

DOCUMENTO DE SINTESIS DE LOS
ESTUDIOS DE CAUDALES
ECOLÓGICOS MÍNIMOS EN EL RIO
TAJO EN EL TRAMO ARANJUEZ-
TALAVERA DE LA REINA



Noviembre 2019

DOCUMENTO DE SINTESIS DE LOS ESTUDIOS DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS EN EL RIO TAJO EN EL TRAMO ARANJUEZ-TALAVERA DE LA REINA

En el presente Documento se sintetizan los resultados más relevantes de los trabajos realizados para caracterizar los caudales ecológicos mínimos en el tramo Aranjuez-Talavera de la Reina en el río Tajo y su posible afección como consecuencia del cambio climático.

En los trabajos se ha estudiado el régimen de caudales ecológicos mínimos en el río Tajo en el tramo comprendido entre Aranjuez y Talavera de la Reina, a partir de los resultados obtenidos con los métodos hidrológicos y de modelación del hábitat que señala la ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica.

Para el resto de los componentes del caudal ecológico que establece la ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, su determinación queda fuera de los objetivos del presente trabajo, ya que están asociados principalmente con la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas que regulan los tramos.

METODOS HIDROLÓGICOS

Para la aplicación de los métodos hidrológicos se han utilizado las nuevas series obtenidas mediante simulación hidrológica con el modelo SIMPA (SIMPA Actualizado), correspondientes al periodo 1940-2016. Estas series son ligeramente diferentes de las previamente disponibles (SIMPA Original), debido a la nueva calibración del modelo SIMPA.

A partir de estos trabajos, se desprenden las siguientes conclusiones principales para los métodos hidrológicos:

1. La nueva serie SIMPA Actualizado revisa a la baja la estimación de caudales circulantes en el tramo Aranjuez-Talavera del río Tajo. En el periodo de solape de la serie SIMPA Original y SIMPA Actualizado desde 1980-81 la reducción es del 11,6% en Aranjuez, del 14,1% en Toledo y del 6,4% en Talavera de la Reina. La reducción en la estimación del caudal medio viene acompañada de un incremento en la variabilidad de las series. En el periodo de solape de la serie SIMPA Original y SIMPA Actualizado desde 1980-81 el incremento del coeficiente de variación es del 18,8% en Aranjuez, del 19,9% en Toledo y del 13,8% en Talavera de la Reina.

2. Se han calculado los caudales ecológicos mediante los métodos hidrológicos contemplados en la Instrucción de Planificación Hidrológica para la serie SIMPA Actualizado en el periodo 1980-81 a 2015-16. En Aranjuez se han obtenido valores de caudal ecológico medio anual comprendidos entre 10,4 m³/s (caudal básico de mantenimiento) y 7,0 m³/s (percentil 95% a escala mensual). En Toledo se han obtenido valores de caudal ecológico medio anual comprendidos entre 21,6 m³/s (percentil 85% a escala mensual) y 14,5 m³/s (percentil 95% a escala mensual). En Talavera se han obtenido valores de caudal ecológico medio anual comprendidos entre 31,4 m³/s (percentil 85% a escala mensual) y 20,7 m³/s (percentil 95% a escala mensual).
3. En conjunto, se han obtenido caudales ecológicos comprendidos entre el 16% y el 28% del caudal medio anual y se ha comprobado que hay una importante sensibilidad de los resultados a los criterios de cálculo. La dispersión de los valores obtenidos confirma que el abanico de métodos contemplado en la Instrucción de Planificación Hidrológica es muy amplio, y debe ser complementado con otro tipo de análisis para fijar los valores de caudal ecológico más apropiados en cada caso.
4. Los caudales ecológicos se han validado mediante el análisis de la probabilidad de cumplimiento cuando se comparan con la serie en régimen natural. Se han obtenido valores de probabilidad de cumplimiento que oscilan entre el 97,2% del método de percentil 95% por meses y el 78,9% del método del caudal básico de mantenimiento en Aranjuez.
5. Los caudales obtenidos en este estudio se han comparado con los caudales recogidos en el Anejo nº5 del Plan Hidrológico del Tajo. Se ha constatado que los valores de caudal ecológico del Plan Hidrológico del Tajo son muy superiores a los obtenidos en este estudio en los tres puntos analizados. La discrepancia entre los resultados de este estudio y los del Plan Hidrológico del Tajo es debida a la aplicación de los factores de variación, que pueden incrementar los caudales ecológicos en más de un 60%. En menor medida, la discrepancia se debe también al cambio de las características hidrológica de la serie SIMPA Actualizado con relación a la serie SIMPA Original.
6. La probabilidad de cumplimiento de los caudales ecológicos del Plan Hidrológico del Tajo oscila entre el 83,1% del método de percentil 5% en Talavera 41,5% del método de la media móvil de 21 días con el factor de variación 3 en Aranjuez. A la vista de las probabilidades de cumplimiento obtenidas al compararlas con la serie natural, resulta difícil aceptar que los caudales definidos en el Anejo 5 del PHT son los mínimos imprescindibles para mantener la vida piscícola o la vegetación de ribera naturales. Si esto fuera así, los frecuentes incumplimientos de la serie natural habrían comprometido seriamente la viabilidad de dicho ecosistema.

METODOS DE SIMULACION DE HABITAT FISICO

Para el estudio del caudal ecológico mínimo con el método de simulación de hábitat físico, se han seleccionado seis subtramos representativos del tramo comprendido entre el embalse de Bolarque y Talavera de la Reina, en los que se han recabado los datos de campo necesarios. Los subtramos seleccionados para el estudio son los siguientes:

- Subtramo 1: Aguas abajo de Almoguera y antes de curva de remanso del embalse de Estremera.
- Subtramo 2: Aguas abajo del Salto de Valderribas y antes de la curva de remanso del azud de Buenamesón
- Subtramo 3: Aguas abajo del azud de Valdajos y antes del canal de restitución de la central hidroeléctrica situada aguas abajo.
- Subtramo 4: Antes de confluencia con el río Jarama, aguas abajo de Aranjuez.
- Subtramo 5: Aguas bajo de la Central de Aceca en el río Tajo, representativo del tramo desde río Jarama hasta Toledo
- Subtramo 6: Aguas abajo de Talavera, representativo del tramo desde el río Alberche hasta la cola del Embalse Azután

Dentro de los trabajos de campo, y con el fin de comprobar los efectos sobre la vegetación de ribera del régimen de caudales ecológicos mínimos que se aplica actualmente a los tramos prioritarios por disposición legal, se ha determinado igualmente el índice QBR de vegetación riparia y estado hidromorfológico de las riberas en los seis subtramos. Las principales conclusiones obtenidas del método de simulación de hábitat físico se resumen en los siguientes puntos:

1. A partir de los análisis realizados, se puede deducir que el régimen de caudales ecológicos mínimos al que están sometidos este los tramos seleccionados del río Tajo no ha influenciado de forma significativa sobre el estado y grado de conservación de su vegetación de ribera, existiendo otros factores distintos al régimen de caudales ecológicos mínimos que han tenido una mayor afección sobre el estado actual de conservación, como pueden ser la presión agraria, industrial o urbanística que ha afectado a las riberas y márgenes del río con importantes pérdidas de la vegetación riparia y sus características hidromorfológicas originales.
2. Se ha definido una distribución temporal de caudales ecológicos mínimos, seleccionándose periodos homogéneos y representativos en función de la naturaleza hidrológica de la masa de agua y de los ciclos biológicos de las especies autóctonas, identificándose al menos dos periodos distintos dentro del año (húmedo y seco).

3. La longitud de los seis subtramos seleccionados ha de ser suficiente (del orden de los 300 m) para que incluya una representación adecuada de la variabilidad física y ecológica del río, quedando representados los mesohábitats y características limnológicas dominantes en el río Tajo.
4. Para la selección de las especies de peces objetivo se ha dado prioridad a su carácter autóctono y a que estuvieran incluidas dentro del Catálogo de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha y dentro de alguna de las categorías de En Peligro de Extinción, Vulnerables, Sensibles a la Alteración de su Hábitat y De Interés Especial, así como a las especies recogidas en los anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992. Se han seleccionado a la trucha (*Salmo trutta*) y bermejuela (*Rutilus arcassii*), ya que cumplen estos requisitos y además cuentan con curvas de preferencia contrastadas para la cuenca del Tajo además de presentar sensibilidad a los cambios en el régimen de caudales (especialmente la trucha común). De forma adicional, y con el fin de contar con otros valores de referencia de caudales ecológicos mínimos, se ha considerado al barbo común (*Barbus bocagei*), a pesar de que esta especie no cumple con los criterios de la ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre para ser seleccionada como especie objetivo.
5. Para las especies objetivo se han obtenido, mediante el modelo RHABSIM de amplia aceptación científica, curvas que relacionen el hábitat potencial útil con el caudal, a partir de las simulaciones de idoneidad del hábitat físico. En el caso de la trucha común y barbo, se han simulado para tres estadios del ciclo vital (alevín, juvenil y adulto). Para el caso de la bermejuela, esta simulación por ciclos vitales no se ha podido completar por falta de curvas de preferencia por fases vitales, realizándose solo para el conjunto de ellas.
6. A partir de estas curvas se ha generado una curva combinada para facilitar la toma de decisiones y la concertación sobre un único elemento, donde se puede reflejar el régimen de caudales al estadio más restrictivo o más sensible. Esta curva se ha generado mediante la combinación ponderada y adimensional del hábitat potenciales útil, determinado para los estadios predominantes en los periodos temporales considerados como época húmeda y seca.
7. Por tanto, la curva combinada se ha referido para a un periodo húmedo y a otro de estiaje o seco, considerando en cada uno de ellos la predominancia de los estadios de la especie objetivo. En época de estiaje o seca se ha considerado prioritarios los alevines y en época húmeda los juveniles frente al estadio adulto, persistente durante todo el año.
8. La distribución de caudales ecológicos mínimos se ha determinado mediante la modelación de la idoneidad del hábitat, de acuerdo con alguno de los siguientes criterios: a) Se ha considerado el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 30-50-80% del hábitat potencial útil máximo.

- b) Considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.
9. En algunos casos, también la curva de hábitat potencial ha sido creciente y sin aparentes máximos, adoptándose como criterio el valor máximo el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el rango de percentiles 10-25 % (P10 y P25) de los caudales medios diarios en régimen natural, obtenido de una serie hidrológica representativa de, al menos, 20 años.
 10. Para el cálculo de los P10 y P25, se ha partido de las series hidrológicas del modelo SIMPA actualizado, que cubre el período 1940-41 a 2015-16. Se disponen de estas series en tres puntos Aranjuez, Toledo y Talavera.
 11. Tal y como establece la ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, la distribución de caudales ecológicos mínimos obtenida de esta forma se deberá validar mediante el análisis de su influencia sobre la vegetación de ribera. Para ello, tal y como se indicó en el punto anterior, se empleó el uso un indicador de estado de la vegetación de ribera que permite relacionar las características hidromorfológicas del régimen de caudales con los atributos principales de las formaciones vegetales ribereñas, obteniéndose valores de estado de calidad bueno a intermedio.
 12. Los principales resultados obtenidos para las series temporales de caudales mínimos -en el rango de una pérdida del hábitat físico del 30-50-80%- por tramos prioritarios y para las fases y especies objetivo que cumplen los criterios de la ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, se pueden resumir en:

**CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS POR PERIODOS (m³/s)
POR EL METODO DE SIMULACION DE HABITAT PARA LAS DOS ESPECIES
CONSIDERANDO LOS VALORES MÁS RESTRICTIVOS**

Tramo	Periodo húmedo			Periodo seco		
	Q30% HPU (m ³ /s)	Q50% HPU (m ³ /s)	Q80% HPU (m ³ /s)	Q30% HPU (m ³ /s)	Q50% HPU (m ³ /s)	Q80% HPU (m ³ /s)
Aranjuez	0,88	1,46	1,85	0,79	1,32	2,60
Toledo	0,70	1,17	2,28	0,63	1,23	2,30
Talavera	3,55	5,44	8,67	3,55	5,44	7,30

NOTA: en algunos tramos, los valores de caudal más restrictivos coinciden con los de la bermejuela, que presenta solo una curva HPU-caudal. En estos casos, pueden presentar los mismos valores de caudal en las dos épocas o, en otros casos, mayores caudales en época seca que en húmeda con respecto a la trucha común

ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Se ha realizado un estudio de las series de proyecciones climáticas proporcionadas por el CEDEX en Aranjuez, Toledo y Talavera. Las series corresponden a seis proyecciones climáticas en dos escenarios de emisiones, RCP8 y RCP4. Se dispone del periodo de control (1961-2000) y del periodo futuro (2006-2100), que se ha dividido en tres periodos de impacto (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100). La metodología de trabajo se ha basado en el análisis de las variaciones de los valores de las variables de interés en los periodos de impacto con relación al valor en el periodo de control. Se han analizado las características hidrológicas de las series de partida (caudal medio y coeficiente de variación) y los caudales ecológicos calculados por los métodos hidrológicos contemplados en la IPH. Las conclusiones del estudio son las siguientes:

1. La comparación de las proyecciones climáticas con las series de referencia SIMPA en el periodo de control arroja un sesgo entre el 18% y el 25% en valores medios del conjunto de proyecciones y entre -41% y 104% en proyecciones individuales. Este sesgo es muy importante e impide trabajar directamente con las proyecciones.
2. Se han obtenido reducciones de los caudales medios de las series entre el 3% y el 9% en el primer periodo de impacto, entre el 13% y el 18% en el segundo periodo de impacto y entre el 18% y el 32% en el tercer periodo de impacto. Estas reducciones son ligeramente mayores que las obtenidas por el CEDEX para la totalidad de la cuenca del Tajo. Esto sugiere que la exposición de la cabecera del Tajo al cambio climático es mayor que la del conjunto de la cuenca.
3. Se han obtenido aumentos del coeficiente de variación de las series entre el 7% y el 18% en el primer periodo de impacto, del 22% en el segundo periodo de impacto y entre el 11% y el 34% en el tercer periodo de impacto.
4. Se han obtenido reducciones medias del conjunto de caudales ecológicos analizados entre el 6% y el 19% en el primer periodo de impacto, entre el 23% y el 32% en el segundo periodo de impacto y entre el 28% y el 49% en el tercer periodo de impacto. Si se consideran valores de caudales ecológicos individuales las horquillas se amplían a 6%-26%, 20%-41% y 22%-55% respectivamente.
5. Estas reducciones son significativamente mayores que las reducciones de los caudales medios. La diferencia entre los porcentajes de reducción de los caudales ecológicos y los porcentajes de reducción de los caudales medios está en torno al 11%. Esto es debido al incremento de la variabilidad de las series, que repercute sobre la determinación de los caudales ecológicos por métodos hidrológicos.
6. Las reducciones obtenidas en el escenario de emisiones RCP8 son aproximadamente un 60% mayores que las obtenidas en el escenario RCP4.

7. Si se comparan los valores de caudales medios y caudales ecológicos calculados en el periodo de referencia de la planificación hidrológica (1980-2016) con los valores correspondientes en el periodo de control (1961-2000), se obtienen reducciones que son comparables a las proyectadas para el primer periodo de impacto (2010-2040). Esto indica ya se han apreciado en la cabecera del Tajo variaciones de las series comparables a las obtenidas en este estudio.
8. Las conclusiones presentadas se han obtenido a partir de proyecciones climáticas que producen resultados muy dispares. Aunque los valores medios del conjunto de las seis proyecciones presentan un comportamiento coherente, los resultados tienen un alto grado de incertidumbre y deben interpretarse con cautela y siempre en términos cualitativos.

CONCLUSIONES FINALES

Como conclusión final a los estudios realizados, se destacan los siguientes puntos:

- En la tabla resumen se recogen tanto los resultados obtenidos con los métodos hidrológicos, como con la simulación de hábitat en los tres tramos analizados.

RANGO DE CAUDALES ECOLÓGICOS MINIMOS (m³/s)

Tramo	SIMULACION DE HÁBITAT						METODOS HIDROLOGICOS	
	30% HPU		50% HPU		80 % HPU			
Aranjuez	0,88	0,79	1,46	1,32	1,85	2,60	7	10,4
Toledo	0,70	0,63	1,17	1,23	2,28	2,30	14,5	21,6
Talavera	3,55	3,55	5,44	5,44	8,67	7,30	20,7	31,4

- Se han obtenido valores de caudal ecológico mínimo más elevados por métodos hidrológicos que por métodos de simulación de hábitat físico. Esta circunstancia es habitual en los tramos bajos de los grandes ríos donde existe un mayor peso del caudal base. El tramo Bolarque-Aranjuez presenta mesohábitats lentos con alta capacidad de hábitat para las especies piscícolas comúnmente analizadas, por lo que no es especialmente sensible a reducciones de caudal. Se considera que los métodos de simulación de hábitat físico capturan mejor esta circunstancia.
- La Instrucción de Planificación Hidrológica establece que, para masas de agua muy alteradas hidrológicamente, los caudales ecológicos se ajustarán mediante la simulación de la idoneidad del hábitat para las especies objetivo identificadas, indicando un umbral comprendido entre el 30 y el 80% del hábitat potencial útil máximo para fijar el régimen de mínimos.
- En las proyecciones climáticas analizadas, los caudales ecológicos experimentan fuertes reducciones: entre el 6% y el 19% en el primer periodo de impacto, entre el 23% y el 32% en el segundo periodo de impacto y entre el 28% y el 49% en el tercer periodo de impacto. Estas reducciones son superiores a las reducciones del caudal medio, como consecuencia de un incremento de la variabilidad.
- En nuestra opinión, no existen motivos para modificar el valor de caudal mínimo de 6 m³/s que se aplica actualmente en el tramo Bolarque-Aranjuez por disposición

legal. Las carencias metodológicas actuales impiden fijar objetivamente y con precisión razonable un valor concreto para el caudal ecológico mínimo, puesto que los distintos métodos producen resultados muy dispares. La cifra de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ es muy superior a los valores obtenidos con los métodos de simulación de hábitat, que son los establecidos por la Instrucción de Planificación Hidrológica para las masas de agua muy alteradas hidrológicamente. Esta cifra se encuentra también muy próxima a la horquilla inferior de los métodos hidrológicos ($7 \text{ m}^3/\text{s}$), cuyo valor está previsto que se reduzca como consecuencia del cambio climático. Esta horquilla inferior es la más razonable, ya que presenta una probabilidad teórica de incumplimiento por la serie natural del 5%, que es compatible con el carácter excepcional de esta circunstancia.

En Madrid a 27 de noviembre de 2019



Fdo Luis Garrote
Catedrático de Ingeniería Hidráulica
Universidad Politécnica de Madrid



Fdo Fernando Mariño
Director Técnico
INGENIERIA Y CIENCIA AMBIENTAL, SL