

# ¿Qué caudales ambientales mejoran el funcionamiento de un río?

Fernando Magdaleno Mas

*CEDEX (Ministerio de Fomento – Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)*

## **1 Introducción**

### **1.1 Antecedentes**

Los ríos son sistemas naturales caracterizados por un elevado dinamismo y una alta complejidad física y ambiental, cuyo funcionamiento viene siendo objeto de estudio, a nivel internacional, desde hace décadas. En primer lugar, desde una perspectiva fundamentalmente hidráulica y morfológica, asociada al interés humano por el aprovechamiento de sus caudales y cauces, que en las últimas décadas se ha completado con un enfoque ecohidrológico y biomorfológico, que refuerza la necesidad de una adecuada gestión de estos sistemas. Especialmente a raíz de la publicación de un nuevo contexto normativo europeo y español, y de la mejora en el conocimiento técnico y científico sobre su estructura y funcionamiento. Ambas cuestiones han favorecido la comprensión sobre la trascendencia de una gestión integral de los ríos, que asegure el mantenimiento de los procesos productivos asociados a ellos y la conservación de los ecosistemas que albergan.

### **1.2 Variabilidad hidrológica y gestión adaptativa**

La importancia de la variabilidad hidrológica para el mantenimiento de los ecosistemas naturales es hoy un paradigma aceptado en el ámbito internacional (Bunn & Arthington, 2002; Lytle & Poff, 2004; Poff *et al.*, 2006), dado que el régimen de caudales controla la mayor parte de los procesos físicos y ecológicos que se desarrollan en los ríos y condiciona su integridad ecológica. Con objeto de integrar este paradigma en la gestión de los ríos o de las unidades de gestión en los que se descomponen (masas de agua, en términos de la Directiva Marco del Agua, 2000/60/CE), se han desarrollado en los últimos años un amplio número de mecanismos e indicadores que facilitan la evaluación de su estado hidrológico, y el reconocimiento de los componentes y valores que deben ser protegidos o incorporados al régimen de

caudales, para asegurar la consecución de los objetivos socio-ambientales de los diferentes tramos fluviales.

Este planteamiento basado en el reconocimiento de la variabilidad propia del río (asociada a las características concretas de cada territorio, de cada tipo de año hidrológico y del escenario de demandas y reservas impuesto por gestores y usuarios en las diversas cuencas hidrográficas) conduce a la selección de un modelo de gestión adaptativo. Este modelo favorecería la acción de los gestores del agua, que a menudo tienen que adoptar criterios y decisiones en lugares donde se carece de información hidrológica y ambiental de suficiente amplitud o detalle. Por otra parte, el manejo de las masas suele realizarse a escala nacional o regional, incorporando una amplia diversidad de territorios, y notables variaciones climáticas y fisiográficas. Por ello, una gestión adaptativa de los regímenes fluviales, basada en la clasificación, comparación y análisis de los caudales puede asegurar la consecución de los objetivos planteados en el manejo cotidiano de las masas de agua.

## **2 Mecanismos para la gestión ecohidrológica**

Entre los mecanismos desarrollados para hacer posible la implementación de estos nuevos enfoques técnicos destacan los relacionados con el análisis de la alteración hidrológica, y con la determinación de caudales ambientales. Una amplia revisión de estos mecanismos puede encontrarse en Olden & Poff (2003), Tharme (2003), Acreman & Dunbar (2004) y Magdaleno (2005, 2009).

Por lo que respecta al análisis de la alteración hidrológica, estas metodologías tienen como meta fundamental la evaluación, de manera objetiva y eficiente, de los cambios que sobre los elementos del régimen de caudales con mayor trascendencia ambiental, inducen los aprovechamientos de los recursos hídricos. Al tiempo, permiten valorar la alteración que sobre este régimen producirían distintos escenarios de uso y gestión de los recursos hídricos, interpretar las consecuencias ambientales de la alteración del régimen de caudales en la integridad ecológica del río, identificar los aspectos del régimen de caudales que en mayor medida condicionan la rehabilitación o recuperación de un tramo regulado, y fijar criterios objetivos a la hora de establecer

prioridades en la restauración de ecosistemas fluviales degradados (Martínez Santa-María & Fernández Yuste, 2008).

El proceso de evaluación comprende, habitualmente, las siguientes etapas (Figura 1):

- i. Selección de los aspectos del régimen de caudales con mayor significación ambiental.
- ii. Selección de los parámetros y variables que permitan caracterizar estos aspectos.
- iii. Definición de un conjunto de índices que comparen los valores de los parámetros entre las distintas situaciones: régimen natural versus régimen alterado, y régimen natural versus los regímenes correspondientes a los distintos escenarios que sirvan para llegar a definir el régimen ambiental propuesto.
- iv. Deducción de las implicaciones ambientales de las alteraciones evaluadas.

Entre las metodologías de análisis cuantitativo y cualitativo de la alteración hidrológica destacan las desarrolladas por Richter *et al.* (IHA, 1996), Arthington *et al.* (2006), Poff *et al.* (ELOHA, 2010). En el caso de España, Martínez Santa-María & Fernández Yuste (2006) y Fernández Yuste *et al.* (2012) han desarrollado el método IAHRIS (Índices de Alteración Hidrológica en Ríos), que incluye un amplio número de indicadores relacionados con los eventos extremos (avenidas y sequías), típicamente mediterráneos, y que tanta influencia tienen sobre el funcionamiento de los ríos españoles.



Figura 1. Proceso de evaluación de la alteración hidrológica de un río (Martínez Santa-María & Fernández Yuste, 2008).

Por lo que respecta a los caudales ambientales, la Instrucción de Planificación Hidrológica - IPH (ARM/2656/2008), define los regímenes ambientales como aquellos que, teniendo en cuenta los usos y demandas humanas, permitan mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición. Para ello, y en la línea de los requerimientos establecidos por la Directiva Marco del Agua y por otros textos legales en materia de agua, la IPH establece que “el régimen de caudales ecológicos deberá (i) Proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos; (ii) Ofrecer un patrón temporal de los caudales, incluida su variabilidad, que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitat asociados, teniendo en cuenta tanto los macrófitos, como los organismos bentónicos y los peces, en los taxones de invertebrados bentónicos sensibles a las perturbaciones, en las estructuras de edades, densidad y biomasa de las especies integrantes de las comunidades de peces y de flora, en la frecuencia e intensidad de las floraciones algales, y que evite la proliferación acelerada de macroalgas o la acumulación de organismos fitobentónicos que produzcan efectos indeseables sobre organismos presentes en la masa de agua”.

Las metodologías de cálculo de caudales ambientales suelen agruparse, tradicionalmente, en los siguientes cuatro tipos: (a). métodos hidrológicos; (b). métodos hidráulicos; (c). métodos de simulación de hábitat; (d). métodos holísticos. La discusión sobre la conveniencia y resultado de los diferentes métodos ha continuado desde su inicial desarrollo (hace ya varias décadas), pero no se ha llegado aún a ninguna conclusión clara y de aplicación general, ya que dependen de las condiciones concretas de cada tramo, y además resulta esencial comprender las implicaciones morfológicas y las hipótesis ecológicas que subyacen en el método, y su efecto sobre la determinación del régimen ambiental (Jowett, 1997).

### **3. Cómo definir un régimen ambiental que mejore el funcionamiento del río**

#### **3.1 Enfoques actuales**

Como se mencionó en el apartado anterior, hoy en día la comunidad científica internacional reconoce que un régimen ambiental de caudales debe mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados. Por ello, y sobre la base de la variabilidad hidrológica natural de los ríos, se asume la inutilidad de criterios como el uso de caudales mínimos fijos, establecidos de manera arbitraria a partir de estadísticos, o la extrapolación de valores procedentes de estudios realizados en regiones con características ecohidrológicas notablemente diferentes.

Por el contrario, se entiende que la única manera de permitir el aprovechamiento continuado de los ríos y de asegurar al tiempo la conservación de sus valores ambientales es replicando determinados patrones (no necesariamente valores) del régimen natural (magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa de cambio de determinados eventos hidrológicos), que guardan relación directa con el desarrollo de procesos ecomorfológicos vitales para el buen estado del ecosistema fluvial. Este paradigma del régimen natural de caudales ha sido aceptado, internacionalmente, con relativa facilidad, dado que se sustenta en claras evidencias empíricas. No obstante, la transición desde la aceptación del concepto teórico hasta la determinación de regímenes ambientales que permitan la consecución de ese doble objetivo aprovechamiento-conservación no es siempre sencilla. La traducción de los principios generales a la gestión local puede necesitar un largo proceso de análisis y de seguimiento adaptativo, que permita optimizar la funcionalidad del régimen ambiental finalmente establecido. Existen aún numerosas incertidumbres sobre la mejor aplicación de diversos aspectos de las metodologías de cálculo, que sugieren a corto plazo la utilización de principios de prevención y cautela, y el seguimiento continuado de los efectos que la gestión de los regímenes fluviales tiene sobre los ecosistemas ligados al río.

La inmediatez de las decisiones a las que obligan los ciclos de planificación y los problemas que aún existen para una correcta definición de los caudales ambientales

ha conducido, en numerosas ocasiones, a diversos conflictos entre agentes sociales relacionados con el agua, a la indecisión de los gestores ante el mejor modelo de regulación, a la utilización de criterios inadecuados, y a problemas de degradación ambiental de los ríos. En el caso español, la reciente determinación de nuevos regímenes ambientales en la red hídrica inter- e intra-comunitaria no ha sido ajena a todos esos problemas. En previsión de la controversia que pudiera generarse a partir del cálculo inicial de los nuevos regímenes, la normativa estableció un proceso en tres fases diferenciadas, una primera de análisis, otra de concertación y una última de implantación y seguimiento adaptativo. Transcurridas las dos primeras, y a punto de aprobarse los regímenes ambientales en los nuevos planes de cuenca, queda por ver cómo se aplicará la última, y quizá más importante etapa del proceso de establecimiento. En algunas cuencas (como es el caso de la cuenca del Duero), ya se han iniciado los trabajos tendentes al seguimiento de los resultados de los nuevos caudales ambientales; estas iniciativas deben extenderse a la totalidad de las cuencas españolas, y asegurar una correcta aplicación y análisis de los valores establecidos en las fases anteriores.

Las dificultades encontradas para calcular un régimen ambiental que satisfaga las necesidades globales de los ecosistemas fluviales y las demandas para usos humanos han llevado, a algunos países, a trabajar indirectamente en el cálculo de caudales ecológicos, a través de la identificación de niveles de alteración de los ecosistemas a partir de determinados porcentajes o volúmenes de derivación de agua del río. En otras palabras, dado que resulta problemático reconocer las exigencias hídricas de cada una de las componentes del medio, se analizaría a partir de qué momento un incremento del detrimento de agua supone una alteración global del sistema que supere ciertos niveles de garantía para los hábitats y especies del tramo o masa. Esta aproximación simplifica el procedimiento de cálculo, pero no resulta sencillo determinar los umbrales globales de alteración en este tipo de ecosistemas complejos y dinámicos.

### **3.2 Aspectos y etapas clave**

La determinación de caudales ambientales de perfil verdaderamente funcional es, por tanto, un objetivo en pleno proceso de estudio, pero fundamental para científicos y gestores. Asumiendo la complejidad inherente al medio fluvial, y la necesidad de

establecer unos rangos de variación dentro de los cuales se pueda proteger eficazmente la estructura y funcionamiento del ecosistema, se propone el establecimiento de una serie de principios básicos que puedan servir como guía para la acción en esta materia:

1. Definición de patrones regionales: El análisis individualizado de los requerimientos hídricos de cada masa de agua es necesario en el proceso de cálculo, pero también lo es el establecimiento de patrones ambientales, asociados a determinadas tipologías fluviales, o a ciertas regiones hidrológicas (entendidas como aquellas que muestran similitud en su comportamiento hidrológico inter e intra-anual), que faciliten la extrapolación de resultados, y la definición del régimen ambiental “básico”. Por ello, resulta preciso avanzar en el establecimiento de hidrorregiones para el análisis de la alteración y de las demandas ambientales de la red de drenaje, a partir del estudio de indicadores del comportamiento del régimen natural de caudales. En España, el CEDEX presentó en 2010 el primer mapa nacional de hidrorregiones para el estudio de caudales ambientales (Figura 2). Sobre la base de esta regionalización inicial, resultaría importante el avance en el estudio de cada una de las regiones definidas, el calibrado de los resultados con los registros foronómicos existentes, y el análisis de nuevos indicadores y metodologías de agregación.

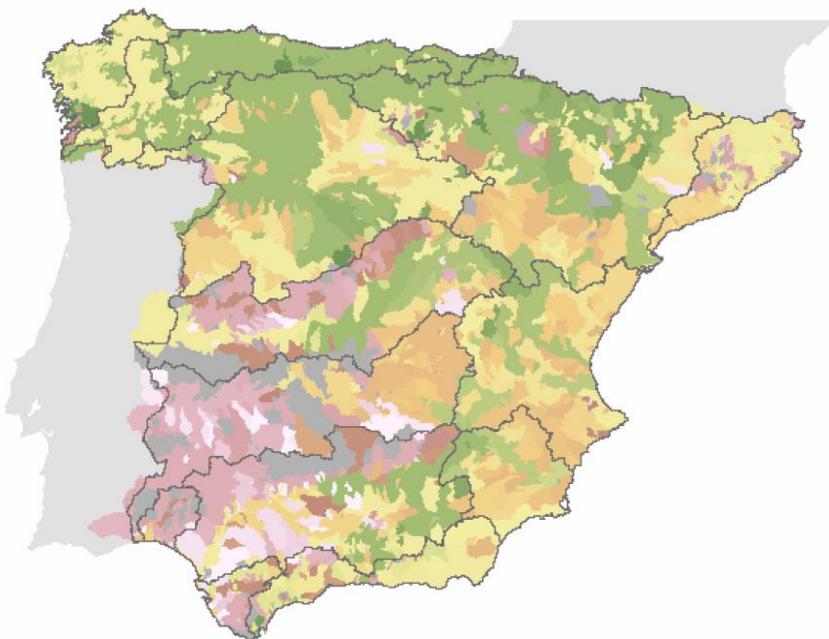


Figura 2. Mapa nacional de hidrorregiones para la extrapolación de regímenes ambientales de caudales (CEDEX, 2010).

ii. Completado y caracterización de la información hidrológica: La información hidrológica de partida resulta un aspecto clave para la correcta aplicación de metodologías de cálculo, por lo que es preciso incidir en la importancia de mejorar la calidad de las series existentes (tanto en régimen natural como en régimen alterado), favorecer el completado estadísticamente riguroso de las series, y avanzar en el desarrollo de metodologías de base hidrológica que tengan en cuenta la irregularidad de los regímenes españoles. Algunas iniciativas, como el Servidor de Datos para el Estudio de la Alteración Hidrológica (SEDAH – CEDEX, 2011) (Figura 3), contribuyen al avance en esta materia, pero hay aún un largo camino por delante en la consecución de los objetivos mencionados.

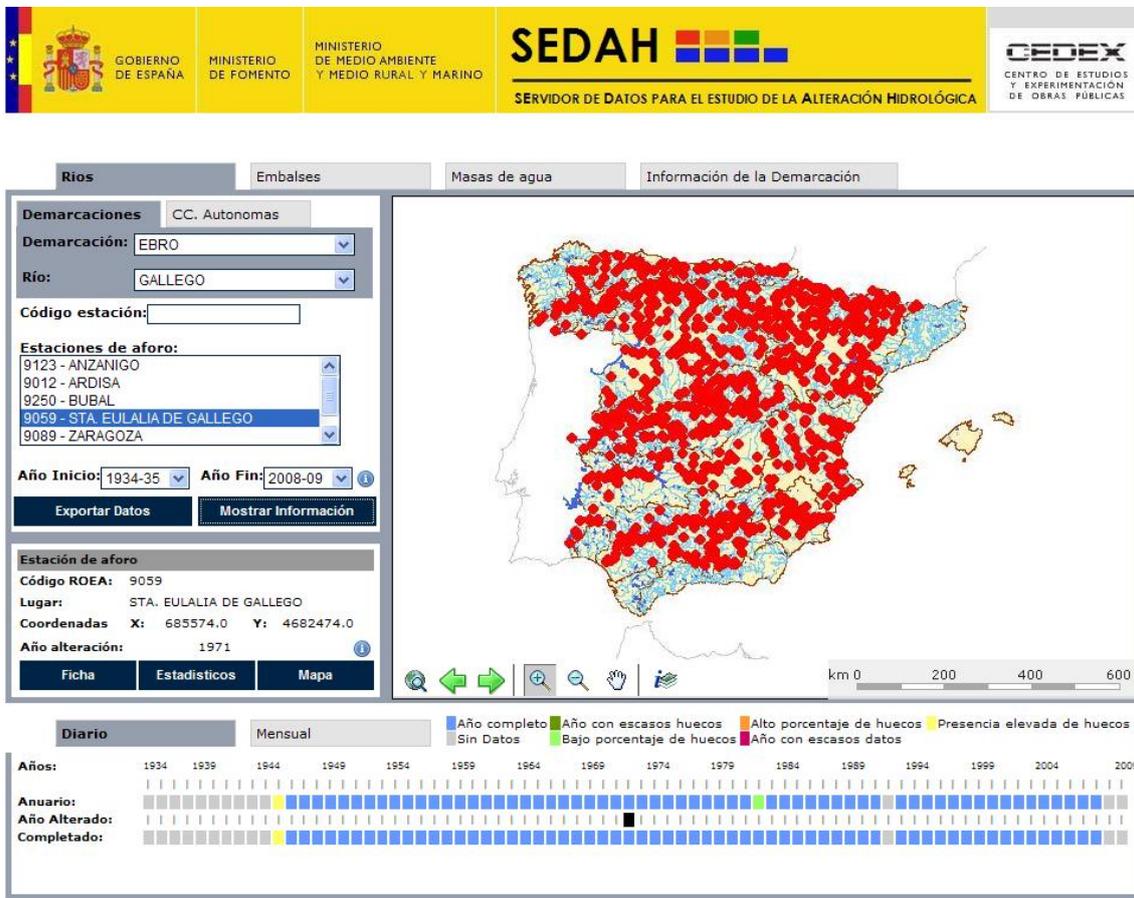


Figura 3. Pantalla de entrada al servidor de datos para el estudio de la alteración hidrológica (SEDAH), que permite obtener y preparar la información necesaria para el análisis de la alteración (Martínez *et al.*, 2011).

iii. Desarrollo de funciones de respuesta de tipo hidrobiológico: El proceso de determinación de regímenes ambientales requiere, en cualquier caso, y sea cual sea la

aproximación utilizada, un adecuado conocimiento de las relaciones existentes entre los niveles de alteración hidrológica y los indicadores de calidad ecológica. Estas funciones de dependencia pueden llevarse a cabo para especies aisladas, estadios o ciclos biológicos de las especies, grupos, comunidades, o sistemas, en función de las condiciones concretas de cada uno de ellos y de los emplazamientos de estudio. Las relaciones de respuesta deben describir la totalidad del rango hidrológico natural del tramo o masa, bien de manera agregada o desagregada (a partir de los atributos hidrológicos de cada componente del régimen). En el caso español, a lo largo de los últimos años se han construido funciones de respuesta para la práctica totalidad de las especies piscícolas autóctonas. No obstante, muchas de estas funciones no son transferibles más allá de la sub-cuenca o cuenca en la que se han realizado, e incluso algunas de ellas requieren notables mejorías antes de poder ser utilizadas de manera generalizada. Al tiempo, no existe aún información relevante sobre las funciones para otros tipos de grupos biológicos (vegetación acuática y de ribera, invertebrados, mamíferos, etc.), que son piezas clave en el funcionamiento del ecosistema (Magdaleno, 2011).

### **3.3 Caudales ambientales funcionales**

Una vez planteadas las líneas de acción más urgente para la optimización del proceso de determinación de regímenes ambientales, es necesario analizar cuáles serían, sobre la base de todo lo anteriormente expuesto, las componentes del régimen ambiental que en la práctica pueden mejorar el funcionamiento de un río:

1. Caudales ordinarios que aseguren una variabilidad hidrológica que tenga como referente la variabilidad del régimen natural de caudales, tanto dentro del año (a escala mensual, o donde no sea posible, estacional), como a lo largo de los diferentes años hidrológicos (distinguiendo, al menos, entre años húmedos, normales y secos). Existen diversos procedimientos para definir la variación temporal, pero deben elegirse aquellos que permitan la existencia de una variabilidad contrastada, y que aseguren una heterogeneidad física y ambiental suficiente en el río.
2. Caudales extraordinarios asociados a eventos extremos marcados: crecidas ordinarias, con capacidad de regeneración del hábitat físico, y sequías que

mejoren los procesos biomorfológicos y que eviten la colonización de las masas por parte de especies alóctonas.

3. Caudales asociados al desarrollo de ciclos biológicos clave en el ecosistema, como es el caso de los caudales de llamada que disparan respuestas biológicas por parte de las especies de fauna, o los caudales que hacen posible la hidrocoria y la regeneración de las especies vegetales en sus primeras fases de crecimiento. Diversos modelos permiten simular las condiciones ecohidrológicas generadas por diferentes escenarios de regulación, y seleccionar aquellas que mejor compatibilicen la conservación con los usos antrópicos.
4. Aguas abajo de centrales hidroeléctricas, caudales con tasas de variación temporal que no pongan en peligro la conectividad ecológica y la capacidad de refugio por parte de las especies de fauna, dentro de los márgenes permitidos por las reglas de explotación y por la seguridad de bienes y personas.

Todos estos aspectos permitirían definir un régimen ambiental directamente ligado a las necesidades del ecosistema, que posteriormente debería ser refrendado o adaptado, en función del análisis de sus consecuencias sobre los diversos componentes del ecosistema. El conocimiento y experiencia sobre la influencia de la regulación en los ecosistemas fluviales permite ya establecer unos rangos de variabilidad que pueden asegurar la conservación a largo plazo de los valores y funciones ambientales de los ríos. Cuanto antes se establezcan y monitoricen los regímenes ambientales correspondientes, antes tendremos un adecuado nivel de garantía sobre su oportunidad y validez, y antes se desarrollarán modelos de gestión acordes con los requerimientos sociales y ambientales ligados al agua en los sucesivos ciclos de planificación.

## **4. Referencias**

Acreman, M. & Dunbar, M.J. 2004. Defining environmental river flow requirements – a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(5): 861-876.

- Arthington, A.H., Bunn, S.E., Poff, N.L., Naiman, R.J. 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications* 16:1311–1318.
- Bunn, S.E., Arthington, A.H. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30: 492–507.
- CEDEX. 2010. *Agrupación y simplificación del mapa nacional de hidrorregiones para su aplicación en el cálculo de regímenes de caudales ambientales*. Informe inédito. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. 60 p.
- Fernández Yuste, J.A., Martínez Santa-María, C., Magdaleno, F. 2012. Application of hydrologic alterations in the designation of heavily modified water bodies in Spain. *Environmental Science & Policy* 16: 31-43.
- Jowett, I.G. 1997. Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research & Management* 13: 115–127.
- Lytle, D.A. & Poff, N.L. 2004. Adaptations to natural flow regimes. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 97–100.
- Magdaleno, F. 2005. *Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones*. Monografía CEDEX M-82. Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento. 194 p.
- Magdaleno, F. 2009. *Manual técnico de cálculo de caudales ambientales*. Colegio de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. 240 p.
- Magdaleno, F. 2011. *¿Debe el agua de los ríos llegar al mar? Una gestión medioambiental del agua en España*. Ed. Los libros de la Catarata - Fundación Alternativas. 106 p.
- Martínez, R., Magdaleno, F., Ortiz J., Martínez Santa-María, C., Fernández Yuste J.A. 2011. SEDA: servidor de datos para el estudio de la alteración hidrológica. *Ingeniería Civil* 164: 78-90.
- Martínez Santa-María, C. & Fernández Yuste, J.A. 2006. *Índices de alteración hidrológica en ecosistemas fluviales*. Monografía M-85 CEDEX. Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento. 178 p.
- Martínez Santa-María, C. & Fernández Yuste, J.A. 2008. *Índices de alteración hidrológica en ríos – IAHRIS. Manual de Referencia Metodológica*. Universidad Politécnica de Madrid. 130 p.

- Olden, J.D. & Poff, N.L. 2003. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications* 19: 101–121.
- Poff, N.L., Olden, J.D., Pepin, D.M., Bledsoe, B.P. 2006. Placing global stream flow variability in geographic and geomorphic contexts. *River Research and Applications* 22: 149–166.
- Poff, N.L., Richter, B.D., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B.P., Freeman, M.C., Henriksen, J., Jacobson, R.B., Kennen, J.G., Merritt, D.M., O’Keefe, J.H., Olden, J.D., Rogers, K., Tharme, R.E., Warner, A. 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* 55:147–170.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., Braun, D.P. 1996. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology* 10(4): 1163-1174.
- Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19: 397–441.