inducido del caudal: Q_{t+1} (mínimo) = 0,7 Q_t

Donde "t" son los intervalos de tiempo de 1 hora.

Validación del régimen de crecidas

La validación de este régimen de crecidas deberá llevarse a cabo mediante la modelación hidráulica del cauce, en un tramo representativo de su estructura y funcionalidad, teniendo en cuenta, para ello, los estudios de inundabilidad del tramo afectado, las condiciones físicas y biológicas actuales, sus posibles efectos perjudiciales sobre las variables ambientales y los riesgos asociados desde el punto de vista de las infraestructuras y de los usos situados en las proximidades del Dominio Público Hidráulico.

Por último, se incluye un apartado de relación de la normativa vigente, donde se indica que la definición de las crecidas con capacidad generadora deberá realizarse considerando el objetivo de calidad del estado ecológico del río, representado por los indicadores hidromorfológicos que afectan a los indicadores biológicos, que aparecen especificados en el Anexo V de la Directiva 2000/60/CE. También se indica que

deberá integrar los aspectos básicos recogidos en los planes de gestión del riesgo de inundación y la información y participación de la población.

1.2 Guia_max_Permanentes_V0.7.doc.

En este fichero se describe la distribución temporal de caudales máximos. Entendiendo por caudales máximos aquellos que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas.

Se indica que el régimen de caudales máximos deberá ser cuantificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, de forma que se garantice tanto una adecuada existencia de refugio para los estadios o especies más sensibles como el mantenimiento de la conectividad del tramo. El uso de estos modelos permitirá realizar las siguientes determinaciones: (transcritas literalmente de la guía):

Evaluación de la afección por velocidades críticas Los caudales artificialmente altos y continuados pueden reducir las poblaciones de los estadios y especies más sensibles por agotamiento al superar las velocidades críticas, produciendo su desplazamiento hacia aguas abajo o incluso su muerte. Es recomendable durante la gestión ordinaria no superar las Velocidades Críticas (V_{crit}) o velocidad de agotamiento, dado que una gestión sostenible de las infraestructuras hidráulicas debe asegurar el mantenimiento de una condiciones medias en el medio fluvial asimilables a las velocidades óptimas de desplazamiento (Velocidades a las que el pez es capaz de desplazarse grandes distancias manteniendo un coste energético de desplazamiento mínimo) (*aerobically powered steady swimming*). Adicionalmente como concepto es necesario diferenciar dichas velocidades de las velocidades máximas (V_{max}) siendo las máximas aquellas velocidades en la que un pez es capaz de mantener su natación en un espacio corto de tiempo (segundos) y que puede ser utilizada en remonte de estructuras o durante acciones de huida, o durante el periodo de freza. Investigaciones recientes (Tudorache, 2008) cuantifican para algunas especies europeas la velocidad óptima entre 0.51-0.18 m/s mientras que la velocidad crítica se enmarca entre 1,13-0.28 m/s. Hay que recalcar que estas velocidades son altamente dependientes del tamaño del individuo o lo que es lo mismo de su estadio así como de la temperatura del agua y en cualquier caso están referidas a velocidad focal. En nuestros análisis mediante el uso de modelos hidráulicos 1D/2D trabajamos con velocidades medias de la columna de agua la cual difiere considerablemente de las velocidad focales. En este sentido es especialmente importante la utilización del modelo hidráulico dentro del rango de caudales de calibración aunque recoger caudales altos en las campañas de campo para facilitar los trabajos de extrapolación puede presentar dificultades tanto técnicas como de seguridad para los equipos de campo.

Para la definición de las velocidades óptimas se deberá recurrir a la recopilación de información científica específica para las especies objetivo seleccionadas en el tramo (Ver figura y tabla siguientes), a su generación específica por consulta a expertos o bien recurrir al análisis de envolventes de curvas de preferencia. En caso de carecer de información deberá recurrirse a los umbrales de velocidades críticas definidas en la instrucción.

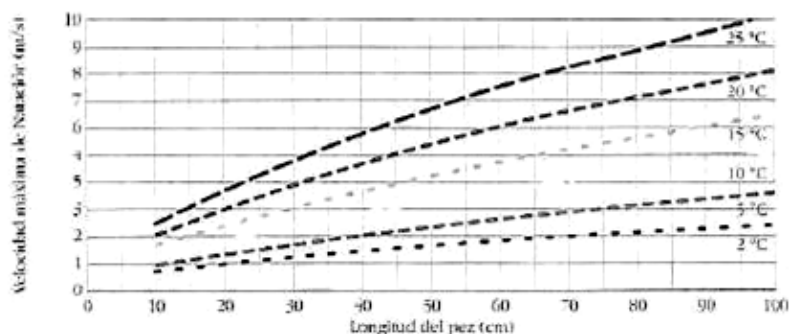


Figura.- Velocidad máxima de natación (V_{crit}) frente a longitud de pez y temperatura del agua. Extraído del "Manual práctico de minicentrales hidroeléctricas. AEMS".

Tarea 1: Recopilación de la información existente

Table 1. Body length (bl), critical swimming speed (U_{crit}), optimal swimming speed (U_{opt}), cost of transport (CoT) at U_{opt} , maximum swimming speed (U_{max}) and recommended maximum water speeds in culverts for bullhead *Cottus gobio*, L., gudgeon *Gobio gobio*, L., stone loach *Barbatula barbatula*, L., roach *Rutilus rutilus*, L., brown trout *Salmo trutta*, L., common carp *Cyprinus carpio*, L. and perch *Perca fluviatilis*, L. (mean \pm SD, $N = 8$).

Species	bl (cm)	U_{crit} (cm·s ⁻¹)	U_{opt} (cm·s ⁻¹)	COT at U_{opt} (J·N ⁻¹ ·m ⁻¹)	U_{max} (cm·s ⁻¹)			Maximum water speed (cm·s ⁻¹)
					10 °C	15 °C	20 °C	15 °C
<i>C. gobio</i>	7.4 \pm 0.9	–	–	–	112.46 \pm 6.72	90.43 \pm 5.74	82.63 \pm 3.24	61
<i>G. gobio</i>	10.0 \pm 0.3	54.16 \pm 2.02	47.09 \pm 2.41	0.32 \pm 0.02	–	–	–	–
	12.3 \pm 0.3	60.17 \pm 1.17	51.00 \pm 2.05	0.32 \pm 0.03	117.61 \pm 1.34	136.78 \pm 1.53	116.74 \pm 1.87	92
<i>B. barbatula</i>	7.2 \pm 0.5	28.25 \pm 0.32	18.46 \pm 4.47	0.28 \pm 0.03	108.04 \pm 1.52	83.54 \pm 1.46	72.73 \pm 1.57	62
<i>R. rutilus</i>	4.6 \pm 0.2	45.78 \pm 2.10	30.93 \pm 6.61	0.42 \pm 0.03	55.12 \pm 1.37	62.37 \pm 0.43	64.87 \pm 0.26	28
	7.3 \pm 0.3	59.45 \pm 1.27	41.49 \pm 13.07	0.25 \pm 0.02	–	–	–	–
	15.7 \pm 1.5	110.75 \pm 6.71	–	–	139.5 \pm 1.64	133.25 \pm 1.53	126.00 \pm 1.36	50
<i>S. trutta fario</i>	7.8 \pm 0.2	65.43 \pm 0.54	31.64 \pm 0.53	0.26 \pm 0.02	125.86 \pm 0.58	93.74 \pm 0.38	–	45
<i>C. carpio</i>	4.9 \pm 0.1	43.31 \pm 2.15	30.59 \pm 4.36	0.35 \pm 0.03	–	–	–	–
	10.7 \pm 0.2	62.30 \pm 4.15	–	–	98.43 \pm 0.42	103.42 \pm 0.34	97.34 \pm 0.63	57
	22.8 \pm 3.9	87.09 \pm 5.24	–	–	126.25 \pm 1.45	134.23 \pm 1.52	125.42 \pm 1.25	69
<i>P. fluviatilis</i>	10.1 \pm 0.2	80.56 \pm 1.50	–	–	–	–	–	–
	17.8 \pm 0.4	113.04 \pm 1.37	–	–	–	–	–	–

Tabla. Velocidades máximas, críticas y óptimas en función del tamaño del pez. Extraído de "A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species". Tudorache, C., et Al. Ecology of Freshwater Fish 2008: 17: 284–291.

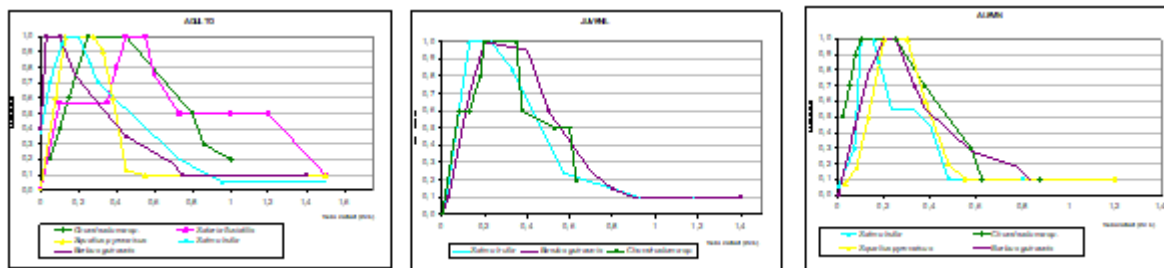


Figura.- Agrupación de curvas de idoneidad en la Confederación Hidrográfica del Júcar (Martínez Capel, 2006). Se aprecia que la agrupación de los extremos de idoneidad, pudiendo ser utilizados como velocidades mas restrictivas.

		Velocidad (m/s)														
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Adulto	+ Sensible	Noafección			Analizarafección			Afección								
	- Sensible	Noafección						Analizarafección			Afección					
Juvenil	+ Sensible	Noafección				Analizarafección			Afección							
	- Sensible	Noafección					Analizarafección				Afección					
Alevin	+ Sensible	Noafección		Analizarafección		Afección										
	- Sensible	Noafección			Analizarafección			Afección								

Tabla.- Estimación de intervalos de afección en función de curvas de idoneidad. Procesado a partir de curvas desarrolladas en la Confederación Hidrográfica del Júcar.

Una vez recopiladas las velocidades óptimas y críticas de las especies objetivo se recomienda la realización de un análisis espacial de la distribución de velocidades, ver tabla y figura siguiente, que serán usados para la justificación del régimen de caudales máximos. Como buena práctica, se deberá asegurar que al menos **se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio** (Zona amarilla y verde de la tabla siguiente) en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles con el fin de aplicar el principio de precaución y situarnos del lado de la seguridad. Cuando la superficie mojada que supera las velocidades óptimas supera el 30% de la superficie del tramo (**refugio inferior al 70% de la superficie**) será necesario analizar las condiciones de conectividad y la capacidad de refugio del tramo. En este sentido hay que considerar que los estadios más sensibles, generalmente grupos de edades 0+ (larvas-alevines-juveniles), tienden a refugiarse en las proximidades del fondo y las orillas huyendo de aquellas zonas medias y superficiales de la columna de agua y de la zona media del cauce (*Swimming ability and differential use of velocity patches by O+ cyprinids*. Garner, P. Ecology of Freshwater Fish 1999: 8: 55-58). En este sentido la asimilación de las velocidades óptimas a las velocidades medias

de la columna de agua nos sitúa de nuevo del lado de la seguridad protegiendo a dichos estadios más sensibles.

Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)						
	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
5	33,6%	5,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6	40,9%	12,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
7	46,7%	19,5%	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
8	51,2%	24,9%	6,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9	55,0%	30,1%	11,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
10	58,4%	35,1%	15,7%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%
11	61,5%	39,2%	19,8%	5,8%	0,0%	0,0%	0,0%
12	64,1%	42,9%	23,4%	9,9%	0,1%	0,0%	0,0%
13	67,0%	46,4%	26,7%	13,2%	1,7%	0,0%	0,0%
14	69,2%	49,4%	30,2%	16,2%	4,5%	0,0%	0,0%
15	71,3%	52,0%	33,7%	19,1%	7,9%	0,1%	0,0%
16	73,0%	54,3%	36,8%	21,8%	11,0%	0,8%	0,0%
17	74,4%	56,4%	39,4%	24,3%	13,5%	3,2%	0,0%
18	75,7%	58,4%	41,8%	26,7%	15,9%	5,7%	0,1%
19	77,0%	60,5%	44,2%	29,1%	18,0%	8,5%	0,4%
20	78,1%	60,5%	46,5%	31,5%	20,3%	11,2%	1,8%

Tabla. % de Superficie del tramo donde la Velocidad supera la Velocidad óptima

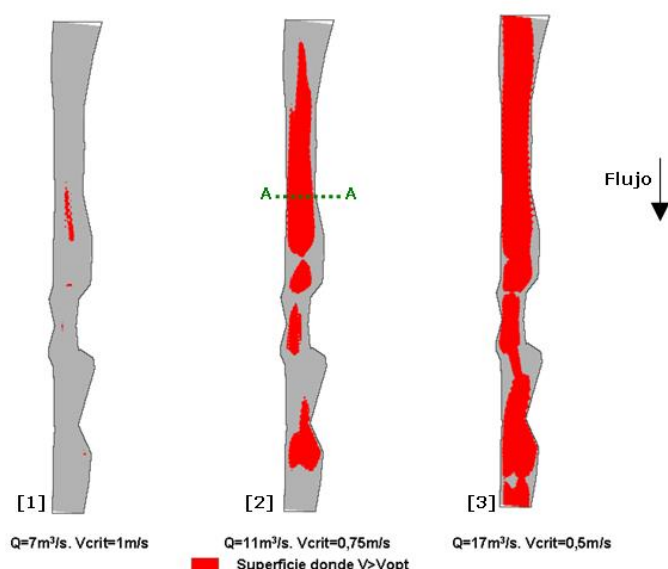


Figura.- Ejemplo de análisis espacial de la distribución de velocidades. [1] Zona verde de la tabla. Vemos que espacialmente no se producen rupturas de conectividad. [2] Zona amarilla. Hay refugio suficiente aunque es necesario analizar las velocidades en secciones concretas (AA) para evitar rupturas de conectividad. Su viabilidad será función del tramo y de las especies objetivo presentes. [3] Zona roja. Escasa capacidad de refugio y ruptura de la conectividad. No recomendable.

Comparación del hábitat potencial en régimen natural y en régimen invertido: En aquellos ríos con régimen fuertemente invertido se analizará las diferencias existentes en superficie de hábitat potencial respecto de los caudales medios en régimen natural y en régimen aforado. Generalmente estas diferencias se producirán en primavera-verano, meses en los que se realiza las sueltas para riego y donde podrían apreciarse las afecciones en caudales máximos. Estas diferencias, ya sean pérdidas o ganancias de hábitat, serán determinadas sobre el estadio más sensible de las especies objetivo, verificando la no afección de aquellas especies con mayor figura de protección. Como regla general se intentará evitar una reducción de hábitat por debajo del 50% del HPU máximo para masas de agua permanentes y del 30% para aquellas masas de agua permanente identificadas como muy alteradas hidrológicamente, conforme a los criterios establecidos en el régimen de caudales mínimos.

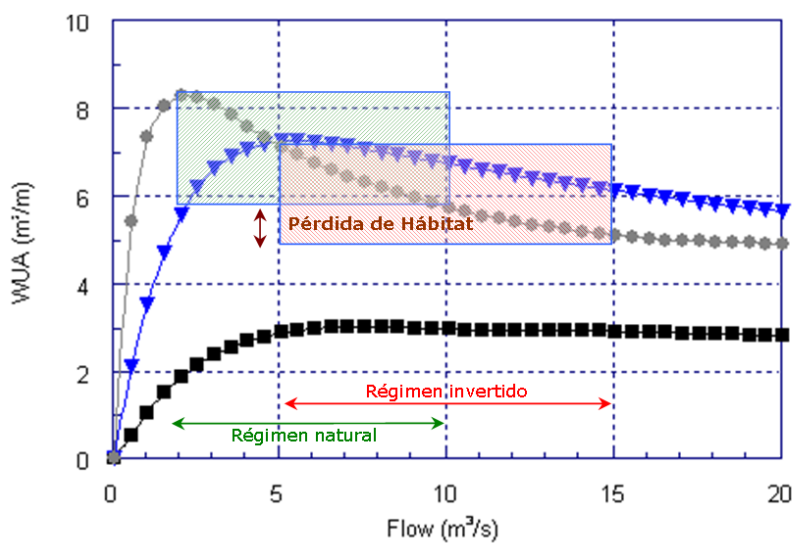


Figura.- Análisis de las pérdidas de hábitat en el estadio más sensible (Alevín-gráfica gris. Menor óptimo de caudal y mayor pendiente de pérdida de hábitat ante incrementos de caudal). Observamos que la pérdida de hábitat no reduce el hábitat disponible por debajo del 50% ($4 m^2/m$) del HPU máximo ($8,3 m^2/m$)



Tarea 1: Recopilación de la información existente

ANEXOS 6: Documentación significativa C.H.E.

**ESTUDIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE
CAUDALES MÁXIMOS, GENERADORES Y
TASAS DE CAMBIO DE LA DEMARCACIÓN
DEL EBRO**

MAYO 2023

Contenido

1. Documentación significativa C.H.E.....	1
1.1 Propuesta de caudales generadores y de conectividad para la presa de Itoiz (CHE 2016)	1
1.2 Campaña de muestreo de sedimentos en suspensión en el curso bajo del río Ebro durante la avenida controlada del 5 de mayo de 2022	2
1.3 Diseño de crecidas de mantenimiento: aplicación en el río Cinca (2022).....	2
1.4 Propuesta gestión de los desembalses desde la presa de Ciurana (ACA 2023).....	3
1.5 Plan Sectorial de caudales de mantenimiento de las cuencas internas de Cataluña. (ACA 2005) 4	4
1.6 Propuesta de del régimen de caudales ambientales en el tramo final del río Ebro y validación biológica preliminar (ACA 2008).....	4
1.7 Propuesta del régimen de caudales ambientales en las cuencas del Segre, Matarranya, Senia y afluentes del bajo Ebro tramo final del río Ebro y validación biológica (ACA 2008)	5
1.8 Consultoría y asistencia para la realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y las de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro, y de las demarcaciones hidrográficas del Segura y del Júcar (MMA-Intecsa Inarsa. 2013).....	6

1. Documentación significativa Confederación del Ebro

En el presente apartado se presenta la documentación proporcionada por la Oficina de Planificación en referencia a los trabajos más relevantes relacionados con los caudales máximos generadores y tasas de cambio.

Los trabajos proporcionados son los siguientes:

- Propuesta de caudales generadores y de conectividad para la presa de Itoiz (CHE 2016)
- Campaña de muestreo de sedimentos en suspensión en el curso bajo del río Ebro durante la avenida controlada del 5 de mayo de 2022 (Nota técnica CEDEX 2022)
- Diseño de crecidas de mantenimiento: aplicación en el río Cinca (CHE 2019)
- Propuesta gestión de los desembalses desde la presa de Ciurana (ACA 2023)
- Plan Sectorial de caudales de mantenimiento de las cuencas internas de Cataluña. (ACA 2005). Determina el régimen de caudales de mantenimiento en puntos significativos de la red fluvial principal de las cuencas internas de Cataluña, y establece criterios objetivos para determinarlo en los puntos no fijados
- Propuesta de del régimen de caudales ambientales en el tramo final del río Ebro y validación biológica preliminar (ACA 2008)
- Propuesta de del régimen de caudales ambientales en las cuencas del Segre, Matarraña, Senia y afluentes del bajo Ebro tramo final del río Ebro y validación biológica (ACA 2008)
- Resumen de régimen de caudales de mantenimiento (CHE-ACA 2008), donde se presenta una propuesta de caudales generadores en tramos significativos de la red fluvial de Cataluña.
- Consultoría y asistencia para la realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y las de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro, y de las demarcaciones hidrográficas del Segura y del Júcar (MMA-Intecsa Inarsa. 2013).

1.1 Propuesta de caudales generadores y de conectividad para la presa de Itoiz (CHE 2016)

- El objetivo principal de este estudio es proponer caudales de avenida adecuados, con especial atención a la necesidad de mantener un buen estado de conservación de los sotos protegidos que se encuentran aguas abajo del embalse.
- Se siguió una metodología holística basada en el paradigma del régimen natural de caudales (Poff, 1997) e implementada en la aplicación IAHRS (Fernández & Martínez 2010), y que consiste en la evaluación de parámetros ecológicamente significativos de una serie de caudales naturales diarios en régimen natural suficientemente larga, para lo que se empleó la estación de aforos de Liédena (1931-2015). Posteriormente se realizó una validación mediante GIS para evaluar el nivel de cobertura de la llanura de inundación durante los eventos de conectividad y verificar que no afecta a infraestructuras.
- Llega a una propuesta que incluye dos tipos diferentes de avenidas: generadoras y de conectividad, para cada una de las cuales se determina la magnitud, duración, tasa de cambio, época del año y frecuencia, incluyendo una variabilidad interanual para años secos, medios y húmedos.

Tipo de avenida	Magnitud (máx.) (m ³ /s)	Duración (d)	Época	Periodo de retorno	Tasas promedio (%)
Generadora	135 m ³ /s	3 días	Diciembre (ene-mar)	2 años	Ascenso: 100 Descenso: 40
De conectividad	158 m ³ /s	5 días	Enero (feb-mar)	4 años	Ascenso: 60 Descenso: 35

1.2 Campaña de muestreo de sedimentos en suspensión en el curso bajo del río Ebro durante la avenida controlada del 5 de mayo de 2022

- En el embalse de Flix se realizan dos avenidas controladas, una en primavera y otra en otoño, con la intención de controlar el crecimiento de macrófitos en el curso bajo del río Ebro.
- La campaña de muestreo fue realizada conjuntamente por el CEDEX y la Confederación Hidrográfica del Ebro, con colaboración de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y la Universidad de Valencia (UV).
- Tiene como objetivo calibrar los registros de las estaciones de turbidez, ubicadas aguas abajo del embalse de Flix.
- La avenida controlada se programó para el día 5 de mayo de 2022 haciéndola coincidir con el paso del satélite Sentinel-2.
- La avenida se diseñó para que alcanzara una punta de 1200 m³/s a las 8:40 am y se mantuviera durante casi 5 horas con una duración de una hora tanto de la rama ascendente como la descendente.
- Se tomaron muestras de turbidez y concentración de sólidos en suspensión. Asimismo se realizaron aforos de control.
- Tras el análisis de los registros se obtuvieron una serie de conclusiones y recomendaciones, respecto al diseño de la avenida controlada se indica lo siguiente:
 - a. *Si la avenida controlada se genera manteniendo los niveles en el embalse de Flix, es muy poco el material que se moviliza desde este embalse, moviéndose tan sólo el sedimento existente en el curso bajo.*
 - b. *Los episodios de avenidas de principios de 2022 produjeron un importante lavado del lecho, por lo que las concentraciones de sedimento en suspensión registradas durante la avenida fueron muy bajas. Esto limita la utilidad de la campaña de aforo.*
 - c. *Se recomienda que en próximas avenidas controladas se realicen movilizándolo el sedimento del embalse de Flix, reduciendo su nivel de lámina a fin de recuperar pendiente hidráulica en el vaso.*

1.3 Diseño de crecidas de mantenimiento: aplicación en el río Cinca (2022)

Estudio realizado por el Área de Calidad de las Aguas de la CHE y la Universidad de Lleida

El objetivo de este trabajo es avanzar en el diseño de un programa de crecidas de mantenimiento para su implementación en el río Cinca aguas abajo del sistema de embalses Mediano-El Grado en base a criterios hidráulicos, geomorfológicos y ambientales, que, junto con otras medidas de rehabilitación fluvial, contribuyan a mejorar la dinámica morfo-sedimentaria y con ello ecosistémica de dicho tramo. El estudio, además del tramo de río localizado aguas abajo de la presa de El Grado, incluye los tramos bajos y medios del Cinca, así como sus afluentes principales Esera y Alcanadre. La longitud es de 107 km de río.

La elaboración de este estudio se ha basado en un flujo de trabajo que integra: i) la obtención de datos, ii) el análisis hidrológico, iii) el análisis morfo-sedimentario, y iv) el diseño de crecidas de mantenimiento.

Para el análisis hidrológico se emplean series de caudales máximos instantáneos, caudales diarios y caudales con frecuencia de 15 minutos en los repositorios digitales (e.j. Sistema Automático de Información Hidrológica y Anuario de aforos).

Para el análisis morfo-sedimentario se emplean fotografías aéreas y datos recopilados en campo, granulometrías y fotografías para constatar los cambios morfológicos detectados en las fotos aéreas.

El análisis hidrológico junto con el diagnóstico morfo-sedimentario permite la identificación de dos sectores centinelas o experimentales para su potencial rehabilitación. Los sectores seleccionados han sido "Grado" localizado justo aguas abajo de la presa de El Grado, y "Vero", localizado en la confluencia de los ríos Vero y Cinca.

En función de las alteraciones en cada sector se plantean medidas de rehabilitación. Así, para la consecución de los objetivos será necesario combinar actuaciones en el cauce con la generación de crecidas. El hidrograma de crecida de mantenimiento se diseña para alcanzar los objetivos de rehabilitación, que en este caso son el mantenimiento de la conectividad lateral y la reactivación del canal.

El diseño de estas crecidas también se apoya de los resultados de la modelización hidráulica. En este sentido, los datos recogidos tanto en el campo (granulometrías) como en los repositorios digitales (modelos digitales del terreno, mapa de usos del suelo, etc.) se han utilizado para la creación de modelos hidráulicos, cuyas simulaciones de las condiciones actuales generan información sobre variables hidráulicas (profundidad del agua, caudal, velocidades de flujo, tensión de corte) que son claves para el diseño de los escenarios de rehabilitación propuestos en este trabajo. Posteriormente, en base a estos diseños, i) se modifica la información topográfica para facilitar la conectividad de brazos secundarios y con la llanura de inundación (objetivos de las medidas de rehabilitación); y ii) se crean los nuevos modelos hidráulicos con la nueva información topográfica. Si los resultados son óptimos se procede al diseño final del hidrograma de crecida.

Tras la realización del estudio las principales características de las principales características del diseño de la crecida de mantenimiento son:

- Caudal máximo instantáneo. Q_{ci} (m^3/s)= 350
- Caudal máximo medio Q_m (m^3/s)= 111
- Aportación (h) = 6
- Duración (horas) = 15
- Incremento ($m^3/s/h$) = 14
- Variabilidad (m^3/s) = 320

El diseño de la crecida se ha tenido que escalar ya que las crecidas naturales tienen duraciones de varias semanas, reduciendo su duración a 15 h. El volumen planteado es inferior al 1% de la capacidad total del sistema de embalses Mediano-El Grado. Según la simulación realizada se podrían llegar a mover puntualmente partículas superiores a los 20 cm. Aunque la mediana del diámetro crítico en el cauce mojado es de 2 cm. Se indica que para mantener la crecida en el sector del Vero será necesario contar con una posible aportación desde la presa de Joaquín Costa para poder mantener el pico de la crecida,

1.4 Propuesta gestión de los desembalses desde la presa de Ciurana (ACA 2023)

El objeto de esta propuesta es plantear una nueva operativa de gestión de la presa de Ciurana y del trasvase de Ciurana-Riudecañas que dé cumplimiento al nuevo PHE.

Las propuestas sobre caudales ecológicos son las siguientes:

- Calcular cada semana el caudal medio de aportación natural, y con ello se determinaría el caudal a desembalsar en concepto de caudal ecológico durante la semana siguiente, debido a que los registros históricos de estas estaciones muestran que durante determinados periodos de estiaje los caudales de entrada son inferiores al régimen de caudales ecológicos fijado a la salida del embalse, sin que haya usos relevantes aguas arriba.
- En caso de un fuerte estrés en el río y si no hay riesgo para los abastecimientos, se propone que puedan liberarse hidropuntas, por ejemplo, desembalsando hasta 300 l/s durante un máximo de 6 horas, una vez por semana. Esta hidropunta permitiría restablecer parcialmente la conexión entre las charcas de agua que en situaciones de estiaje quedan en el cauce, y en las que se suele refugiar la fauna piscícola. Adicionalmente, proponemos que el desembalse nunca sea inferior a 20 l/s, aun cuando las aportaciones naturales sean menores.
- Respecto a los **caudales generadores** se propone la realización de un estudio piloto, a realizar cuando las reservas embalsadas lo permitan, con caudales desembalsados entorno a los 2.000 l/s durante 24 horas, que deberían dejarse circular por toda la cuenca, y un seguimiento ambiental de sus efectos.
- A fin de garantizar un mínimo volumen de epilimnion oxigenado para sostener la vida piscícola durante la estratificación, así como para asegurar que, una vez rota la estratificación, exista un cierto nivel de oxigenación en los caudales ecológicos desembalsados, la ACA propone establecer un volumen mínimo de epilimnion en condiciones de estratificación, por debajo del cual no se realizarían desembalses para usos consuntivos (a excepción de los que fueran imprescindibles para abastecimiento). Se propone fijar un volumen mínimo de epilimnion de $0,6 \text{ hm}^3$, sujeto a revisión en posteriores estudios.

1.5 Plan Sectorial de caudales de mantenimiento de las cuencas internas de Cataluña. (ACA 2005)

Donde se describe la metodología empleada para la determinación de caudales de mantenimiento para la totalidad de ríos de las cuencas internas de Cataluña. En este apartado se describe la metodología empleada para el cálculo de caudales generadores:

- El caudal generador se calcula en las explotaciones de infraestructuras hidráulicas situadas en las cuencas internas de Cataluña con capacidad de **almacenamiento superior a 5 hm³** (anexo 5), o con una **tasa de regulación** (capacidad de almacenamiento / aportación anual) **superior a 0,5**.
- Las infraestructuras hidráulicas susceptibles de cumplir un caudal generador son once (11): Boadella, Sau, Susqueda, Vallforners, Baells, Llosa de Cavall, St. Ponç, St. Martí de Tous, Foix, Catllar y Riudecanyes.
- El caudal generador establecido en este Plan se define como la máxima crecida anual más probable (en el período 1940-2000), y se determina **cogiendo la moda de la distribución de frecuencias de la serie de datos de máximas crecidas anuales**, en régimen natural, del período seleccionado (60 años).
- El caudal generador fijado en este Plan se soltará como mínimo una vez al año durante un intervalo de tiempo, en cómputo total desde el inicio de la crecida generada hasta el inicio de la fase de decrecimiento, de 24 horas, y en el mes en que estas crecidas se dan de forma más habitual.
- El caudal generador será satisfecho siempre que no represente un perjuicio importante para la garantía de abastecimiento de agua potable (periodos de sequía), y siempre que no se haya dado ya con anterioridad dentro del año hidrológico. Los caudales generadores (Qg).

Respecto a las tasas de cambio proponen el siguiente formulado para su cálculo

- Tasa de crecimiento inducido de caudal: C_{t+1} (máximo) = 1,8 Qt
- Tasa de decrecimiento inducido de caudal: C_{t+1} (mínimo) = 0,7 Qt

Donde T son intervalos de tiempo de 1 hora

1.6 Propuesta del régimen de caudales ambientales en el tramo final del río Ebro y validación biológica preliminar (ACA 2008)

En el estudio se aplicó en una primera fase la aproximación hidrológica, mientras que en una segunda fase se llevó a cabo la aplicación de modelos de simulación de diferentes escenarios de caudales ecológicos para la valoración en términos de hábitat.

La propuesta de caudales ambientales presentada en este informe se basa en métodos hidrológicos, acompañado o complementado con el análisis de los requerimientos de hábitat de la saboga (*Alosa fallax*). El modelo hidrológico empleado es RVA (Range of Variability Approach) y el modelo de simulación de hábitat empleado es PHABSIM.

En el informe se presenta una propuesta múltiple de caudales ambientales que permita flexibilizar su implantación en función de las condiciones hidrológicas de la cuenca.

Los requerimientos ambientales para las tres condiciones de la cuenca (años húmedos, medios y secos) son respectivamente de 12.783 hm³, 9.691 hm³ y 7.305 hm³. Estos valores representan aproximadamente el 70%, 53% y 40% de la aportación media natural del río Ebro.

Respecto a la validación biológica del régimen de caudales ambientales mediante la aplicación del modelo PHABSIM, en el informe se concluye lo siguiente:

- Los resultados obtenidos indican que el hábitat potencial para la reproducción de la saboga presenta un cierto grado de variabilidad en función del año hidrológico, pero que es muy sensible al caudal de los distintos escenarios analizados. En el caso del caudal mínimo vigente (100 m³/s), el hábitat potencial es inferior al 20% en relación con las condiciones medias de régimen natural.
- Los caudales que han circulado por el río Ebro durante el período 1995-2005 han comportado en todos los casos, una reducción del hábitat respecto a las condiciones naturales. Mientras que en

trimestres húmedos la reducción se sitúa en torno al 25%, durante los trimestres secos el hábitat potencial se redujo en más del 50%.

- El caudal ambiental vigente en el actual Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro (PHCE) es poco recomendable en un contexto de protección para la saboga, suponiendo una reducción superior al 80% del hábitat para su reproducción respecto a las condiciones naturales.
- La propuesta de caudales ambientales aprobada por la Comisión para la Sostenibilidad de las Tierras del Ebro (CSTE) representa unos valores de hábitat para la saboga ligeramente inferior a las condiciones naturales, con una reducción del 15% en condiciones medias. Los caudales ambientales propuestos representan un escenario satisfactorio desde el punto de vista de la conservación de la especie.

1.7 Propuesta del régimen de caudales ambientales en las cuencas del Segre, Matarraña, Senia y afluentes del bajo Ebro tramo final del río Ebro y validación biológica (ACA 2008)

El objetivo del documento es el análisis y la propuesta de establecimiento del régimen de caudales de mantenimiento en 81 puntos de cálculo de las cuencas catalanas del Ebro (excepto el eje principal del Ebro), efectuando una validación biológica en 15 de estas cuencas a partir de un proceso de simulación de hábitats en una y dos dimensiones.

La propuesta del régimen de caudales de mantenimiento sigue la Instrucción Técnica de Planificación Hidrológica y la experiencia del Plan Sectorial de Caudales de Mantenimiento de las Cuencas Internas de Cataluña.

La metodología respecto del cálculo de régimen de caudales de mantenimiento (o mínimos) se ha realizado según las siguientes fases:

1. Caracterización hidrológica y fluvial de los ríos objeto de estudio.
2. Identificación de las principales problemáticas del régimen de caudales y aplicación de índices de alteración hidrológica.
3. Aplicación de una selección de métodos hidrológicos para calcular los caudales mínimos.
4. Validación biológica mediante el cálculo con métodos hidrobiológicos
5. Estudio y caracterización de la comunidad piscícola.
6. Determinación del régimen de caudales de mantenimiento con una distribución mensual de mínimos.

Respecto a los caudales generadores, se calcularon para infraestructuras hidráulicas (situadas en la parte catalana de las cuencas del Ebro) con una capacidad de almacenaje superior a 5 hm³ o con una tasa de regulación (capacidad de almacenaje/aportación anual) superior a 0,5. (criterio propio de la ACA). En total resultan 20 infraestructuras susceptibles de cumplir un caudal generador.

Según se indica, en el estudio se ha determinado el caudal generador como la crecida más probable en el periodo 1940-2000 en régimen natural. Éste se calcula tomando la moda de la distribución de frecuencias de la serie de máximas crecidas anuales en el periodo estudiado.

Respecto a las tasas de cambio no se indica claramente como fueron calculadas, aunque se indica que *“La máxima tasa de cambio se tiene que estimar considerando la distribución de variaciones temporales sucesivas en régimen natural, utilizando la serie de caudales medios diarios, aunque la escala temporal de la serie hidrológica para realizar el estudio de las tasas se determinará atendiendo a las características particulares de cada masa de agua, ya que en casos concretos puede ser necesario limitar el incremento o decremento máximo a nivel horario.”*

Cabe indicar que en la tabla resumen de resultados no se indican la tasas de cambio del caudal generador, presentándose para cada una de las infraestructuras seleccionadas la magnitud y el periodo de liberación.

La infraestructuras consideradas para el establecimiento de los caudales generadores son: Mar, Saburo, Tort, Sallent (que conforman el sistema de lagos Flamisell), Negre, Certescans, Talarn, Terradets, Camarasa, Cavallersm Baserca, Escales, Canelles, Santa Ana, Oliana, Rialb, San Lorenzo de Montgai, Siurana, Guiamets y sistema Val d’Aran (lagos regulados del Val d’Aran).

1.8 Consultoría y asistencia para la realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y las de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro, y de las demarcaciones hidrográficas del Segura y del Júcar (MMA-Intecsa Inarsa. 2013).

Donde se establecen caudales ecológicos para la Demarcación Hidrográfica del Ebro. En este estudio se tienen en cuenta todos los componentes de caudales ecológicos: caudales mínimos, máximos, generadores y tasas de cambio.

Los caudales mínimos se establecen para un total de 664 masas de agua empleando métodos hidrológicos. Para el cálculo se definen variables de centralización móviles anuales (QBM, Q25d, método de Baeza -2000-) y los percentiles entre el 5 y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados. Se emplean datos diarios en régimen natural, procedentes del SIMPA. En setenta (70) masas de agua se emplea, además, métodos de simulación de hábitat. Para su selección se atendió a criterios tanto estratégicos (repercusiones en las asignaciones y reservas de recursos de los planes hidrológicos, puntos identificados como clave en la gestión de las sequías, etc.) como ambientales (zonas protegidas, estado de conservación, etc.), además de dos criterios adicionales: que estén representadas la totalidad de las tipologías de los ríos de la DHE y que estén representadas la totalidad de las 17 Juntas de Explotación. Los modelos de simulación empleados fueron RHYBSIM y River 2D .

Los caudales máximos fueron calculados para aquellas masas aguas abajo de infraestructuras hidráulicas y en las que se pudo verificar los mismos mediante los modelos hidráulicos (33 masas de agua). Para ello se definieron dos periodos, uno húmedo y otro seco, en función de las emergencias de alevines de las especies de peces condicionantes en cada tramo -si son ciprínidos se considera que el periodo seco va desde mayo-octubre y el húmedo de noviembre a abril, y en el caso de la trucha el periodo seco comprende marzo-agosto y el húmedo septiembre-febrero-, y se calcularon los percentiles del 90% para los meses considerados como secos y los considerados como húmedos.

Estos percentiles se verificaron mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, para garantizar una existencia de refugio de al menos un 50% de la superficie mojada del tramo en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles, utilizando como condicionante la velocidad limitante (velocidad crítica) para la evolución y desarrollo de la fauna piscícola. Se utilizó como criterio para verificar el caudal máximo en el periodo seco la velocidad para alevines de 1 m/s, y para el periodo húmedo la velocidad para juveniles de 2 m/s.

La tasa máxima de cambio, definida como la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo, tanto para las condiciones de ascenso como de descenso de caudal, se estima considerando la distribución de variaciones temporales sucesivas en régimen natural. Así, a partir de los datos diarios se han determinado los percentiles de cálculo 70% y 90%, tanto en ascenso como en descenso para todas las masas de agua de la DHE. Para cada uno de estos parámetros se ha calculado la media, la desviación típica de los valores de la serie anual estudiada y su coeficiente de variación en tanto por ciento.

Para una serie de masas de agua situadas aguas abajo de infraestructuras importantes, se calculó la magnitud de la crecida asociada al caudal generador a partir de :

- Caudales de riesgo (normas de explotación, en su caso: Q1 Caudal que desborda el cauce natural y no genera daños).
- Estimación de la máxima crecida ordinaria a partir de los trabajos del CEDEX y periodos de retorno para cada una de 6 regiones homogéneas.
- La tasa máxima de cambio, la frecuencia y la duración de la crecida asociada al caudal generador se obtuvieron del análisis estadístico de la serie representativa.