



## **TAREA 2: Preparación de documentación para la celebración de un seminario técnico**

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



# Índice

<b>1. Organización del documento.....</b>	<b>1</b>
---	----------

## Parte 1: Documento resumen

<b>1. Recopilación básica para el planteamiento metodológico.....</b>	<b>3</b>
1.1 Información internacional .....	3
1.2 Guía europea de caudales ecológicos.....	5
1.3 Planes hidrológicos españoles .....	5
1.4 Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH).....	7
1.5 Borrador de la Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos .....	8
1.6 Trabajos relevantes en la Confederación del Ebro .....	8
1.7 Ideas finales.....	9
<b>2. Propuesta metodológica.....</b>	<b>9</b>
2.1 Cálculo de caudales máximos .....	10
2.1.1 Caracterización hidrológica .....	10
2.1.2 Verificación hidrobiológica.....	12
2.2 Caracterización del régimen de crecidas .....	13
2.2.1 Magnitud .....	13
2.2.2 Período de retorno .....	14
2.2.3 Estacionalidad .....	14
2.2.4 Duración .....	15
2.3 Tasas de cambio .....	15
2.3.1 Método IPH estricto .....	15
2.3.2 Método de la Agencia Catalana del Agua (ACA) .....	16
2.3.3 Método de Galicia Costa .....	16
2.3.4 Método del Caudal Básico de Mantenimiento QBM .....	16
2.4 Reconocimiento en campo en caso de avenida natural o crecida controlada .....	17
2.4.1 Contribución de los usuarios y otras personas interesadas.....	19

## Parte 2: Presentaciones

<b>1. Presentación 1: “Presentación de la jornada y plan de trabajo del estudio” .....</b>	<b>21</b>
<b>2. Presentación 2: “Recopilación de información básica para el planteamiento metodológico”.....</b>	<b>59</b>
<b>3. Presentación 3: “Propuesta metodológica para el estudio de caudales máximos, generadores y tasas de cambio” .....</b>	<b>76</b>



## 1. Organización del documento

El presente documento da respuesta a la tarea 2 “Preparación de documentación para la celebración de un seminario técnico” dispuesta en Pliego de Prescripciones Técnicas que rige el Proyecto, donde se establece que:

*“Se preparará toda aquella documentación necesaria para la celebración de un seminario técnico sobre caudales máximos, generadores y tasas de cambio.*

*En particular, un documento resumen claro y conciso para el seminario basado en lo recopilado en el apartado 1. Se presentará en un documento bien estructurado y de redacción sencilla y asequible para la ciudadanía sin perder el rigor necesario.”*

Por lo tanto, en este documento se presenta, por un lado, el resumen de la recopilación de información junto con la propuesta de metodología a emplear en el trabajo y por otro las presentaciones realizadas para la exposición de estos temas en el seminario inicial del trabajo, efectuado el 18 de mayo de 2023.

Cabe indicar que el resumen que aquí se presenta fue distribuido a todos los inscritos al seminario inicial, junto con los anexos de detalle realizados en la recopilación de información. También se debe indicar que la información generada se encuentra disponible en la web de la Confederación Hidrográfica del Ebro (<https://www.chebro.es/web/guest/trabajos-en-marcha-para-el-plan-de-cuarto-ciclo>).



## **Parte 1: Documento resumen**



## 1. Recopilación básica para el planteamiento metodológico

### ¿QUE SE HA ANALIZADO?

Para tener una base sólida con la que plantear la metodología, 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.

### ¿CÓMO SE HA ANALIZADO?

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.

### RESUMEN GENERAL DE LA INFORMACIÓN REVISADA

#### 1.1 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.

#### 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.

### 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 caudales<sup>1</sup>, 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.<sup>2</sup>

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 ecológicos<sup>3</sup>; 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 reguladoras<sup>4</sup>, 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.

---

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.

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

## 1.2 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.

## 1.3 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*<sup>5</sup>. 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 web<sup>6</sup> 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 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.

---

<sup>5</sup> [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-3511](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-3511)

<sup>6</sup> [https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/PPHH\\_tercer\\_ciclo.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/PPHH_tercer_ciclo.aspx)

**Tarea 2: Preparación de documentación para la celebración de un seminario técnico**

---

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 Patrical 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.

## 1.4 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.

## 1.5 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 objetivos 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".

## 1.6 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 IAHRS (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 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 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 hm<sup>3</sup> 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.

## 1.7 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).

## 2. 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.

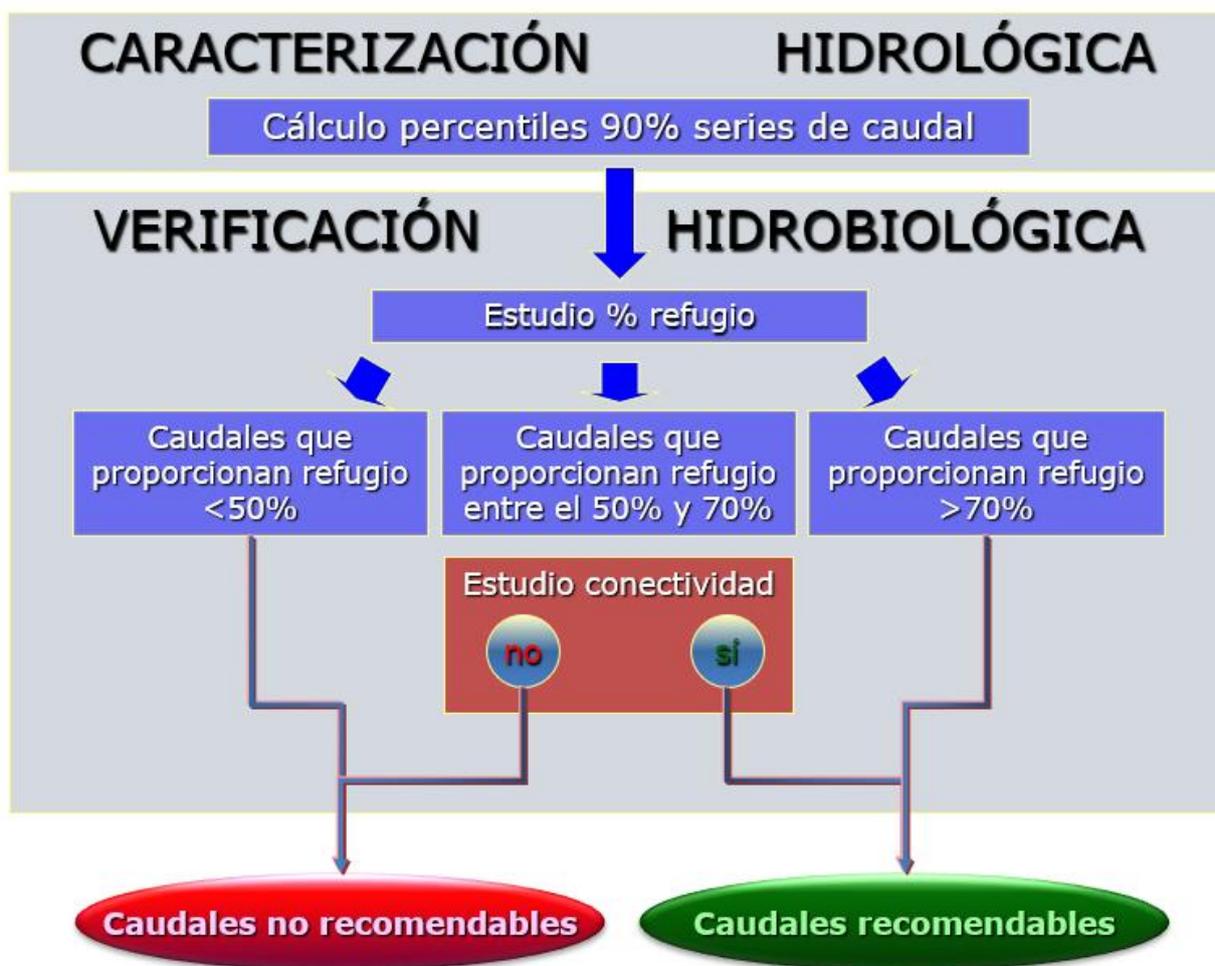
## 2.1 Cálculo de caudales máximos

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 propone 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

### 2.1.1 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 ( $m^3/s$ )

$Q_{ea}$ = Caudal diario en la estación de aforo ( $m^3/s$ )

$A_m$ =Área de la cuenca al punto de cierre de la masa de agua ( $km^2$ )

$A_{ea}$ = Área de la cuenca de la estación de aforo ( $km^2$ )

$P_m$ = Precipitación media anual en la cuenca afluente 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 afluente 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.

## 2.1.2 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:

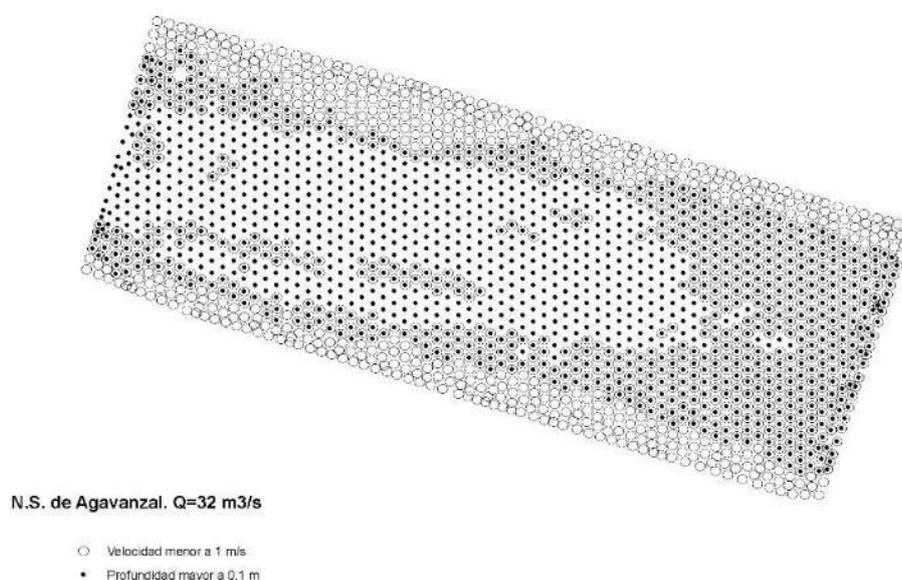
Estado	Velocidad limitante	Profundidad limitante
Alevín	< 1	> 0,1
Juvenil	< 2	> 0,15
Adulto	< 2,5	> 0,25

### 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

## 2.2 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.

### 2.2.1 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 km<sup>2</sup> y calcular estos caudales mediante el método racional modificado para cauces con cuencas inferiores a 50 km<sup>2</sup>. 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<sub>MCO</sub> 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

$\sigma_y$  y  $\mu_y$  = coeficientes tabulados específicos de la función según el número de datos de la muestra

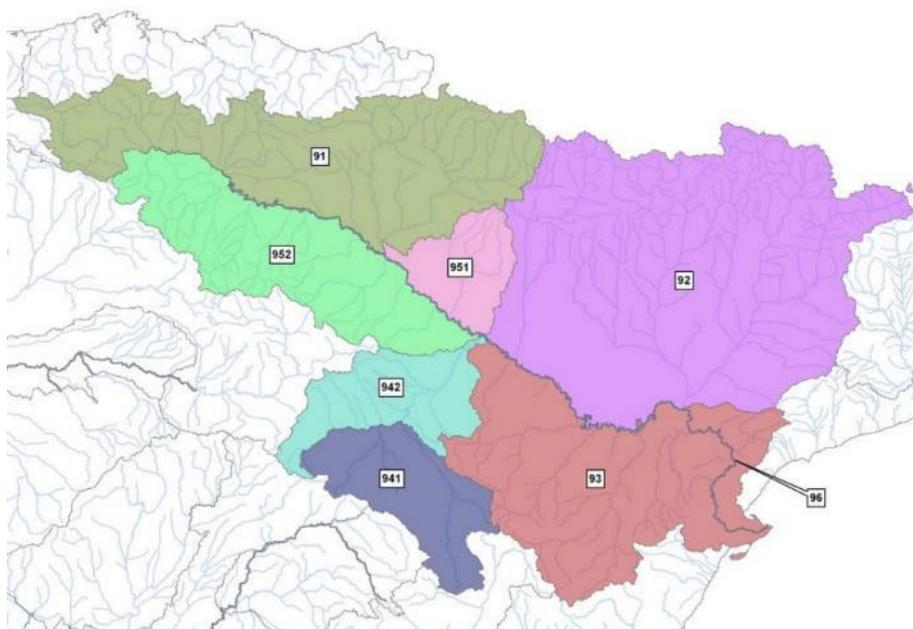
La magnitud del caudal generador viene dada por el caudal de avenida asociado al periodo de retorno que se detalla un poco más adelante, T MCO.

**Tarea 2: Preparación de documentación para la celebración de un seminario técnico**

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

**2.2.2 Período 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 (Cv) 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 **período de retorno (T)** de la MCO se estima a partir del coeficiente de variación determinado por el CEDEX a partir de la expresión:  $T_{MCO} (\text{años}) = 5 * C_v$ . 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.

**2.2.3 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.

## 2.2.4 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.

## 2.3 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:

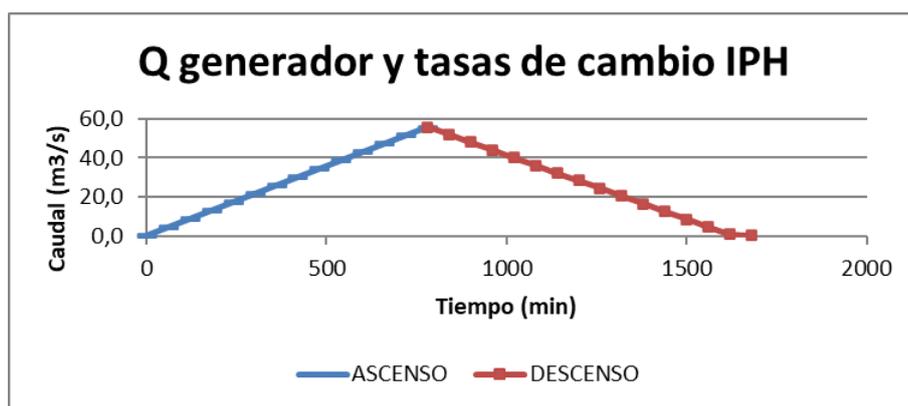
- Método IPH estricto
- Método de la Agencia Catalana del Agua
- Método de Galicia Costa
- Método del caudal básico de mantenimiento, así como
- Otras variantes de los mismos.

Sobre estas posibilidades se seleccionará la más adecuada.

### 2.3.1 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,  $m^3/s/día$ ) 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<sup>3</sup>/s/día.

### 2.3.2 Método de la Agencia Catalana del Agua (ACA)

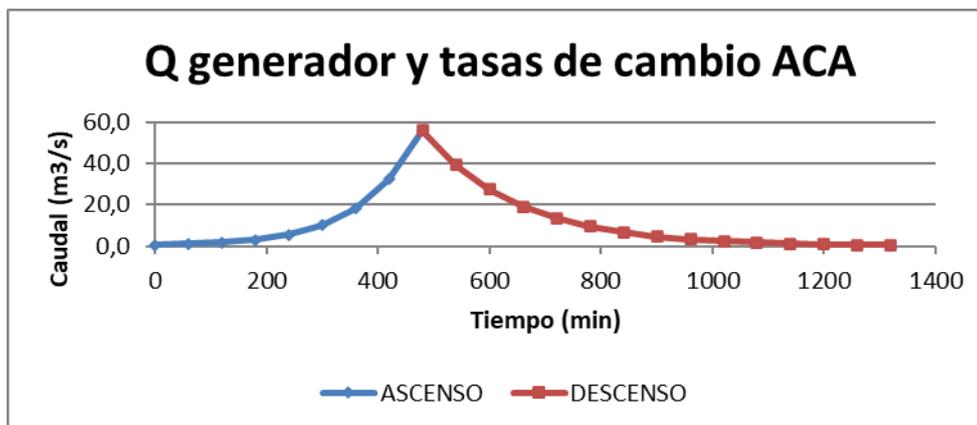
Por otra parte, para tener otra estima diferente de los caudales generadores, se pueden calcular para los mismos datos la propuesta de la ACA, establecida en el Plan de la Demarcación de las cuencas internas catalanas, que se define de la siguiente forma en el Plan Sectorial de caudales ecológicos:

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

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)

### 2.3.3 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.

### 2.3.4 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.*

**Tarea 2: Preparación de documentación para la celebración de un seminario técnico**

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 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:

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

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

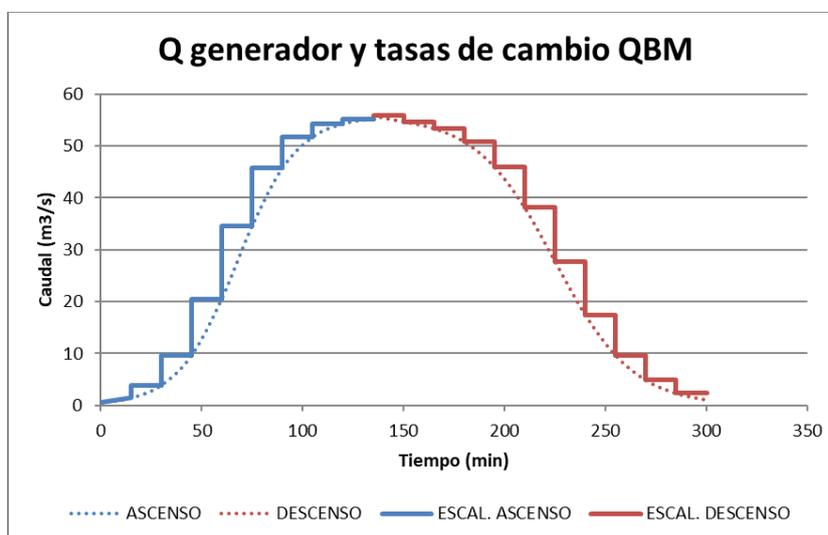
Siendo:

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

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

Donde "Q<sub>t</sub>" es el caudal en un tiempo intermedio t; b es un valor ajustable próximo a 1; y "Q<sub>0</sub> y Q<sub>f</sub>" 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.

## 2.4 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.

**Tarea 2: Preparación de documentación para la celebración de un seminario técnico**

---

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.

### **2.4.1 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:

<b>Temática</b>	<b>Fecha</b>
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



## **Parte 2: Presentaciones**



1. **Presentación 1:** “Presentación de la jornada y plan de trabajo del estudio”. Sergio Zurdo de Pedro (Jefe de Sección Estudios Ambientales de la O.P.H)



# PRESENTACIÓN DE LA JORNADA





# Programa

**Modera:** *María Teresa Carceller Layel*

*Oficina de Planificación Hidrológica*

**12:00-12:15. “Presentación de la jornada y plan de trabajo del estudio”**

***Sergio Zurdo de Pedro***

*Oficina de Planificación Hidrológica*

**12:15-12:40. “Recopilación de información básica para el planteamiento metodológico”**

***Rafael Minaya González***

*NTTDATA*

**12:40-12:50. “Propuesta metodológica para el estudio de caudales máximos, generadores y tasas de cambio”**

***Mariano Cebrian del Moral***

*NTTDATA*

**12:50-14:00. Debate, comentarios y aportaciones de los participantes**



*Smile*

The screenshot shows the website for the Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). The main navigation menu includes: Quiénes somos, Gestión de la cuenca, Planificación, Servicios a la ciudadanía, Herramientas web, and Preguntas frecuentes. The page title is 'Planificación'. The breadcrumb trail is 'Planificación / Planes Hidrológicos'. The main content area is titled 'Planes Hidrológicos' and contains the following text:

Los planes hidrológicos de cuenca, conforme el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la ley de aguas, tienen por objetivo:

"(...) conseguir el buen estado y la adecuada protección de las masas de agua de la demarcación, la satisfacción de las demandas de agua y el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial. Estos objetivos han de alcanzarse incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales".

La herramienta fundamental para conseguir estos objetivos es la planificación hidrológica, que incluye tanto las aguas continentales (superficiales y subterráneas) como las aguas de transición y costeras. Este proceso es continuo y cíclico, estableciendo la propia Directiva Marco del Agua que cada plan hidrológico se revisará cada 6 años y de forma anual se hará un informe de seguimiento.

On the right side, there is a sidebar menu with the following items:

- Planes hidrológicos (expanded)
- Plan 2023 del tercer ciclo (horizonte 2022-2027)
- Planes hidrológicos anteriores
- Trabajos en marcha para el Plan de cuarto ciclo
- Planes de sequías
- Plan de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI)
- Estrategias de la CHE
- Estudios de Interés



# CAUDAL ECOLÓGICO

## Imperativo legal

### Componentes:

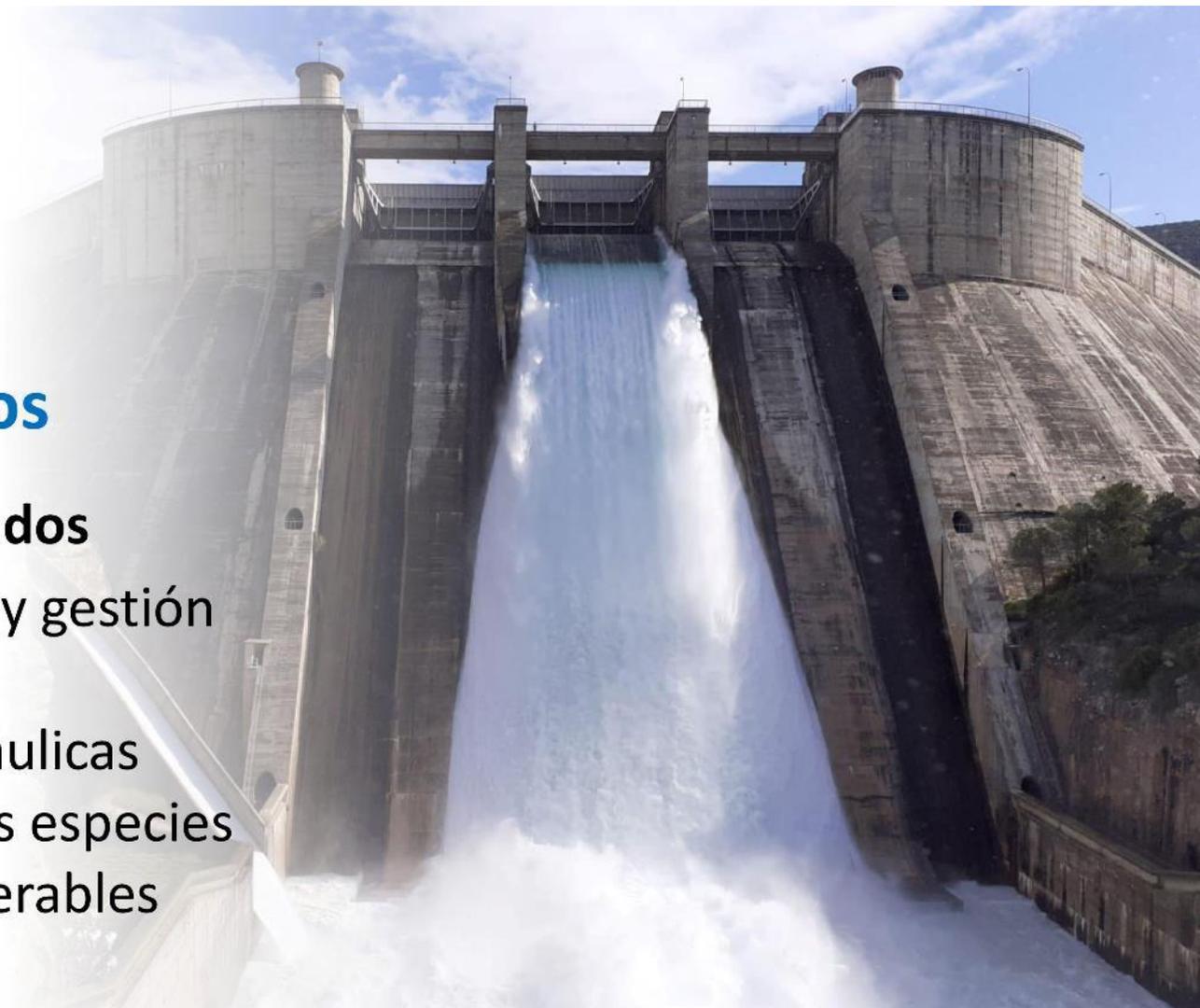
- a) Caudales mínimos
- b) Caudales máximos
- c) Distribución temporal
- d) Caudales de crecida
- e) Tasa de cambio



Ríos Permanentes, Estacionales, Temporales, Efímeros y aguas de transición

## Caudales máximos

**NO deben ser superados**  
durante la operación y gestión  
ordinaria de las  
infraestructuras hidráulicas  
para proteger así a las especies  
autóctonas más vulnerables





## Caudales generadores o de crecida

Mejorar las condiciones y  
disponibilidad de hábitat a través  
de la **dinámica geomorfológica**

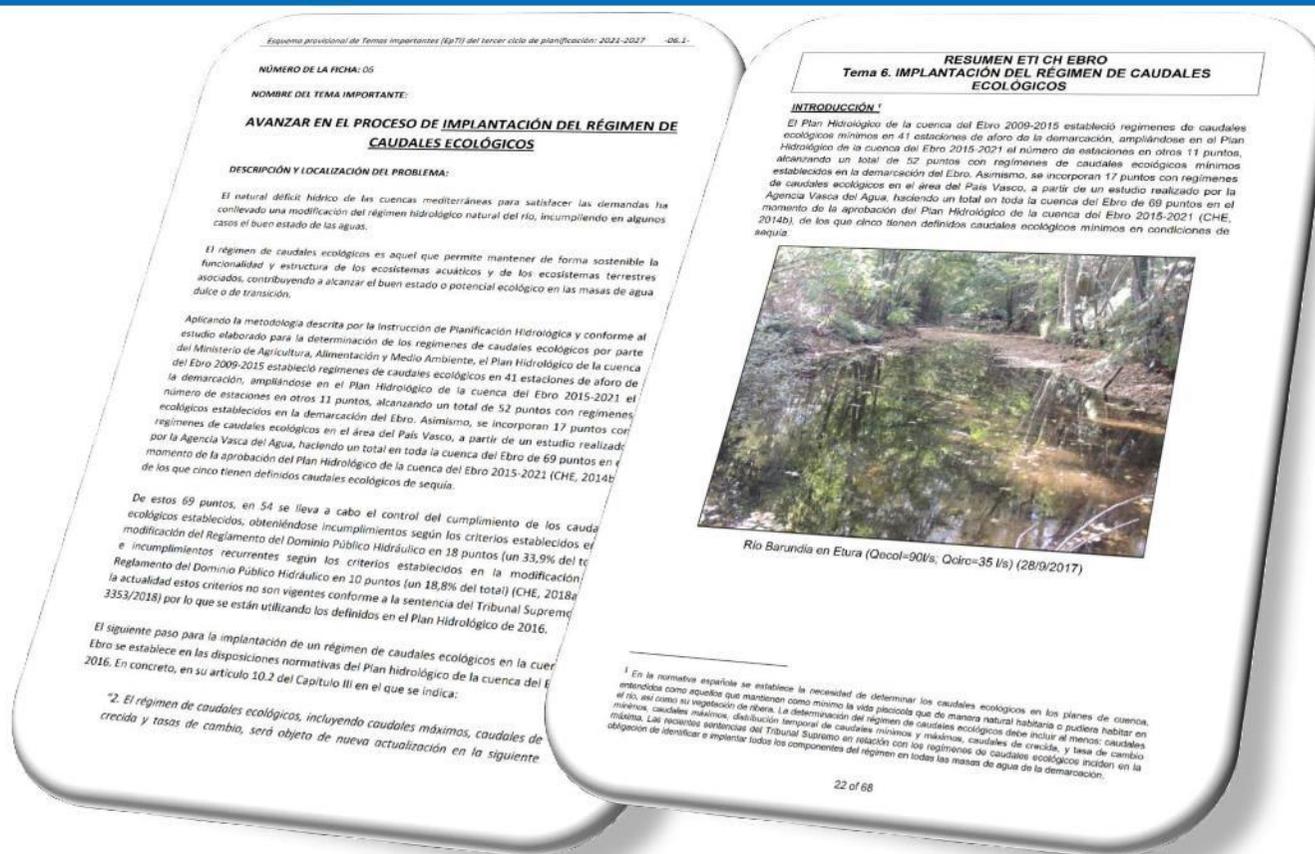
## Tasas de cambio

Evitar los efectos negativos de una **variación brusca de caudales**: arrastre de organismos acuáticos durante la curva de **ascenso** y su aislamiento en la fase de **descenso**





# EPTI-ETI\_3C





# PARTICIPACIÓN PÚBLICA\_3C



Video taller “caudales ecológicos”  
21 de septiembre de 2021 de 16:30 a 19:00 horas:

**“Motivación del taller:  
los caudales ecológicos en el plan hidrológico 2021-2027”**

Miguel Ángel García Vera, Inés Torralba Faci y Teresa Carceller Layel  
Oficina de Planificación Hidrológica. Confederación Hidrográfica del Ebro

## Plan Hidrológico

*Tercer ciclo de planificación hidrológica*



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL EBRO. O. A.



**Informe-resumen**  
**Taller temático de participación activa:**  
**CAUDALES ECOLÓGICOS (modalidad a distancia)**

21 de septiembre de 2021



Proceso de participación pública de la propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico. Tercer ciclo de planificación 2022-2027. Demarcación Hidrográfica del Ebro



**COMPROMISO\_4C**



**EBRO SOSTENIBLE**  
5 ejes para la gestión del agua de la Confederación Hidrográfica del Ebro

**EJE 1**  
Mejora del Conocimiento

**EJE 2**  
Mejora general de la gestión

**EJE 3**  
Buen estado de las masas

**EJE 4**  
Renovación de la dinámica fluvial

**EJE 5**  
Garantía de suministro a los usos esenciales

**Ebro Sostenible**  
**5 ejes para la gestión del agua**  
¿Qué son los 5 ejes para la gestión del agua?  
Acceder a la información

## EJE 4 Una nueva visión de la dinámica fluvial

Objetivo General 4.2: Implantar caudales ecológicos para garantizar la supervivencia de los ecosistemas

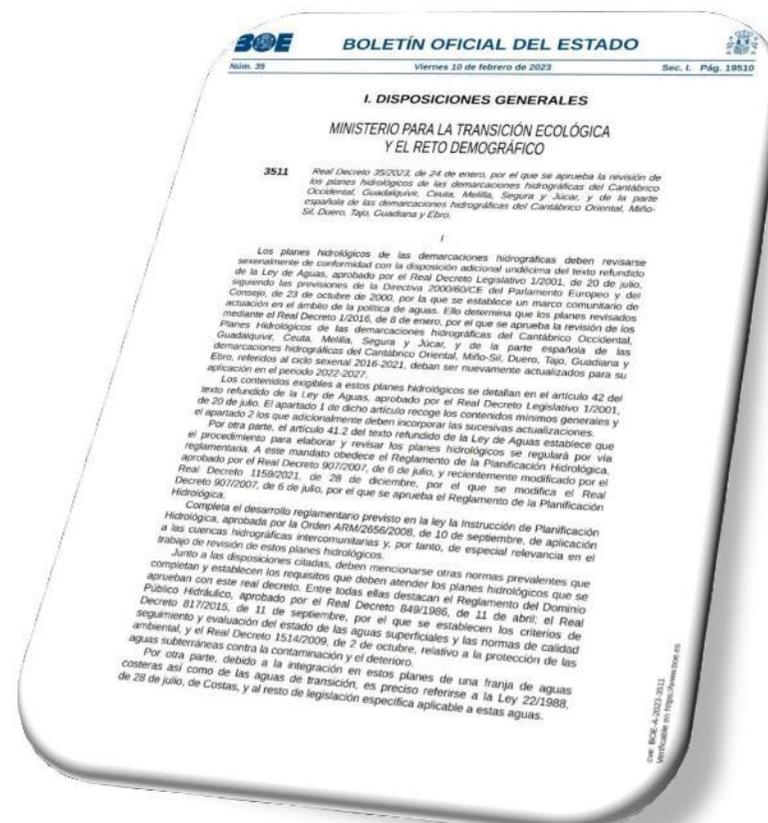


# PHDE\_3C

## Artículo 10. Régimen de caudales ecológicos

...

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.





## Apéndice 6.5.1. Caudales máximos

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	MAGNITUD Qmax (m <sup>3</sup> /s)	ESTACIONALIDAD
ES091MSPF113	Rio Grio desde su nacimiento hasta su desembocadura en el rio Jalon (*)	10	Todo el año
ES091MSPF443	Rio Jalon desde el rio Perejiles hasta el rio Ribota <sup>(1)</sup>	15	Todo el año
ES091MSPF55	Embalse de Ardisa	200	Todo el año
ES091MSPF62	Embalse de La Sotonera	18	Todo el año
ES091MSPF47	Embalse de El Grado	200	Todo el año
ES091MSPF37	Embalse de Yesa	200	Todo el año
ES091MSPF85	Embalse de Santolea	20	Todo el año
ES091MSPF560	Rio Linares desde su nacimiento hasta la estacion de aforos numero 43 de San Pedro Manrique <sup>(2)</sup>	5	Todo el año
ES091MSPF85	Embalse de Itoiz	80	Todo el año
ES091MSPF63	Embalse de Rialb	80	Todo el año
ES091MSPF74	Embalse de Flix	1 900	Todo el año

EL CAUDAL MÁXIMO DEFINIDO CORRESPONDE AL PUNTO DE SALIDA DE LA MASA DE AGUA

<sup>(1)</sup> Estos valores se asignarán a la gestión del embalse de Mularroya una vez que entre en explotación

<sup>(2)</sup> Estos valores se asignarán a la gestión del embalse de San Pedro Manrique una vez que entre en explotación



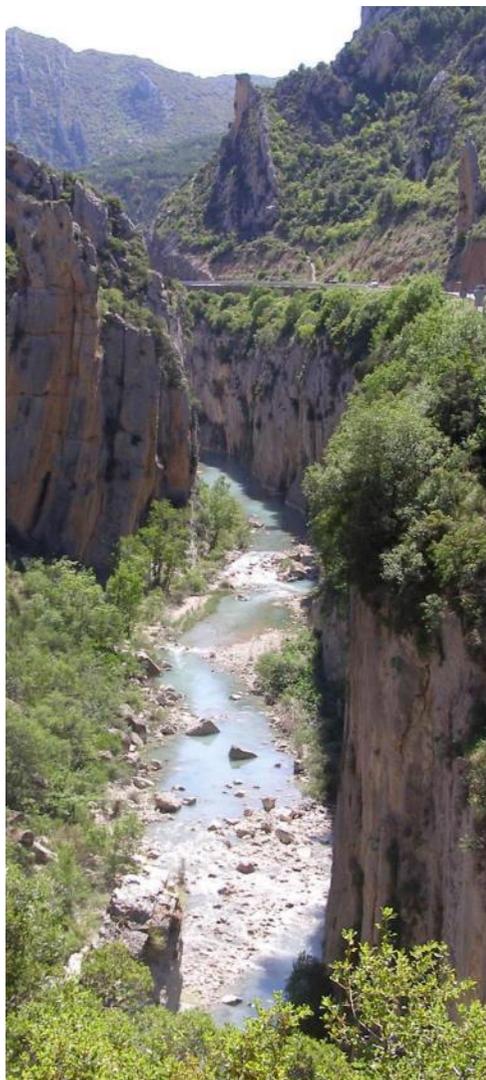
## Apéndice 6.5.2. Tasa de cambio

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	TASA CAMBIO MEDIA EN ASCENSO (m <sup>3</sup> /s/h)	TASA CAMBIO MEDIA EN DESCENSO (m <sup>3</sup> /s/h)
ES091MSPF113	Río Grio desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Jalon <sup>(1)</sup>	0,25	0,25
ES091MSPF443	Río Jalon desde el río Perejiles hasta el río Ribota	5	5
ES091MSPF55	Embalse de Ardisa	10	10
ES091MSPF62	Embalse de La Sotonera	5	5
ES091MSPF47	Embalse de El Grado	25	25
ES091MSPF37	Embalse de Yesa	25	25
ES091MSPF85	Embalse de Santolea	2	2
ES091MSPF560	Río Linares desde su nacimiento hasta la estación de aforos número 43 de San Pedro Manrique <sup>(2)</sup>	0,25	0,25
ES091MSPF86	Embalse de Itoiz	20	20
ES091MSPF63	Embalse de Rialb	20	20
ES091MSPF74	Embalse de Flix	400	400

LA TASA DE CAMBIO DEFINIDA CORRESPONDE AL PUNTO DE SALIDA DE LA MASA DE AGUA

<sup>(1)</sup> Estos valores se asignarán a la gestión del embalse de Mularroya una vez que entre en explotación

<sup>(2)</sup> Estos valores se asignarán a la gestión del embalse de San Pedro Manrique una vez que entre en explotación



## Apéndice 6.5.1. Caudales generadores

CÓDIGO MASA	NOMBRE MASA	MAGNITUD Qgen (m <sup>3</sup> /s)	FRECUENCIA (Nº veces al año)	TASA CAMBIO MEDIA EN ASCENSO (m <sup>3</sup> /s/h)	TASA CAMBIO MEDIA EN DESCENSO (m <sup>3</sup> /s/h)	DURACIÓN HIDROGRAMA (h)	DURACIÓN FASE DE ASCENSO (h)	DURACIÓN FASE DE DESCENSO (h)	ESTACIONALIDAD	VOLUMEN HIDROGRAMA (hm <sup>3</sup> )
ES091MSPF113	Río Grio desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Jalón <sup>(1)</sup>	1,277	2	0,35	0,35	8	3,6	3,6	Primavera-Otoño	0,02
ES091MSPF143	Río Jalón desde el río Perejiles hasta el río Ribota	5,000	2	5	5	8	1	1	Primavera-Otoño	0,13
ES091MSPF55	Embalse de Ardisa	68,695	2	20	20	8	3,4	3,4	Primavera-Otoño	1,14
ES091MSPF62	Embalse de La Sotonera	15,000	2	5	5	8	3	3	Primavera-Otoño	0,27
ES091MSPF47	Embalse de El Grado	77,264	2	25	25	8	3,1	3,1	Primavera-Otoño	1,36
ES091MSPF37	Embalse de Yesa	88,416	2	25	25	8	3,5	3,5	Primavera-Otoño	1,43
ES091MSPF85	Embalse de Santolca	6,185	2	2	2	8	3,1	3,1	Primavera-Otoño	0,11
ES091MSPF560	Río Linares desde su nacimiento hasta la estación de aforos número 43 de San Pedro Manrique <sup>(2)</sup>	1,000	2	0,25	0,25	8	4	4	Primavera-Otoño	0,01
ES091MSPF86	Embalse de Itoiz	50,000	2	20	20	8	1,5	1,5	Primavera-Otoño	0,70
ES091MSPF63	Embalse de Iñabeb	30,000	2	20	20	8	1,5	1,5	Primavera-Otoño	0,70
ES091MSPF74	Embalse de Flix	1.200,000	2	400	400	8	3	3	Primavera-Otoño	21,60

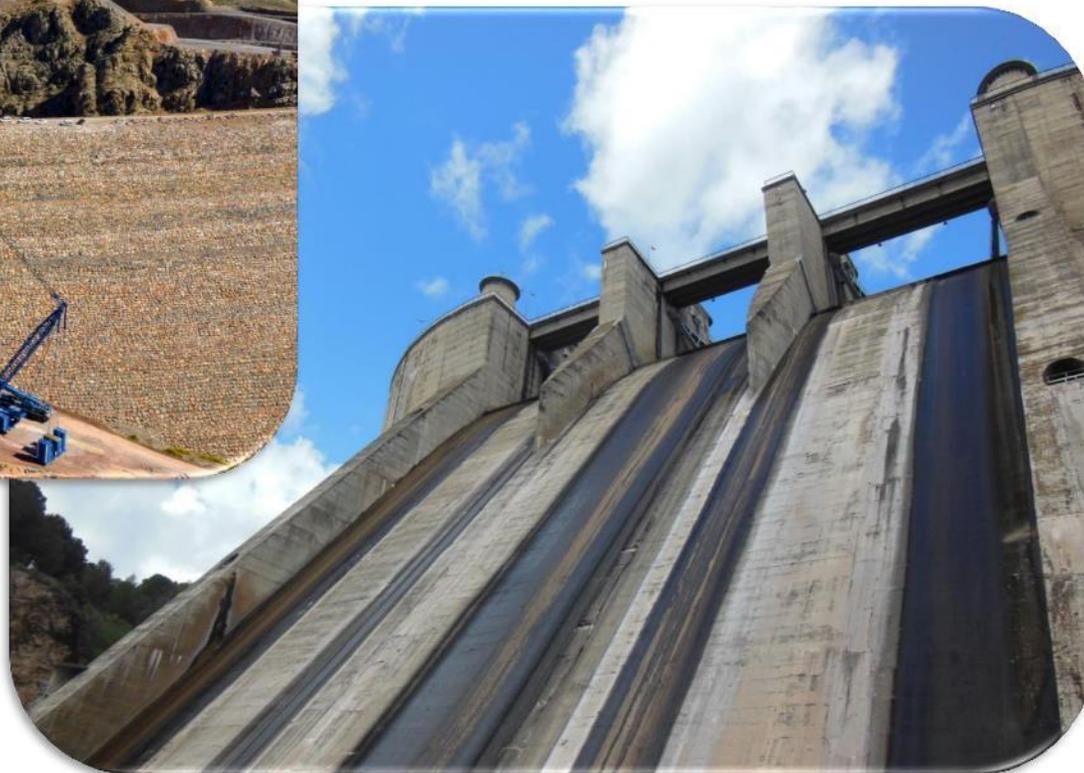
LOS CAUDALES GENERADORES DEFINIDOS CORRESPONDEN AL PUNTO DE SALIDA DE LA MASA DE AGUA

<sup>(1)</sup> Estos valores se asignarán a la gestión del embalse de Mularroya una vez que entre en explotación

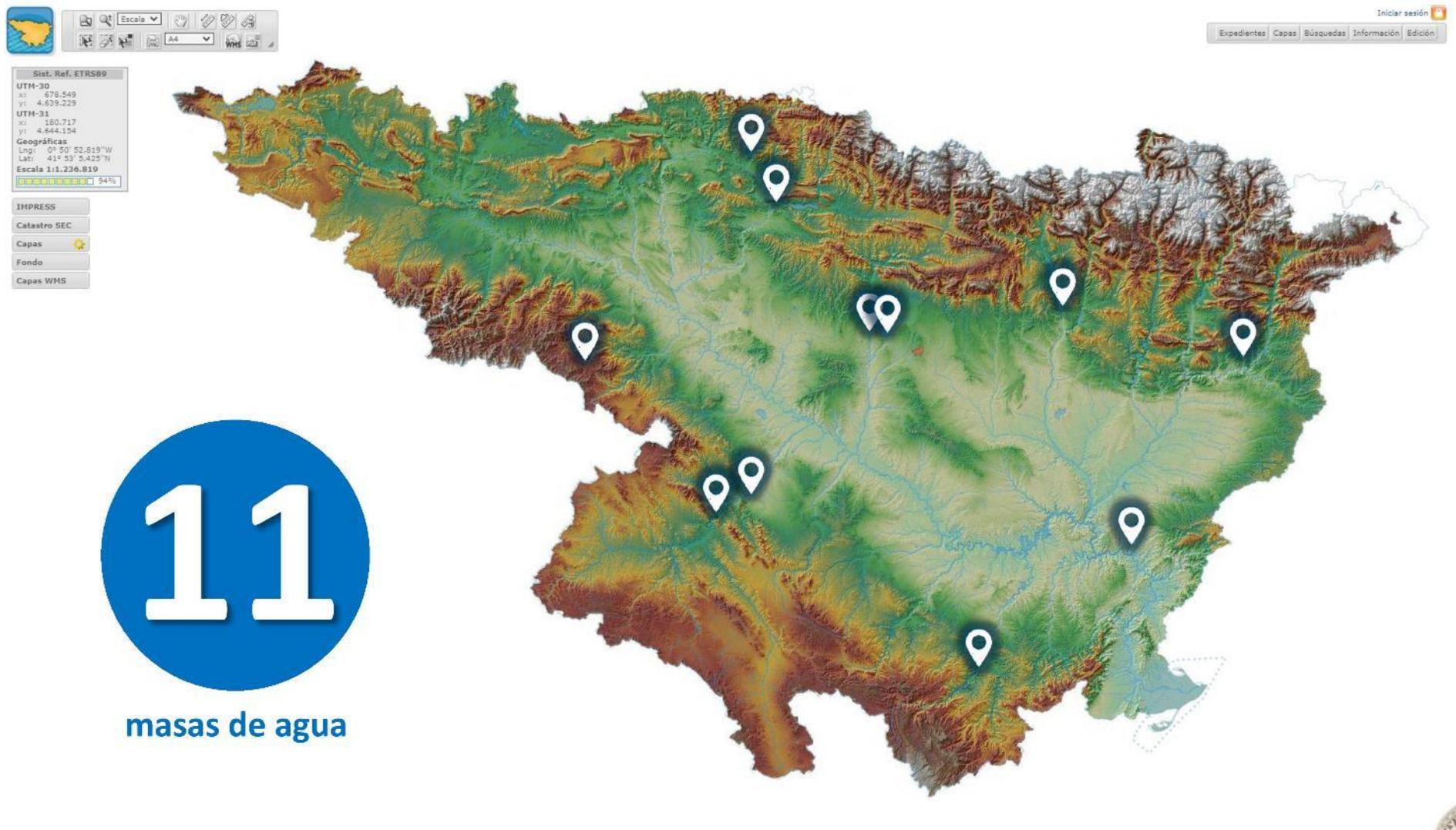
<sup>(2)</sup> Estos valores se asignarán a la gestión del embalse de San Pedro Manrique una vez que entre en explotación



**Embalse de Mularroya, Zaragoza**



**Embalse de El Grado, Huesca**



11

masas de agua



## Artículo 10. Régimen de caudales ecológicos

5. ... 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.





NTT DATA Green Deal & Sustainable Engineering



GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO  
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

CLAVE: 2022-PH-01-I  
REFERENCIA:

TIPO: **PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS** REF. CRONOLÓGICA: **06/2022**

CLASE: **CONTRATO DE SERVICIOS**

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

ÁMBITO: Confederación Hidrográfica del Ebro

PROVINCIA: Varias

TÉRMINOS MUNICIPALES: Varios

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (IVA 21% incluido):

**249.822,65 €**

AUTOR: SERGIO ZURDO DE PEDRO

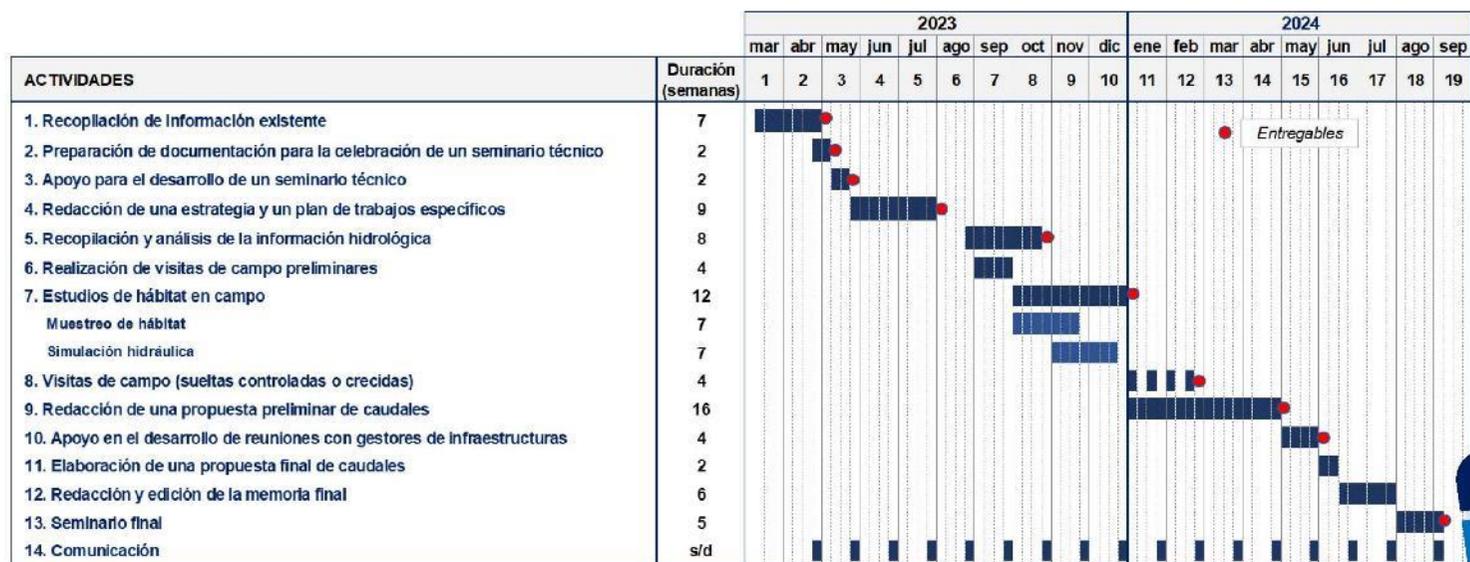
## OBJETO

Elaboración de una **propuesta técnica** de caudales máximos, de caudales generadores y de tasas de cambio en los ríos de la Demarcación Hidrográfica del Ebro para su utilización en el **plan hidrológico del cuarto ciclo (2028/2033)**

Esta propuesta contará con la **participación de los usuarios e interesados** de la Cuenca del Ebro.



# CRONOGRAMA

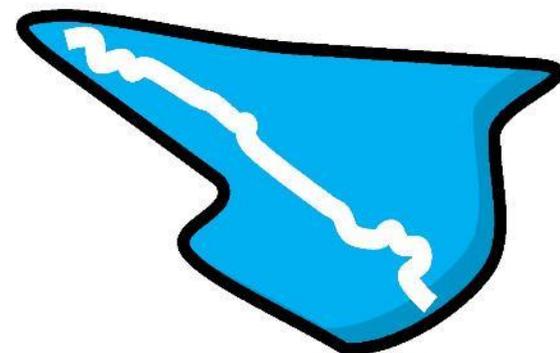
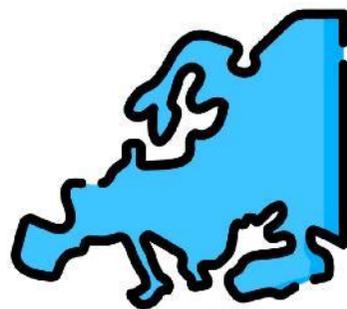


Finalización: **Septiembre de 2024**

# TRABAJOS A REALIZAR



## Recopilación de la información existente

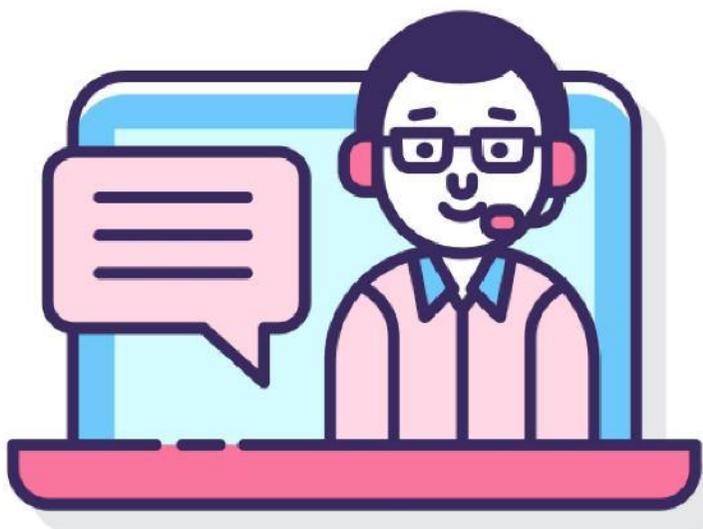


bases del conocimiento científico-técnico

QMÁX, Qg y tc



## Seminario técnico inicial



**Propuesta metodológica**  
QMÁX, Qg y tc

**162 inscritos**





## ESTRATEGIA #DHEbro



Aportaciones, sugerencias y comentarios





## **Recopilación y análisis de la información hidrológica**



# TRABAJOS DE CAMPO



15

Estudios de  
HÁBITAT





**Crecidas controladas**



## Propuesta preliminar de caudales

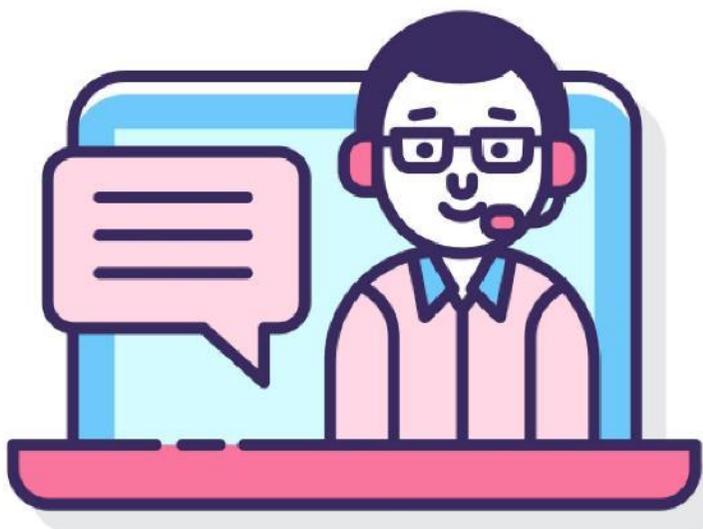


QMÁX, Qg y tc

### Reuniones con gestores de infraestructuras



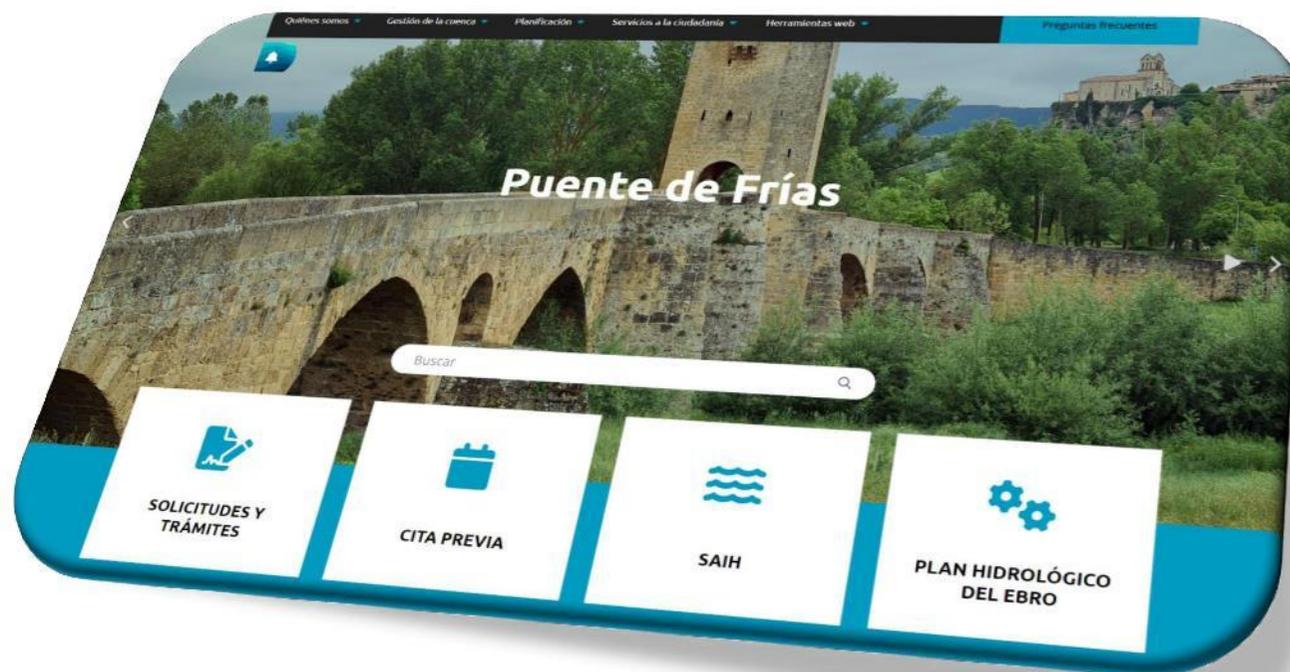
## Seminario técnico final

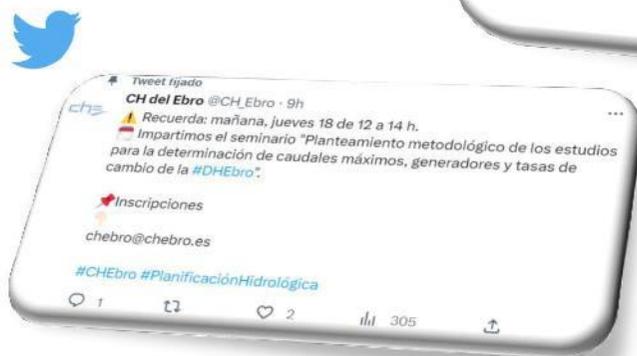
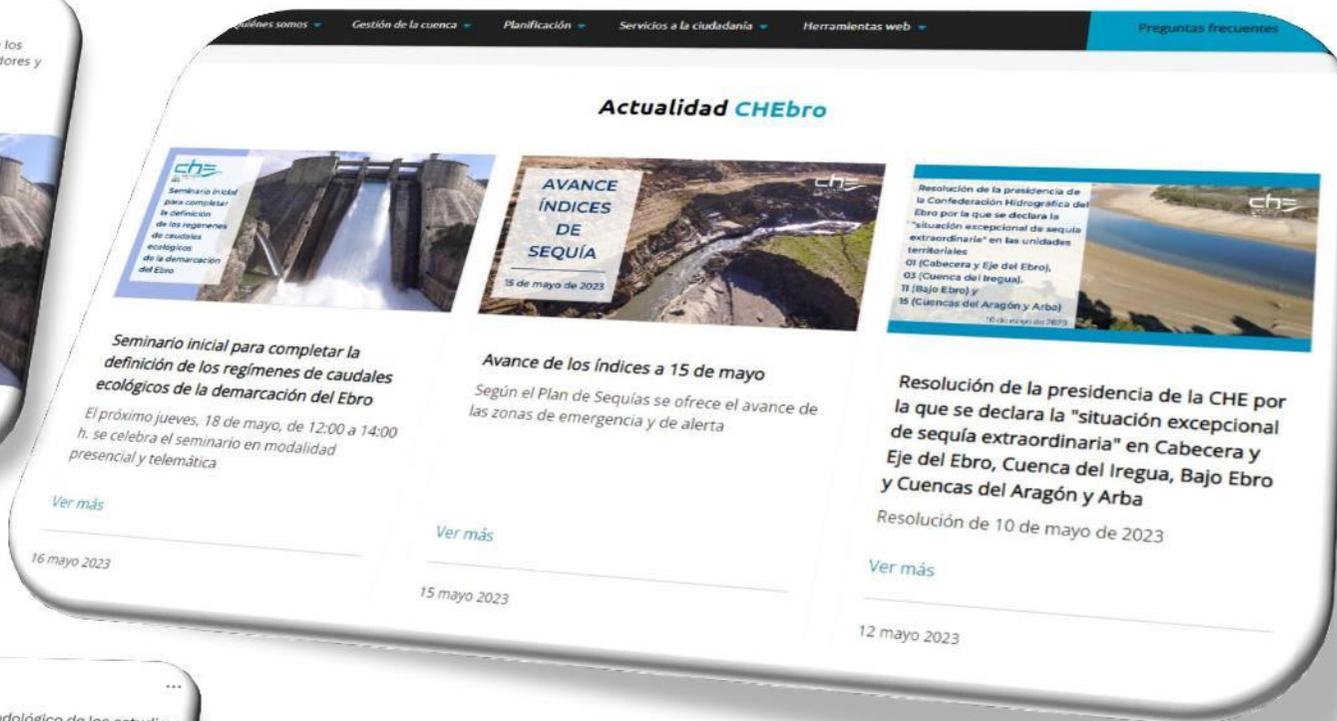


**Propuesta final de caudales**  
QMÁX, Qg y tc



# Comunicación y divulgación





<https://www.chebro.es/>

**Gracias por su atención**



2. Presentación 2: “Recopilación de información básica para el planteamiento metodológico”. Rafael Minaya González. (NTT DATA)



## RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

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

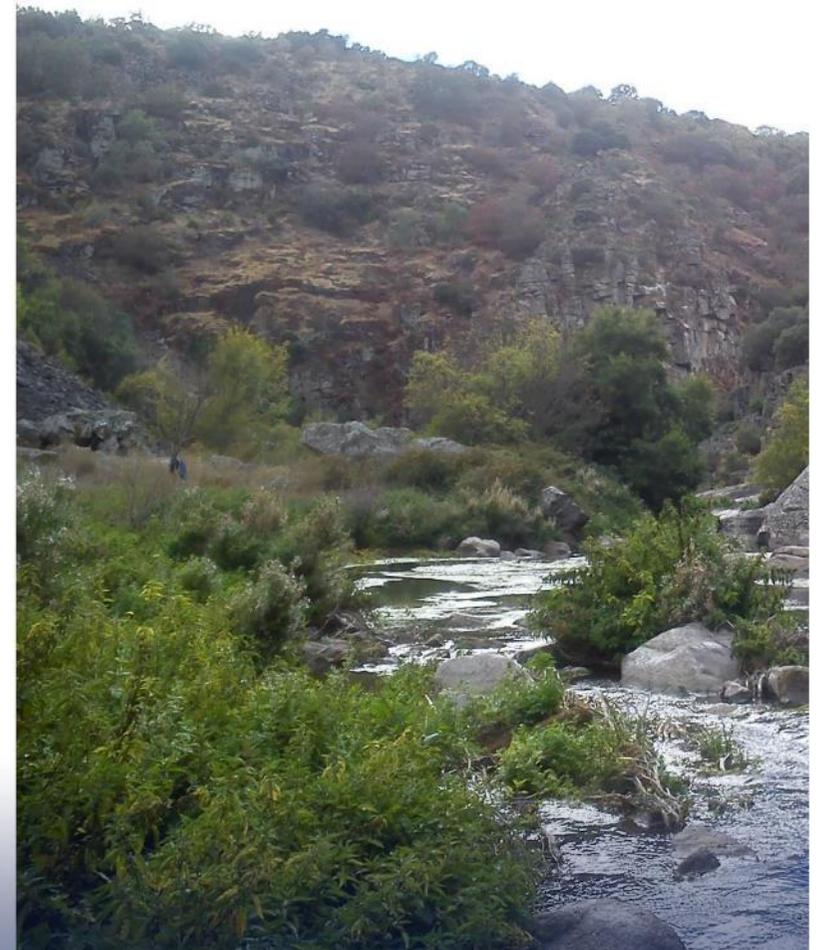
Rafael Minaya González

NTT DATA

18 DE MAYO DE 2023

## ÍNDICE

1. Planteamiento de la recopilación
2. ¿Que se ha analizado?
3. Información internacional
4. Guía europea
5. Planes hidrológicos españoles
6. Instrucción de Planificación (IPH)
7. Borrador de la Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos
8. Trabajos relevantes en la Demarcación del Ebro
9. Ideas generales



## 1. PLANTEAMIENTO DE LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN



- Según las directrices del trabajo (PPT) la búsqueda de la información se centrará exclusivamente en los caudales máximos, generadores y tasas de cambio.
- Existen numerosas metodologías de determinación de caudales, por ello se opta por recopilar principalmente los aspectos normativos para centrarse en planteamientos plausibles.
- Recopilar otra información relevante.

NTTData

## 2. ¿QUÉ SE HA ANALIZADO?



- Aspectos normativos internacionales referentes a caudales ecológicos
- Guía europea de caudales ecológicos
- Planes hidrológicos españoles
- Instrucción de Planificación Hidrológica
- Borrador de la guía para la implantación de caudales ecológicos
- Trabajos relevantes con esta temática en la cuenca del Ebro

NTTData



### 3. RECOPIACIÓN INTERNACIONAL



- Se ha realizado a partir de las páginas oficiales de diferentes países, así como de la base de datos FAOLEX, de la FAO.
- Los países analizados han sido:
  - Europa: Francia, Portugal, Reino Unido, Irlanda, Alemania, Austria y Noruega.
  - Otros países del mundo: Australia, Sudáfrica, Estados Unidos, Argentina, Chile, Perú y Colombia.

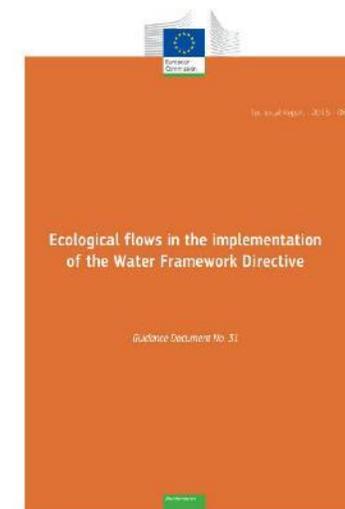
- Como resumen, se puede indicar que, en la mayoría de países consultados, no se ha observado que dispongan de normativa referente a caudales máximos o generadores, limitándose a los caudales mínimos o la extracción de agua.
- Destacan Portugal, Australia o Colombia:
  - Portugal: Guía Metodológica para la Definición de los Regímenes de Caudales Ecológicos de las Infraestructuras Hidráulicas en Portugal Continental. APA 2018
  - Australia: Directrices del caudal ambiental de los recursos hídricos (No. 2). Ministerio Medioambiente y Patrimonio 2019
  - Colombia: Metodología para la estimación de caudales ambientales en Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2019

NTT DATA

## 4. GUÍA EUROPEA



- Documento de Orientación Nº 31 “Caudales ecológicos en la aplicación de la Directiva Marco del Agua”. Grupo de trabajo de caudales ecológicos de la CIS (Estrategia Común de Implantación de la DMA), aprobado en noviembre de 2014.
- El objetivo de esta guía es *“estimular una adopción común de los caudales ecológicos, con el fin de apoyar la consecución de los objetivos medioambientales de la Directiva Marco del Agua (DMA).”*
- En la guía se indica que *“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”*.
- Destaca la necesidad de determinar el régimen de crecidas ya que *“el régimen de crecidas desempeña un papel fundamental en la estructura y el funcionamiento del ecosistema acuático (TNC, 2011a).*
- Tras revisión de la legislación y metodologías desarrolladas por los estados miembros indica que *“metodologías no suelen tener en cuenta todos los componentes del caudal, más allá del caudal mínimo.”*
- Conclusión: la **guía europea** 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.



NTT DATA

## 5. PLANES HIDROLÓGICOS ESPAÑOLES (Aspectos generales)



- Se ha recopilado información, 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 para el tercer ciclo de planificación.
- La Normativa de las Demarcaciones intercomunitarias, se encuentra dispuesta a través del **Real Decreto 35/2023**, de 24 de enero.
- Respecto a las Demarcaciones intracomunitarias tan solo han sido aprobados los Planes Hidrológicos de Galicia-Costa e Islas Baleares (Reales Decretos 48/2023 y 49/2023, respectivamente).
- La información referente a los Anejos de caudales ecológicos y Memoria de Planes hidrológicos del tercer ciclo se ha obtenido de la página web ([PPHH tercer ciclo](#)) dispuesta por el MITECO.

NTTData

## 5. PLANES HIDROLÓGICOS ESPAÑOLES (Normativas I)



Tipo	Demarcación	ARTICULADO			APÉNDICES			Nº MASAS DE AGUA		
		Qmax	Qgen	Tasas de cambio	Qmax	Qgen	Tasas de cambio	Qmax	Qgen	Tasas de cambio
Inter	Cantábrico Oriental	Sí	No	No	4.4	No	No	3	0	0
Inter	Cantábrico Occidental	Sí	No	No	4.3	No	No	5	0	0
Inter	Miño-Sil	Sí	Sí	Sí	5.6.	5.2.	5.3 (generadores) 5.4.(situaciones ordinarias)	280	280	280
Inter	Duero	Sí	Sí	Sí	5.3.	5.4.	5.4. (generadores)	14	20	20
Inter	Tajo	Sí	Sí	Sí	5.4.	5.3.	5.5.(máximos) 5.4 (generadores)	17	15	17
Inter	Guadiana	Sí	Sí	Sí	6.4.	6.6.	6.5. (máximos) 6.6. (generadores)	31	32	44 (máximos) 32 (generadores)
Inter	Guadalquivir	Sí	No	No	6.1.2.	No	No	14	0	0
Inter	Segura	Sí	Sí	Sí	6.1.3	6.1.4	6.1.5.	21	7	5
Inter	Júcar	Sí	Sí	Sí	5.3. y 5.5.	5.4.	5.3. y 5.5.	52	7	59
Inter	Ebro	Sí	Sí	Sí	6.5.1.	6.5.3.	6.5.2.	11	11	11
Inter	Ceuta	No	No	No	No	No	No	0	0	0
Inter	Melilla	No	No	No	No	No	No	0	0	0
Intra	Islas Baleares	No	No	No	No	No	No	0	0	0
Intra	Galicia Costa	Sí	Sí	Sí	8.3	8.3	8.3	20	24	11 (máximos CH) 24 (qgen)
Intra	Cuencas Mediterráneas Andaluzas	Sí	Sí	Sí	6.2	6.3	6.3	8	9	9 (generadores)
Intra	Guadalete y Barbate	Sí	Sí	Sí	6.2	6.3	6.3	7	7	7 (máximos)
Intra	Tinto, Odiel y Piedras	Sí	Sí	Sí	6.2	6.3	6.3	3	3	4 (máximos)
Intra	Distrito cuenca fluvial de Cataluña	No	Sí	Sí	No	1.4.2	1.4.2.	0	11	Disponen fórmula de cálculo
Intra	Islas Canarias (7)	No	No	No	No	No	No	0	0	No

## 5. PLANES HIDROLÓGICOS ESPAÑOLES (Valores de los Apéndices)



Tipo	Demarcación	Nº Masas		Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)			Magnitud Caudal generador (m <sup>3</sup> /s)		
		Qmax	Qgen	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
Inter	Cant. Oriental	3	0	26,0	1,8	10,2	s/d	s/d	s/d
Inter	Cant. Occidental	5	0	220,0	8,0	83,2	s/d	s/d	s/d
Inter	Miño-Sil	280	280	1.486,6	0,02	31,9	3.635,0	0,2	151,5
Inter	Duero	14	20	35,0	3,2	11,5	373,0	7,0	113,7
Inter	Tajo	17	15	411,1	3,8	67,7	682,9	15,8	177,0
Inter	Guadiana	31	32	526,5	0,1	25,9	119,1	0,1	10,9
Inter	Guadalquivir	14	0	84,4	1,7	27,5	s/d	s/d	s/d
Inter	Segura	21	7	60,0	1,6	17,9	54,3	6,3	25,4
Inter	Júcar	52	7	90,6	0,1	15,1	74,0	17,0	48,3
Inter	Ebro	11	11	1.900,0	5,0	248,0	1.200,0	1,0	138,4
Intra	Galicia Costa	20	24	182,3	0,2	16,5	453,8	1,0	94,0
Intra	<i>Cuencas Mediterráneas Andaluzas</i>	8	9	15,5	0,9	6,3	82,3	8,6	36,3
Intra	<i>Guadalete y Barbate</i>	7	7	49,1	0,4	14,1	136,2	6,8	71,6
Intra	<i>Tinto, Odiel y Piedras</i>	3	3	11,6	1,2	6,1	45,9	42,1	44,2
Intra	Distrito cuenca fluvial de Cataluña	0	11	s/d	s/d	s/d	74,3	0,8	21,3

NTT DATA

## 5. PLANES HIDROLÓGICOS ESPAÑOLES (Metodología. Aspectos generales)



En prácticamente todas las Demarcaciones 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).

### CAUDALES MÁXIMOS

- Se han empleado métodos hidrológicos verificados mediante el uso de modelos hidrobiológicos.
- Para las caracterizaciones hidrológicas se emplean series de una longitud de al menos 20 años.
- Normalmente se calculó el percentil 90 con los datos mensuales de los años húmedos.
- En aquellas masas de agua que disponen de estudios hidrobiológicos se ha evaluado una adecuada existencia de refugio para los estadíos o especies más sensibles, así como el mantenimiento de la conectividad longitudinal del tramo.
- Para la estimación del refugio, se emplean los criterios de velocidades máximas limitantes propuestas en la IPH.
- 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.

### CAUDALES GENERADORES

- 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 media móvil máxima de 30 días (ej. Guadiana).
- Frecuencia (periodicidad de los eventos generadores) se emplea normalmente la regionalización dispuesta por el CEDEX en la que asigna un coeficiente de variación ( $C_v$ ) según la zona estudiada.
- Duración : Normalmente asociada a las tasas de cambio.
- **Tasas de cambio:** Normalmente por el método estricto de la IPH. El Distrito de Cuenca fluvial de Cataluña dispone de un método propio para el cálculo de las tasas de cambio. El Duero empleó el método del Caudal básico de Mantenimiento o de Palau (QBM).

NTT DATA

## 5. PLANES HIDROLÓGICOS ESPAÑOLES (Disposiciones RD 35/2023)



Deben destacarse una serie de disposiciones generales que se recogen en el Real Decreto 35/2023 (demarcaciones intercomunitarias) directamente relacionadas con los caudales ecológicos:

- **Disposición adicional quinta** *“Cumplimiento de caudales ecológicos ante estados de emergencia o reposición del sistema eléctrico”*
- **Disposición adicional sexta:** *“Liberación artificial de la componente de caudales ecológicos: régimen de crecidas”* : dispone básicamente que:
  - ❖ *esta liberación 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.*
- **Disposición transitoria única** *“Adaptación de órganos de desagüe”*
- **Disposición final tercera:** *“Actualización de la instrucción de planificación hidrológica”*

NTT DATA

## 6. INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA (IPH)



**IPH: ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica**

- Norma española donde se detallan lo que son los caudales ecológicos y cómo calcularlos
- En ella: Se definen los caudales máximos, generadores y tasas de cambio (no solo caudales mínimos)

LOS ASPECTOS QUE RECOGE SE DESARROLLAN EN LA SIGUIENTE PONENCIA, como notas orientativas se puede indicar los siguiente:

### CAUDALES MÁXIMOS

- Se definirán para al menos 2 periodos hidrológico (húmedo y seco).
- Se analizarán los percentiles de excedencia de una serie representativa en **régimen natural** (al menos 20 años).
- Se recomienda no utilizar percentiles superiores al 90%.
- El régimen será verificado mediante el uso de modelos hidráulicos asociados a modelos de hábitat que verifiquen refugio y conectividad.

### TASAS DE CAMBIO

- 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.
- En determinados casos particulares será necesario considerar otra escala temporal que permita limitar la tasa de cambio a **nivel horario**.

### REGIMEN DE CRECIDAS

- Su caracterización se realizará 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 ascenso como en descenso

NTT DATA

## 7. GUÍA DETERMINACIÓN REGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS (I)



Dentro de la recopilación de información se ha tenido en cuenta el Borrador de la Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos (no publicada) que, en 2008, sirvió de apoyo en la implantación de lo dispuesto en la IPH .

LOS ASPECTOS QUE RECOGE SE DESARROLLAN EN LA SIGUIENTE PONENCIA, como notas orientativas se puede indicar los siguiente:

**CAUDALES MÁXIMOS:** El régimen de caudales máximos deberá ser cuantificado mediante el uso de modelos hidráulicos asociados a modelos de hábitat

- **Evaluación de la afección por velocidad críticas:** En la definición de las velocidades optimas se deberá recurrir a la recopilación de información científica específica para las especies objetivo seleccionadas en el tramo, a su generación específica por consulta a expertos, o bien recurrir al análisis de envolventes de curvas de preferencia. En caso de carecer de información deberá recurrirse a los umbrales de velocidades críticas definidas en la Instrucción de Planificación.
- Se deberá asegurar que al menos se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio
- Cuando el refugio sea inferior al 70% de la superficie será necesario analizar las condiciones de conectividad y la capacidad de refugio del tramo

NTTData

## 7. GUÍA DETERMINACIÓN REGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS (II)



LOS ASPECTOS QUE RECOGE SE DESARROLLAN EN LA SIGUIENTE PONENCIA, como notas orientativas se puede indicar los siguiente:

### CAUDALES GENERADORES:

- 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).
- Para la determinación del M.C.O pueden seguirse dos procesos:
  - Cálculo de estadísticos a partir de datos muestrales
  - Cálculo de estadísticas a partir de leyes de frecuencia
- Respecto a las tasas de cambio indica que es necesario fijarlas para amortiguar los cambios en el régimen de caudales.
- Solo se menciona la tasa de cambio desarrollada por la ACA

NTT DATA

## 8. TRABAJOS RELEVANTES EN LA DEMARCACIÓN DEL EBRO



Entre la información relacionada con caudales máximos, generadores y tasas de cambio en la Confederación Hidrográfica del Ebro destacan los siguientes trabajos:

1. Propuesta de caudales generadores y de conectividad para la presa de Itoiz (CHE 2016)
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 (Nota técnica CEDEX 2022)
3. Diseño de crecidas de mantenimiento: aplicación en el río Cinca (CHE 2019)
4. Propuesta gestión de los desembalses desde la presa de Ciurana (ACA 2023)
5. Plan Sectorial de caudales de mantenimiento de las cuencas internas de Cataluña. (ACA 2005)
6. Propuesta del régimen de caudales ambientales en el tramo final del río Ebro y validación biológica preliminar (ACA 2008)
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)
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)

NTT DATA

## 9. IDEAS GENERALES



- 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.
- 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.
- En España se ha realizado un avance significativo en el establecimiento de caudales máximos y generadores, junto con sus tasas de cambio, para este tercer ciclo de planificación (2022-2027)
- Se observa un incremento en la realización de estudios de seguimiento ambiental de los caudales generadores.
- Respecto al cálculo de los caudales máximos, generadores y tasas de cambio, prácticamente todas las Demarcaciones han atendido al articulado de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH).

NTT DATA

NTT DATA



MUCHAS GRACIAS



3. **Presentación 3: “Propuesta metodológica para el estudio de caudales máximos, generadores y tasas de cambio”. Mariano Cebrián del Moral (NTT DATA)**



## PROPUESTA METODOLÓGICA

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

Mariano Cebrián del Moral

NTT DATA

18 DE MAYO DE 2023

# Contenido

1. Caudales máximos
2. Caracterización del régimen de crecidas
3. Tasas de cambio
4. Reconocimiento en campo de avenidas
5. Contribución de los usuarios y otras personas interesadas

# Caudales máximos (1)

Definidos en el artículo IPH 3.4.1.4.1.2. *Distribución temporal de caudales máximos*

*Los caudales máximos que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas. ¿Por qué?*

## Alteraciones provocadas por caudales excesivos

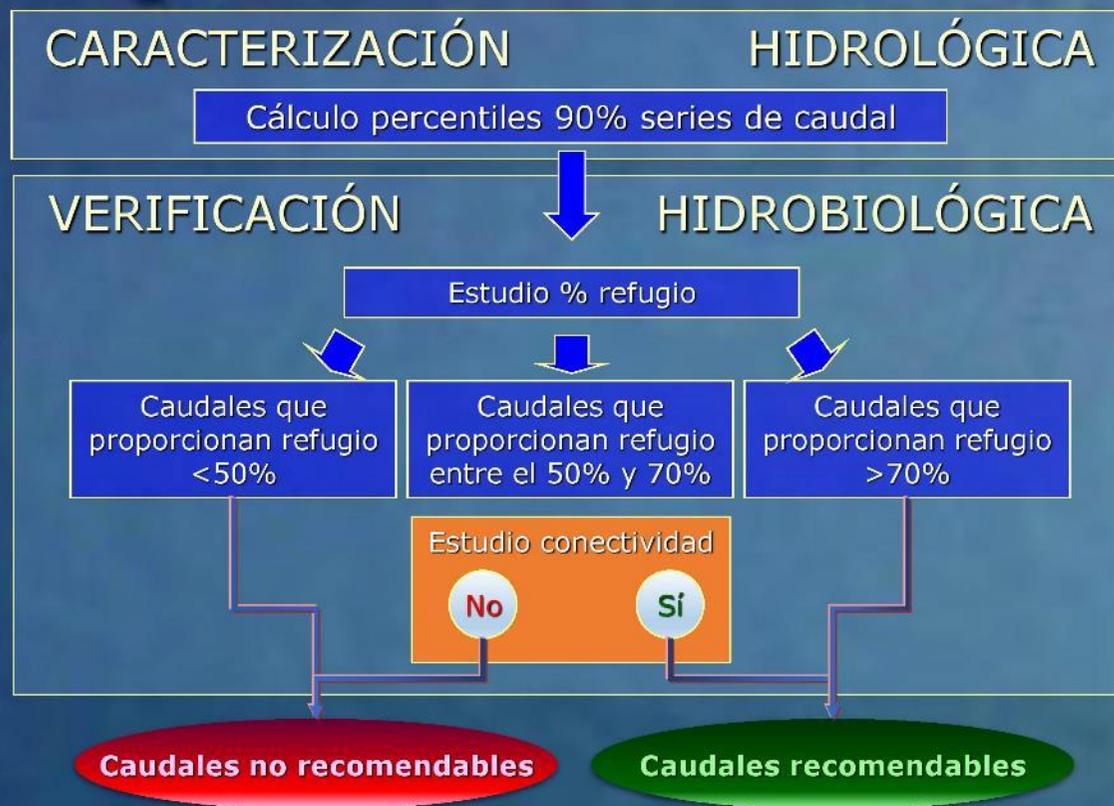
- Aumento de la velocidad
- Mayor capacidad de transporte
- Disminución de temperatura

## Efectos sobre el río

- Arrastre de la biota
- Cambios geomorfológicos
  - Incisión acelerada
  - Ampliación del cauce
  - Alteración de los rápidos y remansos
- Simplificación de la biocenosis y sustitución de especies

## Caudales máximos (2)

- **Caracterización:** Análisis de los percentiles de excedencia mensuales de la serie de caudales. Criterio: No superar el percentil 90 de la serie.
  - Series SIMPA de distinta longitud (corta 1940-2018 y larga 1980-2018)
  - Distintos criterios sobre el cálculo de percentiles (serie diaria, serie mensual, todos los años, años húmedos...)
- **Verificación:** Establece que el régimen de caudales máximos debe ser verificado mediante *modelos de hábitat* acuático



## Caudales máximos (3)

- Evaluación del hábitat de refugio: Aquellos tramos del río con una determinada profundidad de agua y cuyas velocidades no superan las velocidades máximas para las especies existentes en el tramo. Propuestas en la IPH (a falta de estudios específicos):

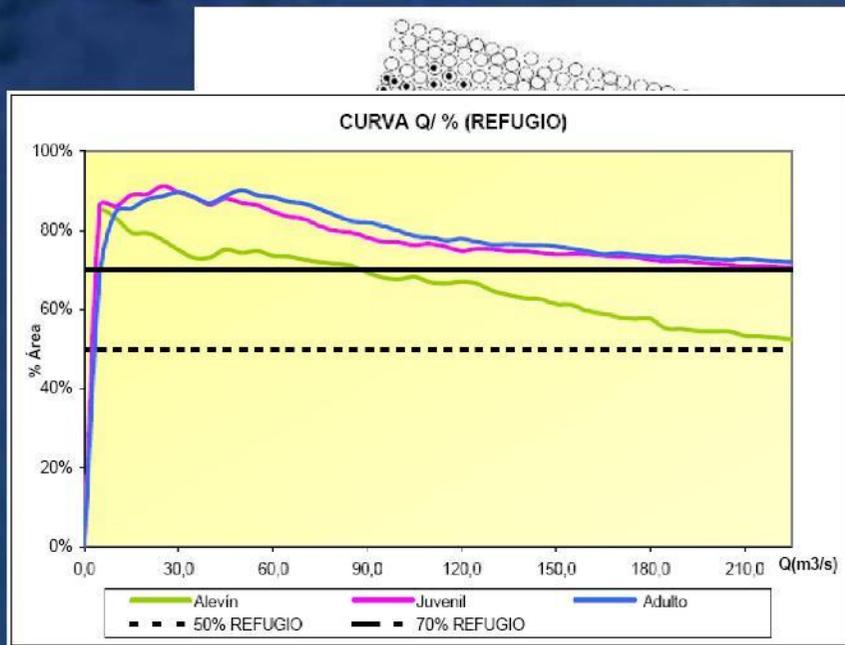
CONSIDERACIÓN DE "REFUGIO"		
ESTADIO	Velocidad máxima limitante (m/s)	Profundidad mínima limitante (m)
Alevín	1	0,1
Juvenil	2	0,15
Adulto	2,5	0,25

Se evalúa mediante modelos hidráulicos acoplados a la simulación de hábitats

Se discrimina entre tipo de río, ya que no todos los ríos deben ser aptos para todos las fases vitales. Existe una estratificación del territorio

# Caudales máximos (4)

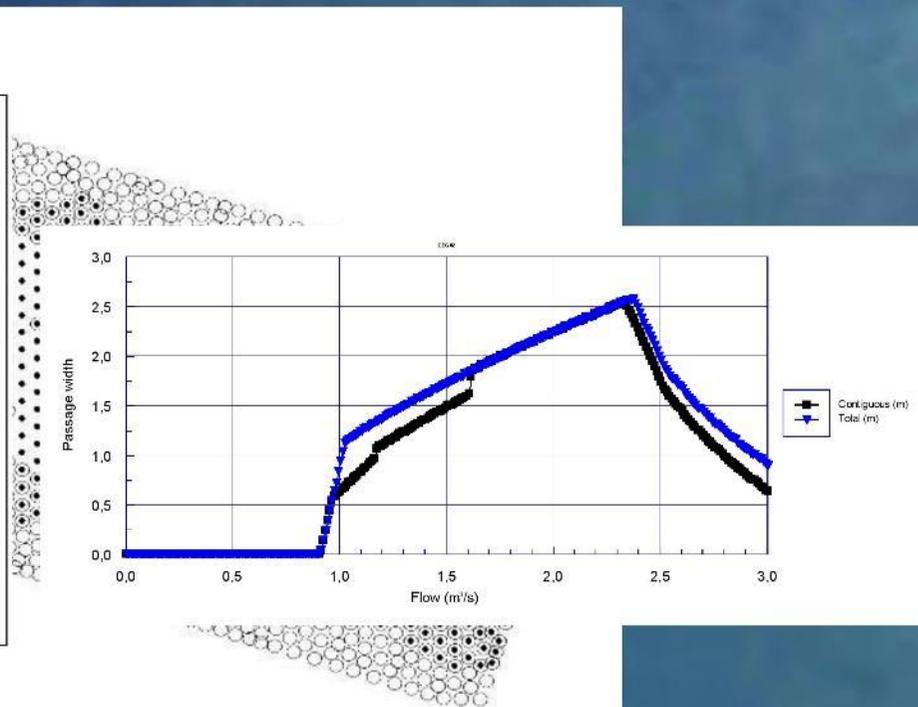
## Análisis del refugio



N.S. de Agavanzal. Q=32 m3/s

- Velocidad menor a 1 m/s
- Profundidad mayor a 0,1 m

## Análisis de la conectividad



# Caracterización del régimen de crecidas (1)

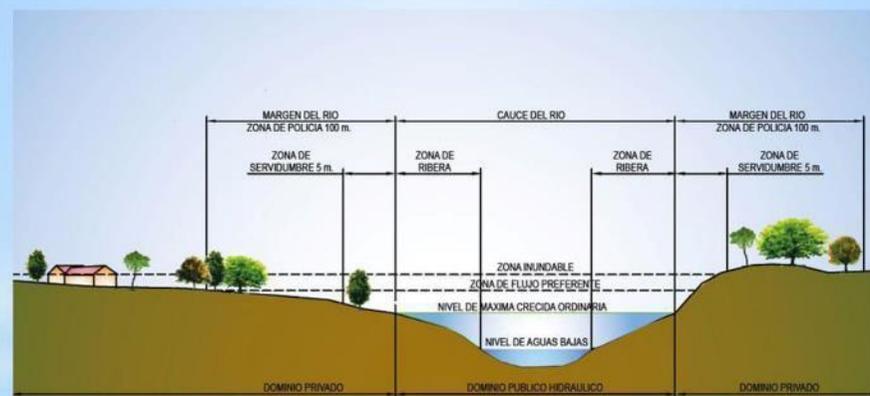
## La IPH define que se debe hacer

- Caracterizarlo en aquellos tramos situados **aguas abajo de importantes infraestructuras de regulación.**
- Los parámetros a determinar son: **Magnitud, Frecuencia, Duración, Estacionalidad y Tasas de cambio.**

## Funciones básicas

- Remueve los materiales del cauce y regenera la zona hiporreica (intersticial).
- Favorece el transporte de sedimentos y materia orgánica.
- Controla el desarrollo de los productores primarios.
- Renueva y diversifica el microhábitat y las poblaciones de zoobentos.
- Evita la presión de colonización de las riberas. Mantiene la sección fluvial ("bankfull"). Aporta las escrituras de propiedad del río.

### ZONIFICACIÓN DE LA ZONA INUNDABLE



Reset del  
ecosistema

NTT DATA

## Caracterización del régimen de crecidas (2)

### Magnitud

- A partir de los datos del **CauMax**. Aplicación desarrollada por el CEDEX en ArcGis, donde se puede obtener la QMCO junto con los Caudales Máximos Instantáneos para los distintos periodos de retorno (T= 2, 5, 10, 25, 100 y 500 años).
- Calculándolo a partir de la serie de caudales máximos anuales aplicando la ley de **distribución de frecuencias de Gumbel** para el estudio de los valores extremos.

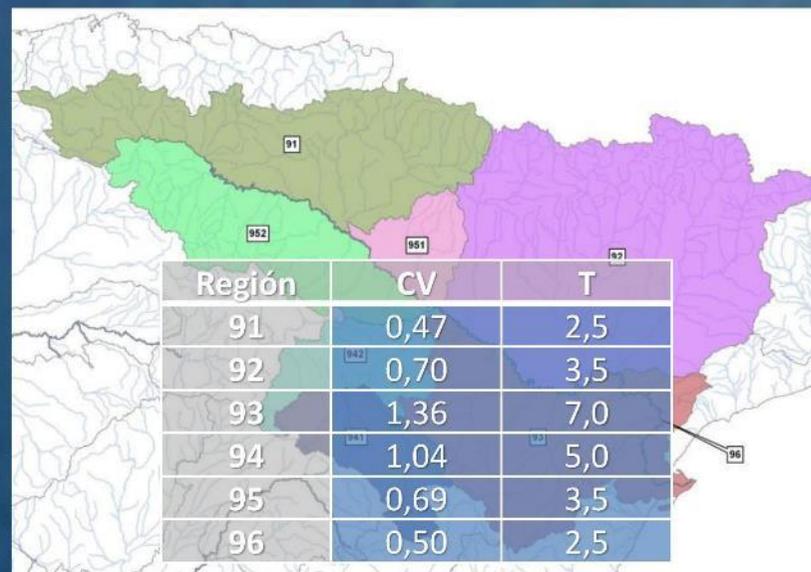
$$F(x) = e^{-e^{-b}}$$

Siendo:  $b = \alpha (x - u)$

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

### 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 (Cv) según la zona estudiada, tal como se muestra:

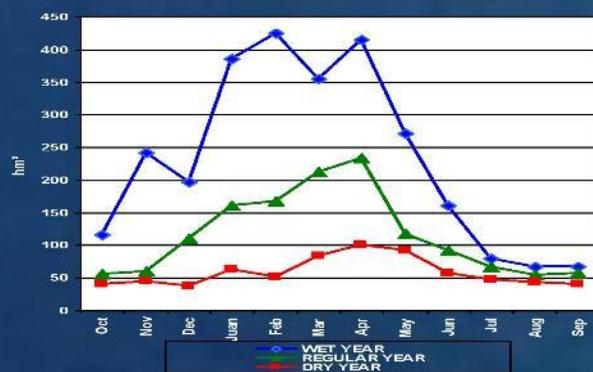


DATA

## Caracterización del régimen de crecidas (3)

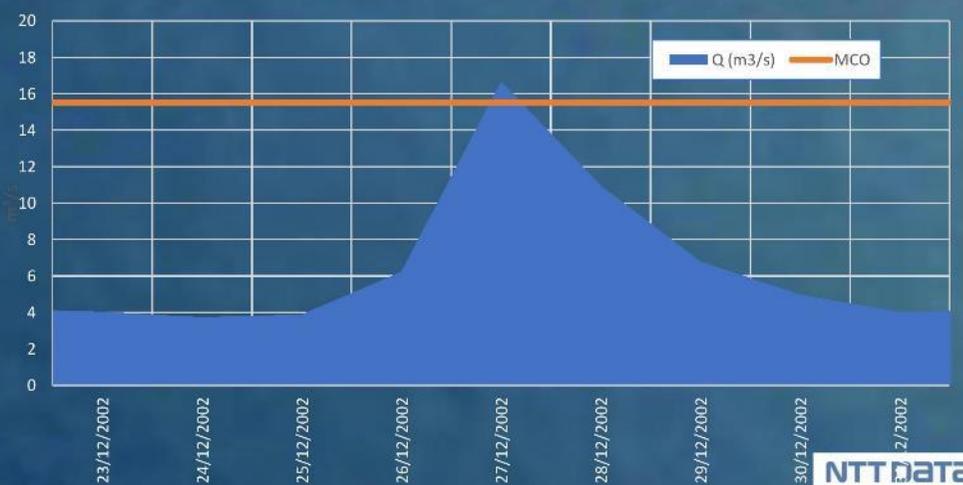
### Estacionalidad

- Periodo del año en el que se tiene que producir el elemento generador: meses de mayor probabilidad de que se produzcan este tipo de eventos de forma natural.
- Se seleccionarán los 4 meses de mayor aportación natural media.



### Duración

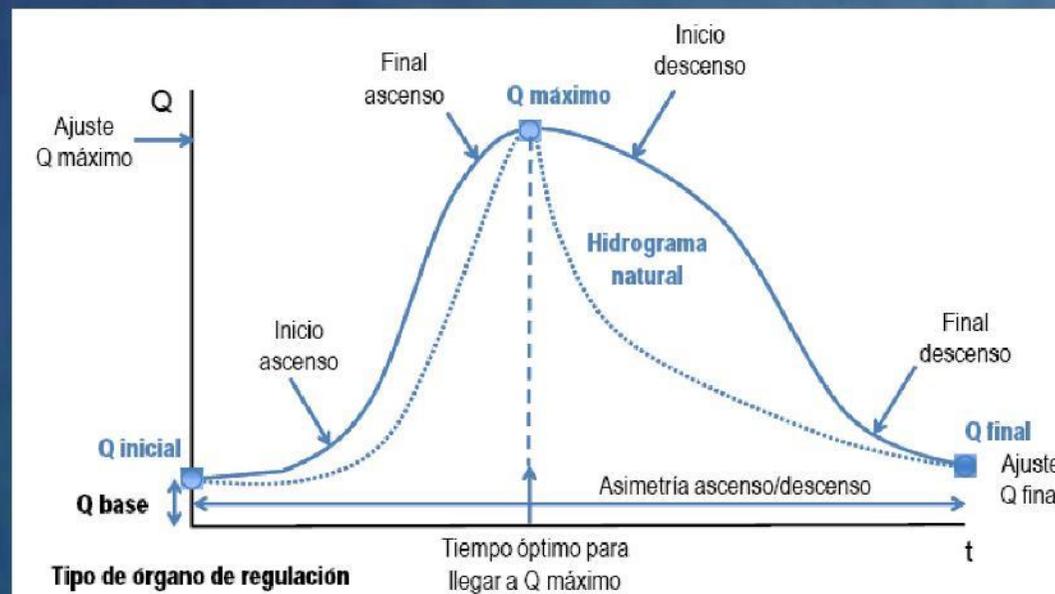
- Lapso de tiempo desde que empieza a subir el caudal hasta el momento en que se vuelve a alcanzar el caudal base.
- Asociado a las tasas de cambio



## Tasas de cambio (1)

### Efectos de las variaciones bruscas de caudal

- Fase de ascenso: arrastre de organismos
- Fase de descenso: dejar en seco a organismos: varados en orillas o aislados en charcos
- Tanto especies lóxicas como leníticas se ven desfavorecidas: no existen organismos adaptados a ellas, siendo la consecuencia general la pérdida de especies sensibles a estas variaciones



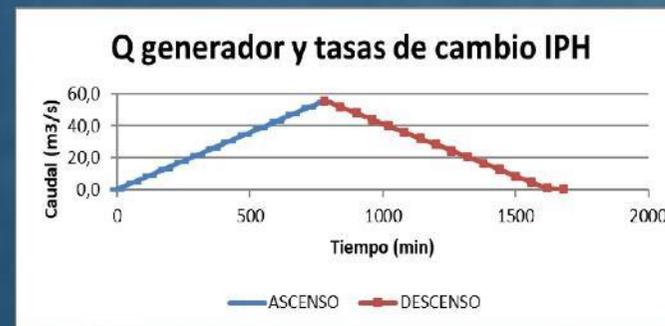
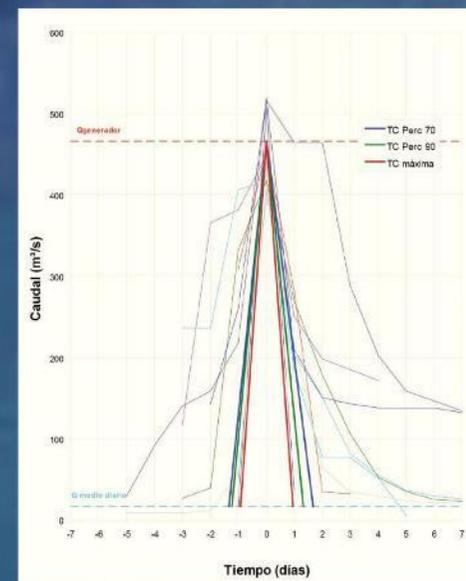
La IPH. 3.4.1.4.1.3. *Tasa de cambio* dice que su estimación tanto para el ascenso como descenso.

Son necesarias para los caudales generadores, pero también aplicables a la gestión habitual de las presas: caudales de turbinación, desagües para la gestión, etc.

## Tasas de cambio (2)

### Método IPH estricto

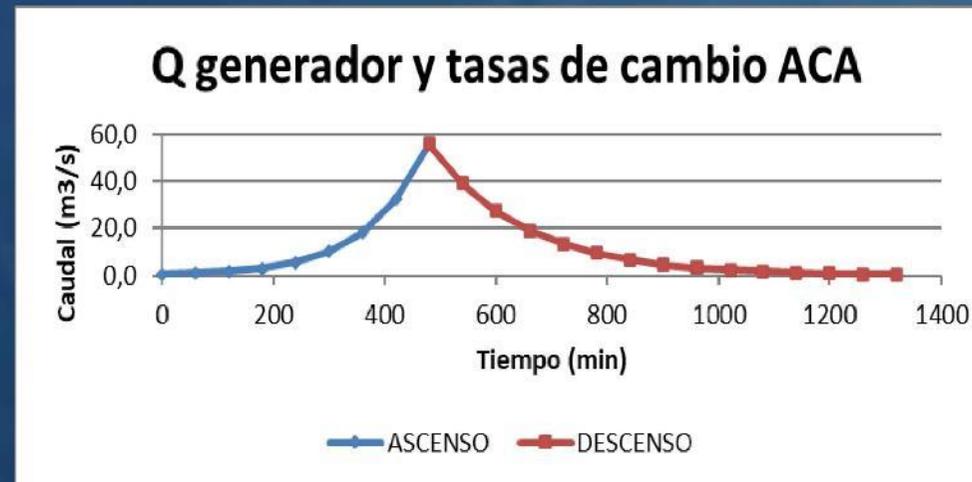
- Propuesta de la crecida a partir del análisis de datos medios diarios de crecidas precedentes
- La IPH recomienda que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso



## Tasas de cambio (3)

### Método Agencia Catalana del Agua

- Tasa de crecimiento inducido de caudal:  $C_{t+1} (\text{máximo}) = 1,8 Q_t$
- Tasa de decrecimiento inducido de caudal:  $C_{t+1} (\text{mínimo}) = 0,7 Q_t$
- Donde “t” son intervalos de tiempo de 1 hora



## Tasas de cambio (4)

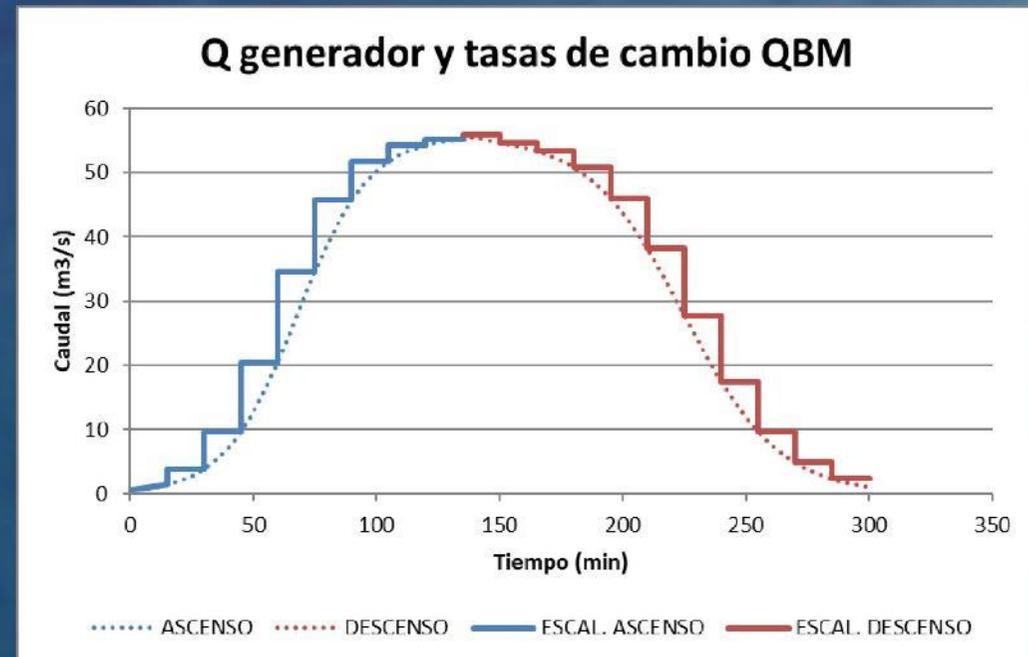
### Método del Caudal Básico de Mantenimiento QBM

- Tasa ascendente:

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

- Tasa descendente:

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



## Tasas de cambio (5)

- Comparación entre métodos

Criterio	IPH estricto	ACA	QBM
Adaptado a un régimen horario	No, basado en Q diarios	Sí	Sí
Se ajusta exactamente a la IPH	Sí	Parcialmente	Parcialmente
Ajuste al Q máximo	Sí	Parcialmente	Sí
Ajuste al Q final	Sí	Parcialmente	Sí
Asimetría de las ramas	Sí	Sí	Sí
Pendientes máximas	Adecuadas	Pueden ser excesivas	Elevadas
Comienzo del ascenso	Brusco	Suave	Suave
Final del ascenso	Brusco	Brusco	Suave
Comienzo del descenso	Brusco	Brusco	Suave
Final del descenso	Brusco	Suave	Suave
Volumen de agua dedicado	Elevado	Elevado	Bajo
Tiempo de la maniobra	Elevado	Elevado	Aceptable

# Reconocimiento en campo de avenidas

- Reconocimiento en campo en caso de avenida natural o crecida controlada.

## Avenidas naturales

- Protocolo simplificado
  - Visita para tomar constancia de magnitud y efectos
  - Medidas para estimar el transporte en suspensión
  - Se representará el hidrograma para conocer la crecida

## Avenidas controladas

- Seguimiento detallado. además del simplificado se realizará:
  - Recopilación datos hidrológicos
  - Se tomarán medidas para estimar el transporte de fondo y tensión de arrastre

## Contribución de los usuarios y otras personas interesadas

- El cálculo de estos caudales no debe ser una 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:

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

¡Muchas gracias por su atención!