

## INDICADORES DE ALTERACIÓN HIDROLÓGICA PARA LA DESIGNACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA MUY MODIFICADAS. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO

Fernández, J.A.<sup>1</sup> y Martínez, C.

*ECOGESFOR-UPM. Grupo de investigación en ecología y gestión forestal sostenible. Universidad Politécnica de Madrid. E.U.I.T. Forestal, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid*

### RESUMEN

En los nuevos planes de cuenca es de gran trascendencia la asignación de la condición de masa de agua muy modificada, por lo que esa condición supone respecto a excepciones tanto en los objetivos –buen potencial ecológico en lugar de buen estado ecológico-, como en los plazos –puede plantearse un horizonte posterior al 2015-. Se presenta un método, P-IAHRIS, integrado en la aplicación informática IAHRIS v2.2, que ofrece criterios objetivos para la asignación provisional de la condición de masa de agua muy modificada aguas abajo de presas e infraestructuras de derivación. Considera los aspectos citados en el epígrafe 3.4.2 de la Instrucción de Planificación Hidrológica, trabajando con dos indicadores:

- ▶ Percentil 10 – 90 (indicador P10%-90%), para analizar la alteración del régimen hidrológico en el rango de variabilidad natural definido por los valores correspondientes a los percentiles 10 y 90 de las aportaciones mensuales y anuales
- ▶ Índices de alteración hidrológica para masas de agua muy modificadas (indicador IAH-MAMM), para valorar los cambios en magnitud, estacionalidad, frecuencia, variabilidad y duración.

P-IAHRIS se ha aplicado a 6 masas de agua en la Demarcación Hidrográfica del Tajo, dentro de un estudio realizado a 103 masas a nivel nacional. Los datos utilizados ha sido elaborados por las empresas consultoras que estaban desarrollando su trabajo de caracterización de las masas para una o varias Demarcaciones.

El método ha demostrado su funcionalidad y versatilidad para la catalogación de masas muy modificadas tanto del ámbito mediterráneo como atlántico.

**Palabras claves:** masas de agua muy modificadas, alteración hidrológica

### 1. INTRODUCCIÓN

La Directiva Marco del Agua (European Commission, 2000) ha supuesto cambios revolucionarios (Moss, 2001) en los criterios de gestión de los recursos hídricos: (i) supera una legislación previa, muy fragmentada, que estaba formulada en torno a los distintos sectores vinculados con el agua (Acreman & Ferguson, 2010), (ii) deja atrás criterios de gestión fundamentalmente cuantitativos, y de calidad básicamente físico-químicos (Moss, 2008), (iii) impone contemplar las masas de agua desde su condición de ecosistema, fijando como objetivo alcanzar su buen estado ecológico, (iv) asume la recuperación íntegra de costes (Arrojo & Bernal, 2001), (v) propugna una adecuada información y participación pública (Barraqué, 2003) y (vi) establece un calendario y protocolo de desarrollo e implementación tutelado y armonizado (La-Roca *et al.*, 2010).

Un aspecto de la Directiva Marco del Agua (DMA) que no ha tenido el eco de los citados anteriormente, es que incluye un tratamiento detallado de excepciones en los objetivos ambientales y los plazos para alcanzarlos. El legislador fue consciente de la realidad de muchas masas de agua sometidas a presiones muy intensas y mantenidas durante mucho tiempo, que proporcionan beneficios difícilmente reemplazables a los ciudadanos; en muchos casos no sería posible llevar esas masas de agua hasta un buen estado ecológico, ya sea por imposibilidad técnica, costes desproporcionados, efectos ambientales adversos o por la imposibilidad de ofrecer servicios imprescindibles para la sociedad por vías alternativas (Kaika & Page, 2003). La DMA estableció, para casos singulares y acreditados, un compromiso entre el espíritu conservacionista de la propia norma y la perspectiva utilitaria del recurso. Trataba así de regular aquellas situaciones singulares que requieren un escenario pragmático entre el uso y aprovechamiento del recurso y el objetivo de calidad ambiental. Son pues excepciones institucionalizadas que no implican un cambio ni en los principios ni en el modelo (Steyaert & Ollivier, 2007), promulgadas para garantizar el efecto útil de la DMA y con unos criterios de interpretación y aplicación restrictivos (La-Roca & La Calle, 2009).

<sup>1</sup> [tasio.fyuste@upm.es](mailto:tasio.fyuste@upm.es)

La DMA permite a los estados miembros identificar y designar algunas masas de agua en las que no se plantea alcanzar su buen estado ecológico. Son las denominadas masas de agua artificiales (MAA) y masas de agua muy modificada (MAMM). Las MAMM son aquellas que, como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad del hombre, han experimentado un cambio sustancial en su naturaleza<sup>2</sup>. En ese contexto se entiende por alteración física aquellos cambios en las características hidrológicas y morfológicas de la masa de agua resultado de la actividad humana, y por cambio sustancial aquel que es extenso, intenso, o muy evidente, en el sentido de mostrar una profunda desviación de las características hidromorfológicas que presentaría la masa antes de la alteración. Cambios sustanciales hidrológicos y morfológicos, ambos, son necesarios para la consideración de MAMM. Para su designación es necesario acreditar<sup>3</sup> que: (i) los cambios necesarios para alcanzar el buen estado ecológico (BEE) generan importantes repercusiones negativas ambientales, o en los usos (navegación, abastecimiento, riego, energía, protección, drenaje...) y (ii) los beneficios derivados de su condición de masa muy modificada no puedan alcanzarse, bien por limitaciones técnicas, bien por costes desproporcionados, ni por otros medios que constituyan una opción medioambiental significativamente mejor.

Para estas masas, la DMA permite sustituir el objetivo de BEE por el de buen potencial ecológico (BPE). La definición de BPE es controvertida (Ibrekk & Pedersen, 2005; Stoddard, *et al.*, 2006), y está vinculada a la de máximo potencial ecológico (MPE). En Borja & Elliott (2007) puede consultarse un completo trabajo en el que se analiza y discute el alcance de estos conceptos. Puede admitirse que una masa de agua muestra un BPE cuando presenta ligeros cambios en indicadores relevantes de su calidad biológica e hidromorfológica comparados con los valores correspondientes al MPE (Common Implementation Strategy EU, 2003). El estado de referencia para una MAMM es el MPE, que se corresponde con la mejor aproximación al ecosistema acuático natural que puede alcanzarse para unas características hidromorfológicas dadas que no pueden cambiarse sin generar efectos significativamente adversos en el uso o en el entorno (Common Implementation Strategy EU, 2003). Acreman & Ferguson (2010) ofrecen una definición con un carácter más práctico: MPE corresponde al mejor ejemplo de estado biológico en una masa de agua, con modificaciones similares, en la que se han aplicado las mejores medidas de mitigación y las mejores prácticas de gestión, sin generar efectos adversos significativos ni el uso ni en el entorno.

Es muy importante hacer notar que la posibilidad de designación de MAMM no es una vía para mantener el estado actual de una masa de agua, ni para aplazar indefinidamente su recuperación, ya que el objetivo de BPE obliga a cambios y compromete plazos para alcanzarlos.

Common Implementation Strategy EU (2003) ofrece una guía completa para la identificación y designación de MAMM y MAA. Señala que, dada la diversidad de características y condicionantes de los Estados miembros, la metodología ofrecida debe ser adaptada a las circunstancias regionales y nacionales. Este trabajo de adaptación se ha desarrollado plenamente en el Reino Unido (WFD UK TAG, 2008a), donde también se ofrece un guía para la clasificación de las MAMM, guía que permite identificar las medidas de mitigación necesarias para mejorar el estado ambiental de la MAMM, y determinar aquellas que es posible aplicar según las distintas tipologías de la alteración (WFD UK TAG, 2008b). La aplicación de estas guías en España es limitada, porque la metodología allí recogida no contempla un uso muy intenso en nuestro país y anecdótico en el Reino Unido: la regulación para regadío.

En los ríos de clima mediterráneo el régimen hidrológico natural está caracterizado por (i) una marcada variabilidad interanual, con grandes diferencias entre años húmedos y secos, (ii) una gran diferencia estacional, con períodos secos prolongados e intensos y (iii) frecuentes avenidas extremas que provocan importantes inundaciones. Con estas características, el régimen hidrológico controla de manera muy intensa la composición, estructura y dinámica del ecosistema fluvial. Cambios notables y permanentes en el régimen hidrológico se traducen en alteraciones morfológicas significativas (Magdaleno & Fernández, *in press*), ya que cambian la dinámica sedimentaria y la composición, disposición y sucesión de la vegetación de ribera que, como es bien sabido, tiene un papel destacado en la dinámica de las formas en planta y sección de los ríos (Hupp & Osterkamp 1996; Gran & Paola, 2001). Los ríos de España, con más de 1200 grandes presas y un 75% del volumen regulado utilizado para regadío (Instituto Nacional de Estadística, 2008), soportan alteraciones del régimen hidrológico muy intensas. Esas alteraciones, que no son ni ocasionales ni temporales, se traducen en (i) una reducción drástica de los caudales circulantes aguas abajo de la presa, cuando se producen derivaciones desde el embalse, o (ii) una alteración intensa del régimen estacional, cuando el propio río es utilizado como canal para suministrar agua para el riego en el período estival.

La Instrucción de Planificación Hidrológica –IPH– (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008) expone una serie de criterios para la designación y delimitación provisional de MAMM. Al considerar el efecto aguas abajo de los embalses (apartado 2.2.2.1.1.1.2), señala que se identificarán provisionalmente como MAMM, entre otros, "... aquellos tramos de río o agua de transición alterados como consecuencia de la regulación anual o interanual de los caudales: para determinar la longitud de río o masa de agua de transición alterada por la regulación anual o interanual de los caudales aguas abajo de un embalse para abastecimiento, riego o uso industrial se emplearán los índices de alteración hidrológica referidos en el apartado 3.4.2". En dicho apartado se señala: "En los ríos y estuarios identificados como masas de agua se analizará su grado de alteración hidrológica mediante el cálculo de índices de alteración hidrológica... Con estos índices se compararán las condiciones del régimen natural de referencia con las condiciones actuales, utilizando para ello un conjunto de parámetros que caracterizan estadísticamente la variación hidrológica inter e intraanual. Los parámetros utilizados deben basarse en las características

<sup>2</sup> Art.2 ap.9 DMA

<sup>3</sup> Art.4 ap.3 DMA

*fundamentales de los regímenes hidrológicos, como magnitud, duración, frecuencia, estacionalidad y tasa de cambio. Se entenderá que una masa de agua está muy alterada hidrológicamente cuando presenta una desviación significativa en la magnitud de los parámetros que caracterizan las condiciones mensuales y anuales del régimen hidrológico, repercutiendo de manera importante sobre la disponibilidad de hábitat tanto para los organismos acuáticos como para los organismos terrestres asociados. Se considerará que la desviación es significativa cuando la magnitud del parámetro anual o mensual se desvía significativamente de los valores del percentil del 10% al 90% de la serie en régimen natural."*

En España se han desarrollado muy pocos trabajos que aborden globalmente la designación de MAMM. Merece citarse "*Documento guía para la designación de masas de aguas muy modificadas*", preparado por la oficina de planificación hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, pero que no ha sido publicado. No se cuenta con ningún trabajo que trate de manera específica la sistematización de los criterios para la asignación provisional de MAMM aguas abajo de presas, a pesar de que esta circunstancia es, con diferencia, la más habitual en nuestro país. Con este trabajo se pretende paliar ese déficit, y se plantea con los siguientes objetivos:

- (i) Seleccionar índices de alteración hidrológica que permitan valorar, aguas abajo de presas o infraestructuras de derivación, el grado de alteración de los aspectos ambientalmente más relevantes del régimen de caudales.
- (ii) Generar un protocolo que, considerando la información hidrológica habitualmente disponible, permita obtener de manera rápida y simple un criterio para valorar el grado de la alteración y establecer unos umbrales objetivos y generalizados para la inclusión de la masa de agua en la condición provisional de MAMM.
- (iii) Proporcionar apoyo conceptual que facilite la interpretación de los criterios y resultados a gestores, políticos y ciudadanos, así como un soporte informático que permita su uso generalizado.
- (iv) Presentar los resultados de su aplicación a 6 masas de agua de la demarcación hidrográfica del Tajo.

## 2. MÉTODO

A continuación se describe el procedimiento seguido para (i)seleccionar los índices<sup>4</sup>, (ii)definir indicadores<sup>5</sup> que aglutinen los valores de los índices seleccionados, y (iii)establecer un umbral para esos indicadores, de manera que si una masa queda por debajo del umbral le sea asignada provisionalmente la condición de MAMM.

Para evaluar la alteración que el régimen natural de caudales sufre como consecuencia de la acción del hombre sobre los recursos hídricos, es necesario disponer de datos tanto en régimen natural –para utilizarlos como condición de referencia- como en régimen alterado. En algunos casos se puede contar con esos datos a escala diaria, pero no siempre es así, y no es infrecuente encontrar registros válidos sólo a escala mensual.

El método para la asignación de la condición de MAMM resulta de la conjunción de dos indicadores:

- ▶ El primero de ellos, denominado IAH-MAMM, utiliza los resultados de los Índices de Alteración Hidrológica (IAH) facilitados por la aplicación informática IAHRIS (Martínez Santa-María & Fernández Yuste, 2010a). Para los índices considerados, el criterio fija unos umbrales a partir de los cuales la masa se considera MAMM.
- ▶ El segundo, denominado P10%-90%, trabaja exclusivamente con aportaciones mensuales, estableciendo, a partir de los valores en régimen natural, el rango normal de variación de las aportaciones mensuales y anuales. Sobre ese rango, este método establece unos porcentajes a cumplir por el régimen alterado, fuera de los cuales la masa se cataloga como MAMM.

### 2.1. Indicador IAH-MAMM

#### 2.1.1. Selección de índices

Se ha partido de los IAH que ofrece el software IAHRIS. El número y la tipología de los índices ofrecidos varían según la naturaleza de los datos facilitados por el usuario, distinguiendo cuatro situaciones posibles según esos datos sean diarios o mensuales, y los registros en régimen natural y alterado sean coetáneos o no. En cualquiera de estos casos se requiere un mínimo de 15 años de registros.

IAHRIS ofrece todos los IAH acotados entre 0 (máxima alteración) y 1 (ausencia de alteración). El complemento a uno de este valor puede interpretarse como la variación –en tanto por uno- experimentada por el aspecto evaluado respecto a su estado de referencia –régimen natural-. Puede consultarse una descripción detallada de los fundamentos conceptuales y la metodología de cálculo de estos índices en el *Manual de Referencia Metodológica* de IAHRIS (Martínez Santa-María & Fernández Yuste, 2010b).

<sup>4</sup> Un índice expresa la relación entre el valor de un parámetro del régimen en el estado actual y el que le corresponde en régimen natural.

<sup>5</sup> Un indicador es una combinación de índices que permite reflejar en un solo número una información relevante respecto al aspecto que se trata de analizar; en este caso el grado de alteración del régimen hidrológico de la masa de agua para su inclusión provisional en la categoría de MAMM.

Para el caso de disponer de datos diarios y coetáneos, el grado de alteración hidrológica se caracteriza con IAHRIS mediante 21 índices que analizan aspectos ambientalmente significativos del régimen, tanto a escala mensual como diaria, y también para avenidas y sequías. Formular un indicador a partir de los resultados obtenidos con todo ese conjunto de índices resultaría excesivamente complejo y poco operativo. Por ello la primera fase debe ser la selección, dentro de este conjunto, de un subconjunto de índices que cumplan las siguientes características:

- ▶ Ambientalmente relevantes: deben evaluar aspectos hidrológicos de marcada significación ambiental.
- ▶ Eficaces y eficientes: fáciles de medir, que no sean susceptibles de interpretaciones dudosas o ambiguas, no redundantes y que permitan reflejar adecuadamente las alteraciones más habituales aguas abajo de una presa.
- ▶ Contemplados en la legislación: que cubran todo el abanico posible de aspectos, periodicidad, escalas y representatividad de la variabilidad natural que la legislación requiere.

La aplicación de estos criterios ha permitido seleccionar 12 índices (*tabla nº1*) que cubren el espectro completo en lo referente a escala hidrológica (valores habituales, avenidas y sequías), aspecto (magnitud, duración, variabilidad, estacionalidad) y periodicidad (anual y mensual) que se citan en la IPH.

Código IAHRIS	Índice	Escala			Componente				Periodicidad	
		H	A	S	M	E	D	V	A	M
IAH1	Magnitud de las aportaciones anuales									
IAH2	Magnitud de las ap. mensuales									
IAH3	Variabilidad habitual									
IAH5	Estacionalidad de máximos									
IAH6	Estacionalidad de mínimos									
IAH8	Magnitud Q bankfull									
IAH10	Magnitud avenidas habituales									
IAH13	Duración de avenidas									
IAH14	Estacionalidad de avenidas									
IAH16	Magnitud sequías habituales									
IAH19	Duración de sequías									
IAH21	Estacionalidad de sequías									

**Tabla 1.** Características de los índices de alteración hidrológica de IAHRIS seleccionados para el indicador IAH-MAMM. H=Valores habituales; A=Avenidas; S=Sequías; M=Magnitud; E=Estacionalidad; D=Duración; V=Variabilidad; A=Anual; M=Mensual.

En Martínez Santa-María & Fernández Yuste, (2010c) pueden consultarse con más detalle los criterios de selección utilizados, así como los índices para el caso de disponer únicamente de registros de aportaciones mensuales.

### 2.1.2. Indicador

Los IAH evalúan el grado de alteración que, como promedio, se produce en el período de años estudiado. IAHRIS no suministra información para poder trabajar con valores acotados entre percentiles. Sin embargo, con los 12 índices seleccionados y el grado de alteración promediado del que informan, se pueden caracterizar adecuadamente categorías y componentes del régimen de caudales relevantes para la integridad del ecosistema fluvial. Se puede así abordar con garantía la tarea de formalizar un criterio para establecer cuándo una masa de agua presenta un cambio sustancial en su naturaleza. Para generar un indicador a partir de estos IAH no se han considerado medias entre los doce valores, porque en las pruebas realizadas se puso de manifiesto que era frecuente que se produjeran efectos de compensación entre índices; tampoco dio buenos resultados considerar ponderaciones, porque eso requería establecer unos criterios de peso entre los distintos IAH que habría que reconsiderar según la tipología de la masa de agua y la de la alteración soportada, introduciendo así una complejidad y subjetividad que no era deseable. Se optó por mantener la consideración individual de los doce IAH.

Aceptando que alteraciones significativas están vinculadas con valores de los índices que indican cambios respecto al régimen natural superiores al 50% -valor del IAH<sup>0,5</sup>-, y que el indicador debe tener en cuenta con el mismo peso y de manera individualizada cada uno de los índices, se considera el indicador IAH-MAMM:

### 2.1.3. Umbral

Una masa de agua se puede catalogar provisionalmente como MAMM cuando IAH-MAMM  $\geq 7$ , esto es, cuando más del 50% de los IAH (al menos 7 sobre los 12 seleccionados) presentan una alteración mayor o igual al 50% (valor del índice  $\geq 0,5$ ; recuérdese que IAH=0 refleja má-

xima alteración e IAH=1 ausencia de alteración). El software IAHRIS, en sus informes nº 8a-8d, ofrece los resultados correspondientes a la aplicación de este indicador para toda la casuística de datos posible.

## 2.2. Indicador P10%-90%

### 2.2.1. Selección de índices

Como datos de partida se utiliza la serie de aportaciones mensuales en régimen natural correspondiente a un período suficientemente amplio ( $\geq 15$  años) y se calcula, tanto a nivel mensual como anual, los percentiles correspondientes al 10% y 90%. El rango definido por los valores correspondientes a esos percentiles -P10%-P90%- se considera el rango habitual de variabilidad de las aportaciones naturales. Con los datos del régimen alterado se contabiliza, para cada mes, el número de registros que quedaban dentro del rango P10%-P90%, y lo mismo se hace con las aportaciones anuales. Se obtienen así trece índices: uno para cada mes, más otro anual. Cada índice expresa el % de veces que los valores del régimen alterado, anual o mensual, queda dentro del rango P10%-P90% natural.

El índice anual permite valorar el grado de afectación cuando se produce una detención significativa de caudales aguas arriba de la masa. Sin embargo no es capaz de detectar el caso de una intensa regulación en un embalse que no deriva agua, y que la entrega al cauce modificando la estacionalidad de los flujos; sería el caso de un embalse para regadío que utiliza el río para hacer llegar el agua a los campos de cultivo en la época de desarrollo vegetativo. Los índices mensuales sí permiten identificar esta alteración. Estos índices –anual y mensuales- los ha utilizado la Demarcación Hidrográfica del Júcar para la asignación provisional de la condición de MAMM.

### 2.2.2. Indicador

A la hora de conformar un indicador a partir de los trece índices se consideró, en primer lugar, la necesidad de separar el correspondiente a las aportaciones anuales de los que se ocupaban de las mensuales. Esa segregación era necesaria porque los índices eran sensibles a alteraciones distintas. Por esa razón se consideraron dos indicadores, uno a escala anual y otro para valorar las alteraciones a escala mensual.

Para el indicador a escala anual (I\_P10-90\_AN) se considera el valor del índice anual:

$I\_P10-90\_AN = \%$  de aportaciones anuales del régimen alterado que entran en el rango P10%-P90% natural.

Para el indicador a escala mensual se contempló inicialmente uno que considerase los meses del año en los que el índice mensual tomaba valores bajos. Se desestimó cuando se analizó su respuesta al frecuente caso de una modificación estacional muy fuerte pero muy concentrada en unos pocos meses –pocos índices mensuales con valores próximos a cero-. En esa situación el indicador requería que el número de meses a considerar como umbral para dar cuenta de la alteración fuese muy bajo; detectaba así ese tipo de alteración significativa, pero también señalaba como tal otras que no lo eran –pocos índices mensuales con valores menores del 50% pero sensiblemente distintos de cero-. Finalmente se consideró como indicador (I\_P10-90\_MEN) el % del total de las aportaciones mensuales del régimen alterado que entran en el rango P10%-P90% mensual natural; esto es:

$$I\_P10\_90MEN = \frac{\sum_{i=1}^{12} X_{mes i}}{\text{Número total de meses}}$$
, siendo X, para cada mes, el número de veces que la aportación mensual del régimen alterado entra en el rango P10-90 natural de ese mes.

### 2.2.3. Umbral

Una masa de agua se puede catalogar provisionalmente como MAMM, cuando  $I\_P10-90\_AN \geq 50\%$  ó  $I\_P10-90\_MEN \geq 50\%$ . El software IAHRIS, en su informe nº8, ofrece los resultados correspondientes a la aplicación de este indicador para toda la casuística de datos posible.

## 2.3. Designación de MAMM: criterio P-IAHRIS

El uso conjunto de los indicadores conforma una nueva herramienta de decisión que en adelante denominaremos criterio P-IAHRIS. A continuación se presenta el árbol de toma de decisiones:

- (A) No hay discrepancia entre los métodos IAH-MAMM y P10%-90%: la masa de agua se designa con el resultado común obtenido.
- (B) Hay discrepancia entre los dos métodos IAH-MAMM y P10%-90%: se pueden presentar dos situaciones que el criterio P-IAHRIS resuelve del modo siguiente.
  - (B1) Uno de los indicadores presenta resultados en el entorno del valor umbral: se designa la masa de agua con el resultado correspondiente al indicador que no está en el entorno del umbral de decisión.
  - (B2) Ningún indicador presenta resultados en el entorno de su valor umbral. La explicación a esta situación suele hallarse en la singularidad hidrológica de la masa, que propicia que uno de los dos indicadores no sea sensible (o lo sea en exceso) a la alteración existente. De modo muy sintético, las situaciones que pueden presentarse son las siguientes:

- (B2a) El indicador P10%-90% cataloga a la masa como "no muy modificada" e IAH-MAMM como "muy modificada". Se acepta el resultado de IAH-MAMM. Esta situación se produce en masas donde el régimen natural presenta valores de las aportaciones correspondientes al P90% muy bajos o cero. En esos casos el indicador P10%-90% no tiene sensibilidad para detectar las alteraciones que impliquen reducciones generalizadas de los caudales circulantes: para esas circunstancias es fácil que las aportaciones del régimen alterado queden por encima del P90% natural y, en consecuencia, P10%-90% asigne la condición de no muy modificada.
- (B2b) El método P10%-90% cataloga a la masa como "muy modificada", mientras que el método IAH-MAMM lo hace como "no muy modificada". Se acepta el resultado de masa muy modificada de P10%-90%. Esta situación se ha observado en masas en las cuales el régimen alterado (i)no trastoca sensiblemente las avenidas, (ii)la regulación es anual, (iii)sin derivación, y sólo se manifiesta con una (iv)intensa alteración de la estacionalidad. En estos casos, IAH-MAMM sólo detecta la alteración de la estacionalidad y como el resto de indicadores no cambia sensiblemente, asigna la condición de no muy modificada; sin embargo, esa condición no parece adecuada para la intensa alteración estacional que sufre el tramo.

### 3. DATOS

Se ha estudiado 16 masas de la Demarcación Hidrográfica del Tajo<sup>6</sup>. Toda la información utilizada ha sido suministrada por Infraeco, empresa consultora que estaban desarrollando el trabajo de caracterización de las masas para esta Demarcación. Se facilitaron al menos 15 años completos con registros diarios de caudal tanto en régimen natural como alterado, con la única excepción de "Río Tajo aguas abajo del embalse de Cazalegas", para la que sólo se contó con datos de aportaciones mensuales. Los datos del régimen natural se obtuvieron a partir de los resultados de las simulaciones con SIMPA y SIMPAII.

Antes de aplicar P-IAHRIS se analizaron los datos y la información que les acompañaba. Como resultado de este análisis se descartaron 10 masas (tabla n°2).

MASA	Datos válidos para aplicar P-IAHRIS
Aceña. Aguas abajo del embalse de la Aceña	Si
Alagón. Aguas abajo del embalse de Valdeobispo	Si
Tajo. Aguas abajo del embalse de Estremera	Si
Tajo. Aguas abajo del embalse de Cazalegas	Si
Tajo en Toledo	Si
Tietar. Aguas abajo del embalse de Rosarito	Si
Arroyo Martín Román	No:NA.0
Guadiela. Aguas abajo del embalse de la Tosca.	No:NA.1 y NA.2
Gata. Aguas abajo del embalse de ribera de Gata	No:NA.4
Cañamares. Aguas abajo del embalse de Palmaces	No:NA.4
Bornova. Aguas abajo del embalse de Alcorlo	No:NA.4
Manzanares. Aguas abajo del embalse de Santillana	No:NA.4
Lozoya. Aguas abajo del embalse de Atazar	No:NA.4
Guayebbras. Aguas abajo del embalse de Navalcan	No:NA.4
Guadiloba. Aguas abajo del embalse de Guadiloba	No:NA.4
Alberche. Aguas arriba del embalse de Burguillo	No:NA.2

NA: Datos no aceptables. NA.0: Datos con errores importantes. NA.1: La estación de aforo utilizada para caracterizar el régimen alterado no recoge todas las afecciones importantes que soporta el tramo, y/o el régimen natural aportado no puede considerarse representativo del tramo. NA.2: Las curvas de caudales clasificados reflejan una alteración que no se corresponde con los aprovechamientos descritos en el tramo. NA.4: En la descripción de la alteración se hace constar que el régimen alterado se obtiene como suma de todas las salidas del embalse, sean o no vertidas al cauce: no se acredita pues que los datos recogidos en el régimen alterado se corresponden con los realmente circulantes por el cauce.

Tabla 2. Validez de los datos facilitados para el estudio de la condición de masa de agua muy modificada en la DH Tajo.

### 4. RESULTADOS

En la tabla n°3 se recogen los resultados de aplicar los indicadores P10%-90% e IAH-MAMM y el criterio P-IAHRIS. En cuatro casos los resultados de los dos indicadores son coincidentes y se propone la condición de masa muy modificada.

<sup>6</sup> Se trata de masas de agua en las que la DH del Tajo tenían dudas respecto a la asignación de la condición de MAMM.

En el caso de río Aceña la condición de no muy modificada que asigna el indicador P10%-90% se alcanza para un valor muy próximo al umbral, por lo que se considera el resultado del indicador que no está en el entorno del umbral de decisión: se propone la condición de masa muy modificada.

En el río Alagón también se produce discrepancia entre los dos indicadores, aunque en este caso ambos presentan valores sensiblemente alejados de los respectivos umbrales. El análisis más detallado de los datos del régimen natural ha permitido apreciar que el régimen natural presenta valores de las aportaciones correspondientes al P90% muy bajos. Es un caso en el que el indicador P10%-90% no tiene sensibilidad para detectar las alteraciones que impliquen reducciones generalizadas de los caudales circulantes: para esas circunstancias es fácil que las aportaciones del régimen alterado, aunque con modificaciones muy intensas, queden por encima del P90% natural y, en consecuencia, P10%-90% asigne la condición de no muy alterada. Por tanto, se propone la condición de masa muy modificada que resulta del indicador IAH-MMA.

MASA	INDICADOR		P-IAHRIS
	P10%-90%	IAH-MAMM	
Aceña. Aguas abajo embalse de la Aceña	NO MAMM	MAMM	(B1):MAMM
Alagón. Aguas abajo embalse Valdeobispo	NO MAMM	MAMM	(B2a):MAMM
Tajo. Aguas abajo embalse de Estremera	MAMM	MAMM	(A):MAMM
Tajo. Aguas abajo embalse de Cazalegas	MAMM	MAMM	(A):MAMM
Tajo en Toledo	MAMM	MAMM	(A):MAMM
Tietar. Aguas abajo embalse de Rosarito	MAMM	MAMM	(A):MAMM

**Tabla 3.** Resultados de los indicadores y del criterio P-IAHRIS en las masas analizadas de la DH Tajo. (El código que aparece en la columna de P-IAHRIS se corresponde con lo descrito en el epígrafe 2.3).

## 5. CONCLUSIONES

- Se han desarrollado criterios para la asignación de la condición de masas de agua muy modificadas considerando los aspectos citados en la IPH.
- La propuesta P-IAHRIS de asignación de condición de masa muy alterada trabaja con dos indicadores: Percentil 10 – 90 (P10%-90%), para analizar la alteración en el rango de variabilidad natural definido por los valores correspondientes a los percentiles 10 y 90 de las aportaciones mensuales y anuales  
Índices de alteración hidrológica para masas de agua muy modificadas (IAH-MAMM), para valorar los cambios en magnitud, estacionalidad, frecuencia, variabilidad y duración.
- Permite trabajar con datos de caudales diarios o aportaciones mensuales, y requiere un mínimo de 15 años completos para ofrecer resultados. P-IAHRIS no tiene capacidad para reflejar alteraciones del régimen que se producen en intervalos temporales inferior al diario.
- Su aplicación ha permitido estudiar con criterios objetivos y homogéneos 6 masas de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, dentro de un estudio más amplio desarrollado sobre 103 masas de agua de todas las cuencas intercomunitarias españolas (Fernández Yuste & Martínez Santa-María, 2010).
- Los resultados que se obtengan con P-IAHRIS están condicionados a validez de los datos utilizados. Es pues imprescindible acreditar que los datos empleados con P-IAHRIS: (i) se corresponden con los regímenes natural y alterado de la masa de agua, (ii) representan las alteraciones del tramo analizado, y (iii) cubren un intervalo de tiempo suficiente, en el que la masa ha estado sometida a las alteraciones que se tratan de valorar. Si los datos no cumplen estos tres requisitos, no debe aplicarse el método.

## 6. BILIOGRAFÍA

- Acreman, M., & Ferguson, A. (2010). Environmental flows and the european water framework directive. *Freshwater Biology*, 55(1), 32-48.
- Arrojo Agudo, P., & Bernal Cuenca, E. (2001). *La racionalidad económica en la nueva cultura del agua*. Universidad de Zaragoza.
- Barraqué, B. (2003). Las políticas del agua en Europa a partir de la directiva marco del agua. *Ingeniería del Agua*, 2003, Vol. 10, Núm. 3,
- Borja, A., & Elliott, M. (2007). What does "good ecological potential" mean, within the european water framework directive? *Marine Pollution Bulletin*, 54(10), 1559-1564.
- Common Implementation Strategy EU. (2003). Guidance document n°4. Identification and designation of heavily modified and artificial water bodies. *Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg*,
- European Commission (2000). *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy*. Official Journal 22 December 2000 L 327/1. European Commission, Brussels.
- Gran, K. & Paola, C. 2001, Riparian vegetation controls on braided stream dynamics, *Water resources Research*, vol. 37, no. 12, pp. 3275-3283.

- Hupp, C.R. & Osterkamp, W.R. 1996, Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes, *Geomorphology*, vol. 14, no. 4, pp. 277-295.
- Ibrekk, A. S., & Pedersen, T. S. (2005). Characterisation methodology and future challenges of heavily modified water bodies in Norway: Case study of the Suldal pilot river basin. *Environmental Science & Policy*, 8(3), 227-231.
- Fernández Yuste, J.A. & Martínez Santa-María, C., (2010). Obtención de indicadores de masa de agua muy alteradas mediante IAHRIS v2.2 (Índices de Alteración Hidrológica en Ríos). *Proceedings of CONAMA 2010*. <http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/40853.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística. (2008). Estadísticas e indicadores del agua. *Boletín Informativo del INE*, 1-2008, 1-13. <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t26/p067/p02&file=inebase&L=>
- Kaika, M., & Page, B. (2003). The EU water framework directive: Part 1. European policy making and the changing topography of lobbying. *European Environment*, 13(6), 314-327.
- La-Roca, F., Ferrer, G., Hernández-Mora, N., La Calle, A., Moral, L., & Prat, N. (2010). Directiva marco de aguas. Preparando la evaluación de la década. <http://www.unizar.es/fnca/index3.php?id=1&pag=18>
- La-Roca, F., & La Calle, A. (2009). Excepciones en los objetivos ambientales: Los costes desproporcionados. [www.fnca.eu/fnca/vari091002madrid/0208.pdf](http://www.fnca.eu/fnca/vari091002madrid/0208.pdf)
- Magdaleno, F., & Fernández, J. A. *In Press*. Hydromorphological alteration of a large mediterranean river: Relative role of high and low flows on the evolution of riparian forests and channel morphology. *River Research and Application*.
- Martínez Santa-María, C., & Fernández Yuste, J.A. (2010a). *IAHRIS 2.2 Índices de alteración hidrológica en ríos: Software de libre difusión*. [http://www.ecogesfor.org/IAHRIS\\_es.html](http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.html)
- Martínez Santa-María, C., & Fernández Yuste, J.A. (2010b). *IAHRIS 2.2 Índices de alteración hidrológica en ríos: Manual de referencia metodológica*. [http://www.ecogesfor.org/IAHRIS\\_es.html](http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.html)
- Martínez Santa-María, C., & Fernández Yuste, J.A. (2010c). *IAHRIS 2.2 Indicador de masas de agua muy alteradas: Manual de referencia metodológica*. [http://www.ecogesfor.org/IAHRIS\\_es.html](http://www.ecogesfor.org/IAHRIS_es.html)
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008). Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. ,38472-38582.
- Moss B. (2001). Words and water. *Br Ecol Soc Bull*, March, 8-11.
- Moss, B. (2008). The water framework directive: Total environment or political compromise? *Science of the Total Environment*, 400(1-3), 32-41.
- Steyaert, P., & Ollivier, G. (2007). The European water framework directive: How ecological assumptions frame technical and social change. *Ecology and Society*, 12(1), 25.
- Stoddard, J. L., Larsen, D. P., Hawkins, C. P., Johnson, R. K., & Norris, R. H. (2006). Setting expectations for the ecological condition of streams: The concept of reference condition. *Ecological Applications*, 16(4), 1267-1276.
- WFD UK TAG. (2008a). Criteria and guidance principles for the designation of heavily modified water bodies. [http://www.wfduk.org/tag\\_guidance/article\\_4/heavily\\_modified\\_wb/view](http://www.wfduk.org/tag_guidance/article_4/heavily_modified_wb/view)
- WFD UK TAG. (2008b). Guidance on the classification of ecological potential for heavily modified water bodies and artificial water bodies. [http://www.wfduk.org/tag\\_guidance/Article%20\\_11/POMEnvStds/gep\\_guidance\\_final/view](http://www.wfduk.org/tag_guidance/Article%20_11/POMEnvStds/gep_guidance_final/view)