

# Evaluación y Provisión de Caudales Ambientales en los cursos de agua Mediterráneos

Conceptos Básicos, Métodos y Práctica emergente

Estudio de caso mediterráneo

## EL RÍO RÓDANO: REHABILITACIÓN HIDROMORFOLÓGICA Y ECOLÓGICA DE UN HIDROSISTEMA ANTROPIZADO

Autor

**Yves Souchon**

Director de Investigación  
Cemagref, Unidad de Investigación Biológica de Ecosistemas Acuáticos  
Laboratorio de Hidroecología cuantitativa

3 bis, quai Chauveau CP 220 69336 Lyon Cedex 09 Francia

<http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq>

Las opiniones expresadas en esta publicación corresponden a los autores y no reflejan necesariamente las de UICN.



La publicación de los estudios de caso mediterráneos presentados en este Dossier Informativo ha sido posible gracias a la financiación de la Iniciativa del Agua y la Naturaleza respaldada por el Gobierno de Holanda y el apoyo financiero del Ministerio de Asuntos Exteriores, Dirección General de Cooperación para el Desarrollo, Italia.



El soporte central de las actividades de la UICN en el Centro de Cooperación del Mediterráneo está proporcionado por



# EL RÍO ROINA: REHABILITACIÓN HIDROMORFOLÓGICA Y ECOLÓGICA DE UN HIDROSISTEMA ANTROPIZADO

Este estudio de caso analiza cómo las evaluaciones de caudales ambientales proporcionaron información sobre la planificación de la restauración de ríos en el Plan Decenal de Rehabilitación hidráulica y ecológica del río Roina. Esta discusión se realiza en el contexto de las Leyes de Agua en desarrollo en Francia y la Directiva Marco de Aguas de la UE (2000) que decreta la restauración de un “buen estado ecológico” de los ríos en los países miembros de la Unión Europea para el año 2015.

## 1. ANTECEDENTES

### Área de estudio: ubicación y geografía

La cuenca de recepción del río Roina abarca un área total de 98,000 km<sup>2</sup> distribuidos entre Francia y Suiza. El Roina es el río más extenso en la cuenca (750 km), originándose de la nieve y los deshielos del Glacial Roina (a 1,773 m de altura) en Suiza que desemboca en el Lago Léman (Lago Ginebra). Aguas abajo de Ginebra, el Roina fluye hacia el sur 512 km en Francia antes de dividirse en dos ramales que forman un delta en la región de la Camarga (ver Figura 1); desde ahí fluye hacia el sur hasta desembocar en el Mediterráneo pasados los diques contra inundaciones.

Los principales afluentes del Roina son el río Arve que crece cerca de las montañas Mont-Blanc, el río Ain, el río Saône que se une al Roina en Lyone, y los ríos Isère, Drôme, Ardèche y Durance que se cruzan con el Roina en varios puntos sus cuencas medias y bajas.

La hidrología de la cuenca es muy compleja debido a las diferentes influencias climáticas producto de la ubicación y la variada topografía de la misma. El caudal promedio anual del Lago Léman es de 570 m<sup>3</sup>/s, mientras que en Beaucaire, aguas arriba de Arles y cerca del final del curso del río, el caudal medio anual es de 2,300 m<sup>3</sup>/s. Usualmente el Roina se desborda en la primavera y el otoño; en el otoño de 2003 se registraron picos de inundación de 13,000 m<sup>3</sup>/s. El río tiene además una pendiente relativamente alta (0,625 °/°). Estas características ayudan a explicar por qué el Roina, llamado anteriormente el río “Rey”, ha sido conocido por ser poco navegable pero tener buen potencial hidroeléctrico.

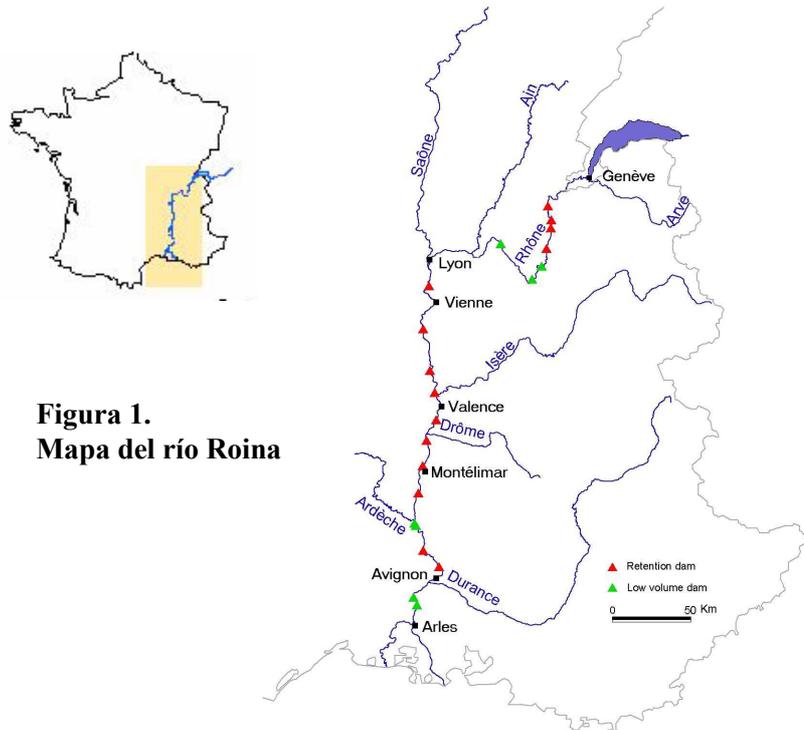


Figura 1.  
Mapa del río Roina

### Patrón histórico de desarrollo del Roina

El desarrollo del río Roina durante los últimos 400 años ocurrió en varias fases, cada una de las cuales tenía un objetivo diferente. En el siglo XVII empezó la construcción de diques como barreras de defensa contra las inundaciones, en el siglo XVIII se construyeron escolleras y taludes rocosos para

crear un río más navegable, y hacia finales del siglo XIX el desarrollo hidroeléctrico se volvió sumamente importante con la construcción de la primera presa del Roina en 1872. El siglo pasado las extracciones de agua para el desarrollo de la agricultura de regadío se añadieron a los muchos usos del río. Con la construcción en 1986 de la presa de Brégnier-Cordon, aguas arriba de Lyon, terminó el desarrollo de presas en el río Roina.

La Ley del Roina de 1921 fue la primera en autorizar la construcción de obras de navegación a gran escala, obras de riego y la producción de energía hidroeléctrica. La Compañía Nacional del Roina (CNR - Compagnie Nationale du Roina, ver referencia de la página web) creada en 1934 recibió posteriormente el mandato de llevar a cabo estas obras con una perspectiva de desarrollo económico integrada. Desde 1934, la CNR ha desarrollado 19 proyectos hidroeléctricos que representan 20-25% de la producción hidroeléctrica francesa, o 3-4% de la producción eléctrica total. Un proyecto de desarrollo similar se repite en diferentes sectores a lo largo del río, donde los canales enderezan y acortan la longitud del curso del agua para facilitar la navegación, evitando así el cauce antiguo del río (“vieux” Rhône). Una presa localizada aguas arriba en el cauce original del Roina desvía el agua mientras que un segundo embalse de baja altura, dentro del canal de navegación, proporciona regulación por medio de esclusas y turbinas. Por lo menos 150 km de las secciones de derivación del cauce principal del río reciben asignaciones de caudales mínimos que varían entre 1/326<sup>th</sup> y 1/5<sup>th</sup> de su caudal medio diario (ADF por sus siglas en inglés). Estos caudales fueron negociados de manera particular para cada caso a medida que cada embalse era construido.

### **Situación actual del sistema hidrológico y la ecología del río**

Actualmente el régimen de caudales del Roina está regulado por varios embalses de gran capacidad (7 billones de m<sup>3</sup> que representan alrededor del 7.3% de la esorrentía anual de 96 billones de m<sup>3</sup>). Casi 80% de su capacidad de almacenamiento tiene lugar aguas abajo de Ginebra debido a embalses como el de Vouglans en la cuenca alta del río Ain, varios embalses en el río Isère (que juntos representan 30% de la capacidad de almacenamiento total) y el de Serre-Ponçon en el río Durance que es uno de los embalses más grandes de Europa proporcionando 43% de la capacidad de almacenamiento total de la cuenca.

El corredor del Roina es actualmente un área densamente poblada e industrializada con más de 2.5 millones de habitantes. El “ingreso garantizado” del Roina ha contribuido a la prosperidad económica de las ciudades localizadas en las riberas del río y de sus habitantes. En términos ecológicos, los efectos de los cambios en el hábitat físico han sido considerables: la morfología del canal del río cambió de trezado a recto y canalizado, a menudo erosionado y encajado; se redujo el nivel freático; varios biotopos naturales desaparecieron; el bosque ribereño evolucionó a *bosque latifolio* debido al agotamiento del agua subterránea; y las presas bloquean la migración de los peces anfibióticos (sábalos, anguilas, lampreas) donde numerosas comunicaciones laterales con los afluentes o canales laterales han sido modificados, a veces eliminados. En términos generales la biodiversidad del río se ha visto reducida, especialmente con la escasez de especies cuyo historial está conectado a un sistema fluvial dinámico; la diversidad de especies reofilicas ha disminuido mientras que algunas comunidades cambiaron a especies de hábitats más limnofílicos.

### **Nuevos paradigmas**

Durante periodos de desarrollo económico activo el público en general había dado la espalda al río porque lo consideraban excesivamente contaminado, artificial y potencialmente peligroso debido a las inundaciones. En los años 80, la conciencia ambiental pública fue demostrada a través de la fuerte oposición al último gran proyecto de desarrollo de presas, Loyette en la confluencia del Roina y el Ain, tras la cual el proyecto fue abandonado. Desde principios de los 80 numerosos tramos del río y la plana aluvial fueron clasificados como áreas protegidas; más de 10,000 ha son consideradas ahora importantes por su valor natural y de biodiversidad. Los actores locales y los esquemas sucesivos de gestión prevén un enfoque más holístico para la rehabilitación del río consistente con los valores

ambientales actuales. El plan de rehabilitación de 10 años, apoyado por 1.5 millones de euros está dirigido a recuperar un río “sano y con suficiente caudal” con su condición ecológica restaurada. Entre las principales medidas para restaurar la funcionalidad hidráulica de grandes secciones del río están la reconstrucción morfológica de los brazos laterales del río para devolver la conectividad entre el canal principal y los brazos laterales abandonados, e incrementar los caudales mínimos en las secciones derivadas del cauce original (ahora un tercio de la longitud total del Roina).

## La necesidad de modelos de evaluaciones de caudales ambientales

Un objetivo del plan de restauración era establecer medidas de prioridad para cada uno de los 19 canales de derivación, lo cual requería la identificación de caudales mínimos necesarios para rehabilitar las comunidades reofilicas. Para ello, se necesitó modelos que relacionen las respuestas taxonómicas y funcionales de las poblaciones y comunidades del río a los cambios hidráulicos. Los modelos desarrollados en la última década fueron utilizados y apoyados por trabajos de investigación realizados por equipos multidisciplinarios.

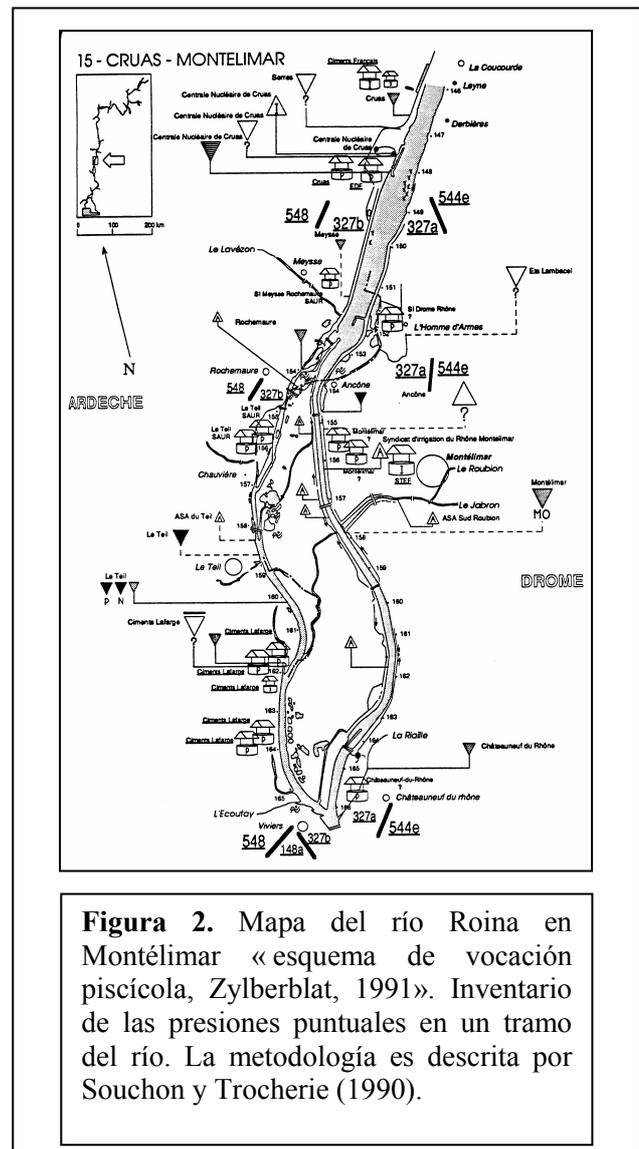
## 2. MARCO LEGAL NACIONAL Y EUROPEO

Una de las primeras leyes ambientales en la era moderna fue la Ley de Protección de la Naturaleza (1976). No obstante el contenido científico y técnico de los estudios de impacto requeridos por la Ley de Protección de la Naturaleza no fue suficiente para evaluar el impacto cuantitativo de los diferentes escenarios de desarrollo de presas y gestión de caudales. Por ejemplo: el conocimiento científico de la estructura y funcionalidad de los grandes ríos era limitado, habían bastantes vacíos; pocos modelos estaban disponibles para conectar la biología a la física (ej., cambios en las condiciones hidráulicas); y, no existía ningún enfoque de gestión de las cuencas hidrográficas. Todos estos elementos han ido mejorando progresivamente con el tiempo reflejándose en el contexto legal en evolución.

### La Ley de pesca de agua dulce (1984)

La ley de pesca de agua dulce fue una de las primeras que se ocupaba explícitamente de los caudales ambientales; esta ley se basó en el principio de que la gestión de los sistemas de agua dulce y el medio ambiente tienen que encontrar el equilibrio entre el uso y la protección. Algunas de estas medidas trataban de los caudales mínimos legales que fueron definidos en términos cuantitativos dependiendo del tamaño y uso del río, como se explica a continuación:

1. Curso de agua o río con un ADF  $< 80 \text{ m}^3/\text{s}$ 
  - Extracción de agua actual: Caudal mínimo legal (CML) =  $1/40 \text{ ADF}$
  - Nueva extracción de agua: CML =  $1/10 \text{ ADF}$



2. Curso de agua o río con un ADF > 80 m<sup>3</sup>/s
  - Extracción de agua actual: Caudal mínimo legal (CML) = 1/80 ADF
  - Nueva extracción de agua: CML = 1/20 ADF

Además, los usuarios finales tuvieron que realizar un estudio de impacto para comprobar que estos valores eran suficientes para garantizar permanentemente la vida, la reproducción y la circulación de las especies acuáticas que habitan el cuerpo de agua. Los ríos Rhin y Roina fueron exentos de esta ley debido a su condición internacional.

La ley de 1984 también introdujo el requisito de crear una cartografía sintética (Proyecto departamental de pesca de agua dulce) para todos los arroyos y ríos franceses, herramienta que fue muy útil para visualizar el conocimiento existente del ambiente natural así como el inventario de las presiones humanas (Souchon and Trocherie, 1990). Un ejemplo de esta aplicación es el mapa del Roina producido por la Agencia del Agua Roina Mediterráneo Corse (RMC WA, 1992) que probó ser una herramienta de planificación muy importante para analizar y sintetizar el estado ecológico y “antropogénico” de los diferentes tramos del Roina (ver Figura 2).

### **La Ley de Aguas (1992)**

La Ley de Aguas se amplió en la Ley de 1984, afirmando los principios de la gestión sostenible de los hidrosistemas y la gestión de las cuencas hidrográficas. La gestión a escala de la cuenca debía ser apoyada por documentos guía elaborados a diferentes escalas de la gestión, incluyendo un esquema maestro a escala de la cuenca hidrográfica como la cuenca del río Roina (“Sistema maestro de desarrollo de la gestión del agua” – SDAGE por sus siglas en francés), que define las direcciones generales; y esquemas locales (“Esquema maestro de desarrollo de la gestión de aguas” – SAGE por sus siglas en francés). A escala de la subcuenca (ej., el río Drôme destacado en la Figura 1) se definieron las acciones necesarias para aplicar las orientaciones SDAGE.

Estos documentos fueron desarrollados en un proceso de diálogo intenso entre todos los actores implicados. Este enfoque se vio beneficiado además por una larga tradición de gestión de las cuencas en torno a la estructura de las Agencias del Agua creadas en los años 70, así como por la adopción del principio de que el que contamina paga.

### **La Directiva Marco de Aguas de la Unión Europea (DMA, 2000)**

La DMA busca llevar a los estados miembros de la Unión Europea a una nueva era de rehabilitación de los cuerpos de agua dulce, para lo cual debe alcanzarse una buena condición de las fuentes de agua superficiales y subterráneas para el año 2015. El indicador principal de un buen estado ecológico<sup>1</sup> es la biología, representada en los ecosistemas fluviales en una gran variedad de formas (ej., peces, macroinvertebrados, producción primaria). Las condiciones químicas que hasta ahora habían dominado las evaluaciones aparecen hoy como un espejo de la biología; las condiciones físicas por otro lado ayudan a definir las situaciones más adecuadas clasificadas como referencias, al tiempo que ayudan a sustentar los procesos biológicos. Más que prescribir los medios, esta legislación enfatiza los resultados, por lo que todo el proceso de la gestión podría ser visto como adaptable, con fases cronológicas lógicas como la clasificación de los cuerpos de agua, la descripción de las referencias, la evaluación del estado actual, el inventario de las presiones y los usos económicos, la planificación de las acciones de rehabilitación, y el seguimiento y revisión de las acciones.

---

<sup>1</sup> El buen estado ecológico es discutido a nivel europeo para poder calibrar y comparar las diferentes condiciones de las evaluaciones: referencias históricas, situaciones de referencia actuales o modelos que podrían ayudar a definir el buen estado ecológico. En el río Roina esta evaluación fue apoyada por el uso de modelos.

### 3. EL PLAN DECENAL DE REHABILITACIÓN HIDRÁULICA Y ECOLÓGICA DEL ROINA (DRRP, 2000)

Previo al DRRP se desarrollaron varios planes de gestión para el Roina teniendo los objetivos ambientales en mente. Su multiplicidad indica la dinámica y compleja interacción entre los numerosos actores a diferentes escalas espaciales y administrativas; estos actores incluyen: un prefecto de coordinación de la cuenca que está a cargo del río Roina en cooperación con la administración regional; la Agencia del Agua; y la CNR (una compañía de desarrollo pública) a cargo de la gestión económica y ambiental del río, que también desempeñó un papel clave en el plan decenal de rehabilitación del Roina.

Los planes sucesivos incluyeron:

- 1988: Diagnóstico completo del estado del Roina
- 1992: Proyecto de pesca de agua dulce del río Roina, apoyada por mapas del hidrosistema, los impactos y las presiones (como se ilustra en la Figura 2).
- 1992: Plan de gestión del Roina, orientado en base a los recursos y el riesgo
- 1996: SDAGE Roina
- 1996: Plan de Acción de la CNR – con estudios científicos de la tipología de los canales laterales, el diagnóstico de la migración de los peces y las barreras contra la migración, el plan migratorio, y un inventario de sitios sensibles a ser protegidos.

De este modo, el DRRP está definido como el próximo paso en un estudio continuado que se beneficia de la experiencia acumulada. En 1998, tres Ministros de Estado (Economía e Industria, Instalaciones de Transporte y Comunicaciones, y Gestión de Paisajes y Medio Ambiente) comisionaron a la Agencia del Agua Rhône Méditerranée (RMC WA) y a su delegación de cuenca la coordinación técnica del DRRP; el plan está gestionado por un comité de dirección (Ver Cuadro 1 del DRRP) con apoyo consultivo de un Comité Científico y un Comité de Cuenca. Entre los objetivos principales del DRRP se encuentran la restauración de un “río sano y con suficiente caudal” (“*fleuve vif et courant*”) y el mejoramiento de la calidad ecológica del ecosistema.

Posteriormente se definieron cuatro prioridades de la restauración en el proceso del DRRP:

- la restauración hidráulica de los tramos del Roina afectados por los canales de desvío (Alto Roina, Miribel Jonage, Péage de Roussillon, Montélimar, Donzère-Mondragon) a través del establecimiento de caudales mínimos incrementados,
- la restauración morfológica de los brazos laterales del Roina y los sistemas conectados,
- la restauración de las rutas migratorias de los peces para el Roina y sus tributarios,
- la organización de un seguimiento científico para todo el DRRP y el desarrollo de acciones interconectadas con el fin de reforzar la conciencia pública y apoyar a los actores.

**Cuadro 1 . Plan Decenal de rehabilitación hidráulica y ecológica del Roina (DRRP)**

#### **Composición del Comité de Dirección del DRRP**

Administraciones regionales: Navegación continental, Ambiente, Industria  
Instituciones públicas: Agencia del Agua RMC, Consejo de Pesca Continental, Electricidad de Francia (Electricité de France)  
Representantes de las asociaciones de las comunidades que viven en las riberas del río  
Personas calificadas

En coordinación con

**Comité Científico**  
**Comité de la Cuenca Hidrográfica**

Mientras que el DRRP se basa en la filosofía de desarrollo sostenible para todo el territorio de la cuenca hidrográfica, en la práctica, las acciones de rehabilitación dependen de las iniciativas locales en las que los operadores son las asociaciones de comunidades. Así por ejemplo una convención específica (Haut Rhône – Alto Roina) involucra varias aldeas en la rehabilitación de tres lugares del alto Roina: el Sindicato Intercomunal de Protección de las riberas y orillas del Roina en Savoya en conjunto con los Sindicatos Intercomunales de Defensa contra las crecidas del Alto Roina en los Departamentos del Ain y del Isère. Esta práctica garantiza una participación sólida de los actores locales.

#### **4. ENFOQUE DE LOS CAUDALES AMBIENTALES**

##### **Adaptación y validación de la metodología de los grandes ríos**

Uno de los principales retos en la evaluación de caudales ambientales es simular y predecir las respuestas biológicas acuáticas a los caudales alterados en un río altamente modificado. En la década pasada, la mayoría del trabajo en el desarrollo de metodologías de caudales mínimos se llevó a cabo en ríos pequeños. No obstante, la gran cantidad de investigaciones realizadas en el Roina proporcionaron una base para construir y adaptar los modelos existentes a fin de que puedan ser utilizados en el DRRP.

El primer estudio fue realizado en 1989 para el tramo del río afectado por el canal de derivación de Montélimar (Pouilly, 1994) (ver Pouilly et al., 1996 para una experiencia similar en el río Garona), el cual expuso las dificultades de adaptar los métodos existentes a los grandes ríos; algunos de estos problemas incluyen: la dificultad de medir los parámetros hidráulicos clave, las limitaciones inherentes a los modelos de hábitat para la fauna piscícola, y la selección de factores de ponderación para los grupos de múltiples especies (ver además Stalnaker et al., 1989). Estas dificultades han sido parcialmente superadas en años recientes, primero con la descripción del hábitat hidráulico para una mayor cantidad de especies de peces (Pouilly, 1994; Lamouroux et al., 1999a), y segundo, a través del desarrollo de modelos hidráulicos estadísticos (Lamouroux, 1997). Otro avance importante fue la conexión de modelos hidráulicos estadísticos con modelos de preferencia multivariable para predecir los índices de densidad de peces con respecto a las diversas condiciones hidráulicas locales para los diferentes caudales. Estos métodos y su validación biológica son descritos en un artículo muy complejo (Lamouroux et al., 1999b).

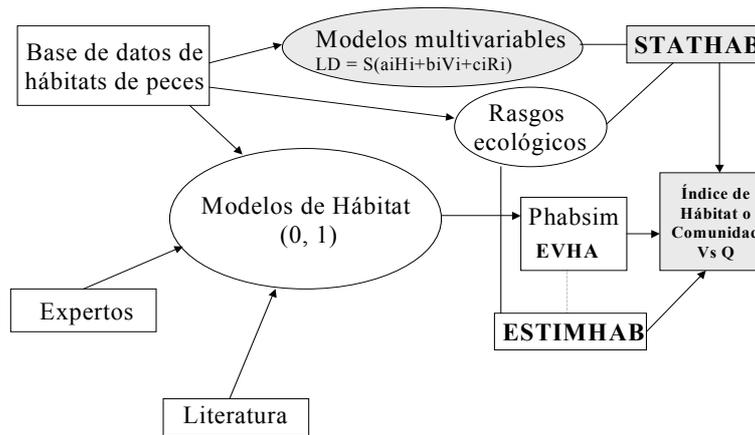
Los avances en el modelo de hábitats han vuelto nulas o inválidas algunas de las críticas tempranas al dominante IFIM / Phabsim, o metodología de microhábitats (Bovee, 1982; Mathur et al., 1985). Por ejemplo: los parámetros hidráulicos se consideran ahora en un modo multivariable (no como variables independientes), el método adaptado considera los grupos de peces y no sólo los peces objetivos de la pesca, y se ha demostrado además la validación biológica a nivel de la comunidad de peces.

La Figura 3.1 ilustra las diversas combinaciones posibles de las herramientas necesarias para obtener el índice del hábitat o de la comunidad de peces con respecto al caudal disponible. Los métodos seleccionados para el estudio de caso del río Roina están sombreados con gris (notar que Stathab, Evha, Estimhab son acrónimos de diferentes programas de simulación de hábitats – ver texto y referencias)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> La mayoría de estas herramientas están disponibles en la página web <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/logiciel.html>

### Diversidad de datos y herramientas



**Figura 3.1. Evaluación de caudales ambientales – Diversidad de datos y herramientas**

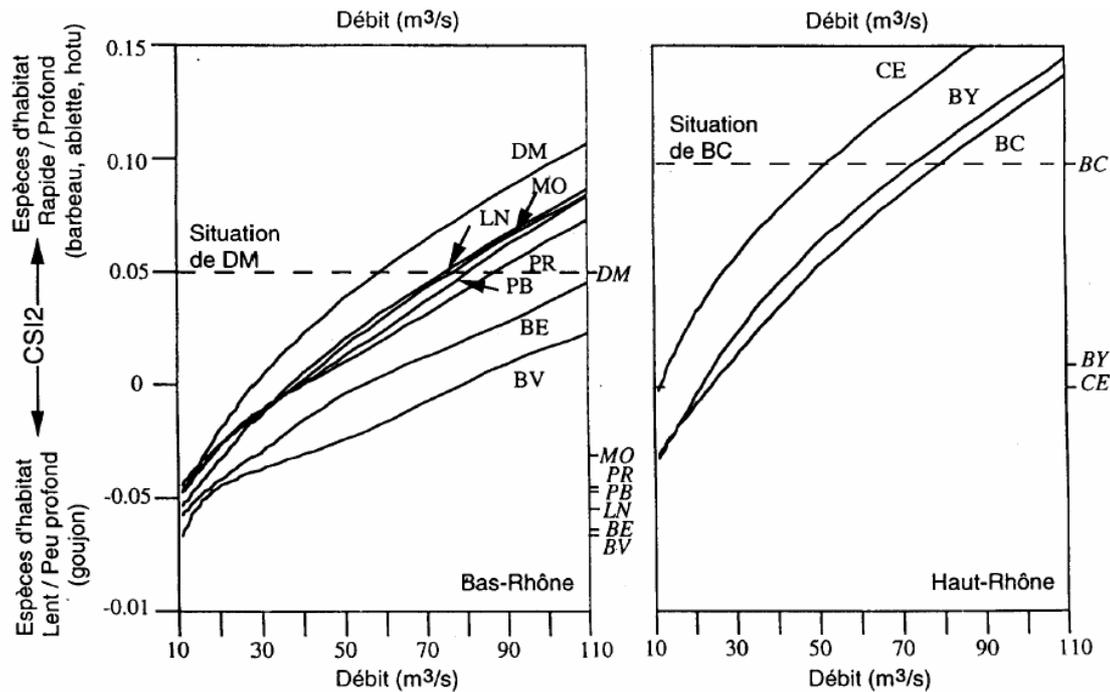
En la práctica pueden utilizarse varios métodos que esencialmente combinan los diferentes modelos de preferencia de hábitats de los peces y los modelos hidráulicos para producir un índice específico con respecto a la relación de caudales.

#### ¿Cuáles fueron los objetivos?

Los métodos previos explican el comportamiento físico de un sector en particular del río con respecto al caudal, convirtiéndolo posteriormente en índices de hábitat o comunidad. La dificultad restante consiste en definir los umbrales en las tendencias predecidas. Existen preguntas como: “¿Qué caudal alterado podría ser considerado lo suficientemente significativo para permitir evoluciones positivas de la comunidad de peces?” y “¿Cuál es el objetivo ecológico a ser logrado?”. La metodología no define el objetivo pero está al servicio de éste; en otras palabras, la definición del objetivo no es solamente responsabilidad de los expertos científicos, sino también de la sociedad – basado en la negociación.

El objetivo fue definido vagamente en el DRRP (para recuperar un “río sano y con caudal suficiente”), por lo que se decidió que el mejor enfoque consistía en expresar los objetivos en forma de atributos biológicos. Así, se definió la mejor situación biológica que puede observarse en los tramos del río afectados por los canales de derivación como un objetivo de rehabilitación alcanzable, esto es, decidir los caudales necesarios en las diferentes secciones considerando la variedad de morfologías y pendientes existentes. Los atributos biológicos de la comunidad de peces están resumidos en un índice de características más o menos reofilicas. Durante el DRRP, se modeló cada uno de los canales de derivación; estos resultados son comparados en el mismo gráfico (como se ilustra en la Figura 3.2).

La relación de los diferentes diseños de tendencias con respecto a los caudales ayudó a definir una jerarquía para la rehabilitación potencial en los diferentes canales de derivación. Se asume que un caudal mínimo mayor moderaría además los impactos adversos de los caudales pico que pasan en tránsito por el canal de derivación. Además, en la sección derivada se restauran los valores estéticos y paisajistas que están asociados con un río caudaloso.



**Figura 3.2. Simulación de los índices de estructura de la comunidad de peces (CSI) Vs. el caudal (débit:  $m^3/s$ ) para los diferentes canales de derivación del río Roina<sup>3</sup>.**

En la Figura 3.2 un valor bajo de CSI indica una comunidad limnofílica (ej. Gobio), mientras que un valor alto denota una comunidad reofílica (ej. Barbeau, ablette, hotu) que está más de acuerdo con un ambiente fluvial dinámico (Lamouroux et al., 1999c). Las respuestas son diferentes en cada canal de derivación debido a las diferentes morfologías existentes, por ejemplo, el mismo incremento en el caudal mínimo no produce el mismo aumento en el hábitat reofílico en diferentes tramos (las letras DM, MO, LM, etc, en la figura corresponden a las respuestas en las diferentes secciones derivadas).. (bleak, nase)

### **Puesta en marcha de la evaluación de caudales ambientales bajo un enfoque de gestión adaptable**

Pierre-Bénite, el primer canal de derivación aguas abajo de Lyon, fue la primera zona que se benefició de la decisión de mejorar los caudales en las secciones derivadas con el fin de restaurar los valores ambientales. Desde Agosto de 2000, el caudal mínimo fue incrementado de  $10 m^3/s$  (en el periodo de Septiembre a Marzo) y  $20 m^3/s$  (en el periodo de Abril a Agosto) a  $100 m^3/s$ . Con el fin de compensar la pérdida en la producción hidroeléctrica de la presa construida aguas abajo en el nuevo canal, se instaló una turbina para producir energía eléctrica con el nuevo caudal asignado. De acuerdo al objetivo biológico (ver PB en la Figura 3.2), se predice que estas acciones asegurarán una comunidad de peces más reofílica cerca del nivel de DM (Donzere-Mondragon) que fue escogido como marco de referencia. Esta decisión fue apoyada por un plan de seguimiento (2001-2004) para evaluar las modificaciones futuras y comparar los valores observados de los atributos de la comunidad de peces con aquellos predichos.

Entre 1995 y 1999 se puso en práctica un programa de seguimiento de “antes del cambio”, para lo cual se estableció un conjunto de indicadores complementarios bajo las categorías de: hidrología, hidráulica, sedimento, peces, macrófitos, macroinvertebrados y paisaje acuático (percepción de los

<sup>3</sup> Reproducido con la autorización de Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture

actores sobre el río rehabilitado); los datos que caracterizan cada categoría pueden ser registrados (bases de datos combinadas con SIG) para posteriormente comunicarlos a los gestores y demás partes interesadas. Se están llevando a cabo simulaciones específicas en las cuencas superiores del río Roina (en tres lugares de estudio de canales de derivación) y en dos tramos aguas abajo (Montélimar y Donzère-Mondragon). Las decisiones con respecto a mejorar el régimen de caudales ambientales en estas secciones derivadas dependerán de los resultados del diálogo local y tendrán en consideración las implicaciones financieras.

## **5. ACCIONES DE LA GESTIÓN**

En el pasado, las estrategias de la gestión de ríos usualmente antepusieron como prioridades la protección contra inundaciones, la gestión de la calidad del agua y la protección de los recursos hídricos, a la preservación de la integridad ecológica del río. Las limitaciones de estos enfoques son ahora más apreciadas, especialmente por el público. Actualmente el enfoque de la gestión de cuencas en ríos como el Roina consiste en la rehabilitación integrada. El tratamiento de aguas residuales es un ejemplo de la aplicación de la experiencia acumulada con los años, sin embargo, la rehabilitación física de los ríos ha progresado muy lentamente en relación a otros aspectos. Aunque los esquemas de gestión incluyen este objetivo (ver Figura 3), carecen de una puesta en marcha efectiva; al respecto podemos identificar tres razones principales:

- (1) Los aumentos de caudales en los tramos del río afectados por los canales de derivación son frecuentemente vistos como pérdidas económicas para los usos anteriores (ej. generación hidroeléctrica) y no como medios para establecer un nuevo equilibrio entre la economía y la ecología;
- (2) Es difícil explicar el complejo funcionamiento de los sistemas acuáticos en términos que sean fácilmente entendibles por la mayoría de la gente; y
- (3) Existen muy pocos estudios de caso demostrativos y positivos.

El cambio en la opinión pública al final de la década de los 80, expresada por el deseo de vivir y trabajar en armonía con el río, está influenciando progresivamente la gestión de los ríos y las acciones relacionadas. El DRRP ilustra esta evolución. La principal acción política fue la transformación de los fondos para las obras de canalización y navegación en fondos para la rehabilitación del río en 1998, siguiendo una decisión política nacional.

Vale la pena mencionar que es sumamente importante que todos los actores implicados participen en el proceso a través de sus representantes, en este caso, éstos se vieron involucrados en todas las actividades de rehabilitación a escala local (ej., tramos afectados por los canales de derivación), contribuyendo además con fondos financieros. Aunque un aumento de diez veces el caudal mínimo del río puede observarse a simple vista, es necesario reforzar esta medida con indicadores de cambio objetivos y un seguimiento efectivo. En un esfuerzo por cumplir los objetivos del DRRP, se identificó esta necesidad y se solicitó un marco científico para establecer dichos indicadores y hacer un seguimiento de ellos; el costo financiero de dicho marco es del 3% del coste total de rehabilitación de 1,5 millones de euros. También se reforzó la capacidad de construir y mejorar los modelos de predicción para evaluar la evolución de la biota con respecto a los cambios en el régimen de caudales. Los resultados del seguimiento podrían utilizarse como retroalimentación para validar o mejorar dichos modelos.

## **6. LECCIONES APRENDIDAS Y OBJETIVOS PRINCIPALES**

La rehabilitación del río Roina ilustra un enfoque adaptable para la restauración de ríos apoyada por la evaluación de caudales ambientales; muestra además lo que puede lograrse en la rehabilitación de un río que ha soportado durante largo tiempo el desarrollo urbano, agrícola e industrial, sin consideración a sus valores y atributos naturales. Los grados de libertad para la rehabilitación física no son numerosos debido a que la cuenca de recepción está densamente poblada y equipada. No obstante, es

posible realizar algunas acciones para equilibrar el abastecimiento de agua entre los tramos del río afectados por los canales de derivación y las secciones canalizadas del río, y devolver cierta conectividad entre el cauce principal y los brazos laterales abandonados. Para poder ser eficientes y mantener una coherencia general, las actividades de rehabilitación deben ser definidas a escala de todo el río. En ese sentido, los esquemas de gestión generales son útiles para armonizar las escalas espaciales y temporales y para definir las acciones prioritarias entre los actores.

También es esencial que los representantes locales y sus organizaciones estén involucrados en los proyectos locales, tanto para ayudar en la adaptación de la gestión global a un nivel local como para encontrar un buen comunicador para los actores implicados. Es importante además crear un proceso dinámico, comenzando con una buena definición colectiva de los objetivos antes de las acciones, y seguido por la definición de un seguimiento adaptable para todo el río. Los primeros casos de rehabilitación podrían servir como zonas piloto, beneficiándose de una evaluación más intensa por medio de un procedimiento de control de antes-después. En el campo de la ciencia aplicada, estos experimentos suponen un desafío. Aún así, podría decirse que la mayoría de las preguntas han sido resueltas en las dos últimas décadas.

### **Selección del método correcto**

Una de las dificultades principales a la que se enfrentan los gestores es la selección de la metodología que será utilizada de entre más de 100 métodos desarrollados mundialmente (Tharme, 2004). Afortunadamente, todos estos métodos pueden ser agrupados en tres familias principales: metodologías hidrológicas, hidráulicas, e hidrobiológicas o de simulación de hábitats (por ejemplo IFIM, Bovee, 1982). Las primeras dos familias no incorporan las consideraciones biológicas de manera explícita. En el caso del río Roina, una metodología adaptada de microhábitat acabó por constituir la base de la evaluación. No obstante, podría argumentarse que no es posible adoptar la misma estrategia en ríos o países donde el conocimiento biológico no es avanzado, otros podrían argumentar que estas metodologías consumen demasiado tiempo, son caras de aplicar y requieren un alto nivel de experiencia y conocimiento.

### **Nuevas metodologías**

Aunque estos argumentos podrían aplicarse a los enfoques estándares, también es posible aplicar versiones simplificadas de la metodología de microhábitats; ésto se demuestra en la experiencia adquirida en el río Roina y en más de 100 cursos de agua, conducida por Lamouroux y coautores (Lamouroux and Capra, 2002; Lamouroux and Souchon, 2002). El principio de la simplificación está basado en la relación entre la geometría hidráulica de un curso de agua o segmento de río y la distribución estadística de los parámetros de los hábitats, como la velocidad y la profundidad. Estas propiedades explican algunas conexiones interesantes entre los indicadores de hidráulica como los números adimensionales de Fraude o de Reynolds y las características ecológicas de las comunidades de peces.

Otro enfoque interesante es el uso de los rasgos ecológicos de la biota. Este enfoque permite simulaciones de situaciones en las que las preferencias individuales del hábitat no están descritas para las especies en cuestión, mejorando así la aplicación de los modelos existentes a un gran número de cursos de agua y tipos de ríos. Por otro lado, los avances logrados en los enfoques de las otras dos familias de métodos de evaluación de caudales (métodos hidrológicos e hidráulicos) podrían servir como complemento para mejorar la definición de caudal ambiental. Por ejemplo, pueden haber mejoras en términos de regímenes estacionales de caudales o de eventos hidráulicos (ej., crecidas para mantener el hábitat sano o para eliminar el sedimento fino que bloquea el sustrato).

Los nuevos retos se relacionan con la extensión de la resolución biológica del modelo de microhábitats, como la biota de biofilm, macrófitos y macroinvertebrados. En todos los casos, los avances esperados necesitan suficiente información de buena calidad; en particular, es esencial

construir series de largo plazo para poder determinar la influencia de los caudales alterados de entre las diferentes señales que podrían ser responsables del dinamismo de la biota. El futuro nos dirá si la fuerte tendencia hacia la rehabilitación de los ríos, traducida en el presente caso por la modificación de los caudales mínimos, indica el comienzo de un movimiento hacia la sostenibilidad o simplemente una corrección terapéutica de un sistema altamente modificado.

## **Referencias**

- Bovee, K. D. (1982). A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Fort Collins, Colorado, U.S.D.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services: 248 p.
- Lamouroux, N. (1997). Hydraulique statistique et prédiction de caractéristiques du peuplement piscicole : modèles pour l'écosystème fluvial. Lyon, Thèse Université C. Bernard Lyon I: 50 p.
- Lamouroux, N. y H. Capra (2002). "Simple predictions of instream habitat model outputs for target fish populations." Freshwater Biology **47**(8): 1543-1556.
- Lamouroux, N. y Y. Souchon (2002). "Simple predictions of instream habitat model outputs for fish habitat guilds in large streams." Freshwater Biology **47**(8): 1531-1542.
- Lamouroux, N., H. Capra, Pouilly, M., Souchon, Y. (1999a). "Fish habitat preferences in large streams of southern France." Freshwater Biology **42**(4): 673-687.
- Lamouroux, N., J. M. Olivier, Persat, H., Pouilly, M., Souchon, Y., Statzner, B. (1999b). "Predicting community characteristics from habitat conditions: fluvial fish and hydraulics." Freshwater Biology **42**: 275-299.
- Lamouroux, N., E. Doutriaux, Terrier, C., Zylberblat, M. (1999c). "Modélisation des impacts de la gestion des débits réservés du Rhône sur les peuplements piscicoles." Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture **352**: 45-61.
- Mathur, D., W. H. Bason, Purdy, E.J., Silver, C.A. (1985). "A critique of the Instream Flow Incremental Methodology." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **42**: 825-831.
- Pouilly, M. (1994). Relations entre l'habitat physique et les poissons des zones à cyprinidés rhéophiles dans trois cours d'eau du bassin rhodanien : vers une simulation de la capacité d'accueil pour les peuplements. Lyon, Thèse Université C. Bernard Lyon I: 256 p.
- Pouilly, M., Y. Souchon, Le Coarer, Y., Jouve, D. (1996). Methodology for fish assemblages habitat assessment in large rivers. Application in the Garonne river (France). Second IAHR Symposium on Habitats Hydraulics, Ecohydraulics 2000, june 1996, Volume B, Habitat modeling, Québec, INRS-Eau.
- Souchon, Y. y F. Trocherie (1990). Technical aspects of French legislation dealing with freshwater fisheries (june 1984): "fisheries orientation schemes" and "fishery resources management plans". Management of Freshwater Fisheries. W. L. T. Van Densen, B. Steimetz and R. H. Hughes. Göteborg, Sweden, Wageningen, FAO. **1**: 190-214.
- Stalnaker, C. B., R. T. Milhous, Bovee, K.D. (1989). "Hydrology and hydraulics applied to fishery management in large rivers." Canadian Special Publication Fisheries Aquatic Sciences **106**: 13-30.
- Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. Rivers Research Applications **19**: 397-441.
- Zylberblat, M. (1991). Le Rhône, un Equilibre à retrouver - Schéma de vocation piscicole du fleuve Rhône , Ministère de l'environnement, Délégation de bassin RMC, Service de la Navigation Rhône-Saône, juillet 1991, Rapport de synthèse, 7 vol. + annexes.

### **Páginas Web**

Agence de l'eau (Agencia del Agua) Rhône-Méditerranée-Corse <http://www.eaurmc.fr/>

Compagnie Nationale du Rhône (CNR – Compañía Nacional del Roina)  
<http://www.cnr.tm.fr/fr/cnr/actu.htm>

Ministerio de Ecología y Desarrollo Sostenible <http://www.environnement.gouv.fr/>

Seguimiento científico de la rehabilitación del Roina (en francés)  
<http://www.graie.org/zabr/sites/site5.htm>

Las referencias de Lamouroux, Souchon están disponibles en formato pdf en  
<http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/publications.html>