

Evaluación y Provisión de caudales ambientales en los cursos de agua mediterráneos

- Conceptos Básicos, Metodologías y Práctica emergente

Estudio de caso mediterráneo

Caudales Ambientales y la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: estudio de caso del río Vomano

Autor

Stefano MARAN

Departamento Ambiental, CESI, Italia
maran@cesi.it

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:



Caudales Ambientales y la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: estudio de caso del río Vomano

1 INTRODUCCIÓN

La legislación italiana más reciente considera los caudales ambientales en el contexto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), definida aquí como “un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social de una manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”¹. El caudal ambiental es considerado un principio básico para el desarrollo sostenible y la búsqueda de nuevas formas de conciliar los múltiples usos conflictivos del agua con la protección ambiental. Un análisis multicriterio² constituye una herramienta importante para poner en práctica este enfoque en el proceso de la asignación de aguas, en el cual la evaluación de caudales permite cuantificar los criterios ambientales.

El concepto de Caudales Mínimos fue originalmente introducido en Italia a finales de la década de los 70 con un propósito específico: proteger la fauna acuática aguas abajo de las tomas de aguas del río. Desde entonces se han desarrollado diferentes aplicaciones e interpretaciones que extienden el alcance del concepto original. En algunas regulaciones, el caudal mínimo es considerado, junto con otras medidas, un instrumento para alcanzar la calidad del agua deseada en el marco del Plan Regional de Gestión y Protección de Aguas.

Actualmente los caudales ambientales son descritos en la legislación nacional italiana en términos generales, como leyes de referencia. Las normas actuales consideran los caudales ambientales como el caudal mínimo a mantenerse aguas abajo de los desvíos de agua. Los Organismos de Cuencas deben establecer reglas específicas para los ríos bajo su responsabilidad, que eventualmente deberán ser reconocidas por las Autoridades Regionales en sus Planes de Protección de los Recursos Hídricos, en los cuales se podrá añadir especificaciones adicionales (ej., diferentes requisitos de caudales mínimos para determinados usos).

Este estudio de caso describe un esquema piloto para integrar las evaluaciones de caudales ambientales en las herramientas de GIRH en el río Vomano en Italia central. Los caudales fluviales de la cuenca del Vomano están altamente regulados, principalmente para la generación de energía hidroeléctrica. Este caso muestra cómo los objetivos ambientales fueron incorporados en un análisis multicriterio para desarrollar un plan de gestión de los recursos hídricos y políticas de regulación de caudales. Generalmente el mayor desafío en estas circunstancias consiste en definir un objetivo ambiental que pueda ser computado bajo diferentes escenarios – uno que es inaccesible a experimentaciones y mediciones; el enfoque utilizado en este estudio supera este problema al utilizar la metodología de caudales mínimos para definir el objetivo ambiental combinándolo con técnicas de Redes Bayesianas. De este modo, al utilizar formulaciones multicriterio fue posible involucrar a los actores de forma explícita en las negociaciones de caudales así como recomendar un régimen de caudales ambientales que reflejara tanto los puntos de vista de las partes interesadas como los análisis científicos utilizando la mejor información disponible.

¹ Global Water Partnership 2000. *Towards water security: a framework for action*. GWP, Estocolmo, Suiza.

² Ver por ejemplo, *Guidelines for the allocation and management of water for maintaining the ecological functions of wetlands*, adoptadas en la Resolución VIII.1 de COP8 de la Convención de Humedales (Ramsar)

2 DESARROLLO DEL MARCO LEGISLATIVO ITALIANO

Desde finales de los años 70 se reconoció en Italia la importancia de la provisión de descarga de caudales aguas abajo de las diversiones de agua para proteger el ecosistema acuático, momento en que las autoridades locales establecieron normas para los operadores de las presas. Estas regulaciones fueron inicialmente reconocidas en las áreas alpinas donde la explotación de los recursos hídricos es elevada, especialmente para la generación de energía hidroeléctrica. La causa principal de que se tomaran acciones a nivel local fue el aumento de la preocupación pública por la protección ambiental. Estas normas se basaron en el concepto de Caudales Mínimos (MIF) para proteger la fauna acuática y apuntaban a garantizar un caudal similar al natural. Los primeros métodos hacían referencia a alguna medida hidrológica (como el índice de sequía o el caudal específico) sin considerar las condiciones típicas del lugar; su principal ventaja consistía en la simplicidad de los métodos, sin embargo tenía varias limitaciones importantes, como por ejemplo:

- El cumplimiento de las obligaciones de MIF recaía únicamente sobre las nuevas licencias de diversiones o abstracciones de aguas.
- Estas normas se aplicaban solamente sobre una pequeña parte del territorio nacional.
- La cuantificación de los caudales mínimos fue arbitraria.
- Se pretendía proteger un componente ecológico (la fauna acuática) utilizando un enfoque puramente hidrológico (ej., métodos de índices directos o de análisis de datos hidrológicos).

La última desventaja demuestra la falta de referencias de estos métodos a las respuestas típicas de la especie o a las condiciones típicas del lugar (como la forma de la sección del río, el sustrato, y otras variables que contribuyen a caracterizar el hábitat local). Aunque casi todas las regulaciones permitían a las autoridades locales aumentar los caudales mínimos descargados aguas abajo de las diversiones de agua a fin de incluir en el análisis los factores típicos del lugar, raras veces ocurría.

Desde los años 80 las actividades en este campo han despertado el interés público motivando así el desarrollo de investigaciones científicas y actividades en el contexto regulatorio. Al igual que en otros países, los estudios fueron realizados para cuantificar los caudales mínimos con una base científica y para estimar los beneficios reales de un nuevo régimen de descargas de agua. En particular, la metodología de microhábitats, que simula el efecto de una reducción de caudales en el hábitat local de especies específicas de peces, fue aplicada en varios lugares del país; este trabajo fue llevado a cabo dentro de los programas de investigación como un acción conjunta promocionada por las autoridades locales y los usuarios del agua.

Uno de los resultados de esta investigación fue el establecimiento de un nuevo conjunto de normas regionales para la cuantificación de los caudales mínimos que debían ser cumplidas en los nuevos planes de explotación de los recursos hídricos. Sin embargo, debido a que no se especificó claramente quién sería el responsable de emitir estas normas, tanto los Organismos de Cuencas como los gobiernos regionales adoptaron varias fórmulas. Con el objetivo de facilitar su aplicación, las normas fueron formuladas una vez más como expresiones hidrológicas sencillas; no obstante, tenían ciertos coeficientes típicos de la cuenca, y en algunos casos, coeficientes correctores que incluían factores adicionales (ej., valor natural, calidad del agua, interacciones con el agua subterránea, etc.) Aún así, la cuantificación de estos coeficientes en relación a las condiciones locales casi nunca se llevó a cabo.

Por ejemplo, en 1992 el Organismo de Cuenca del Po adoptó la siguiente fórmula para una cuenca hidrográfica bajo su responsabilidad (Valtellina, en el norte de Italia) después de que sucedieron algunos eventos importantes debido a la inestabilidad hidrogeológica del área. La fórmula indicó que los caudales mínimos debían ser por lo menos:

$$MIF = 1.6 P A Q N \text{ (l/s/km}^2\text{)}$$

Donde: P es el factor de precipitación (que varía de 1.0 a 1.8); A indica la altitud promedio de la cuenca receptora; Q representa las características típicas del lugar y N el valor natural del tramo del río que está siendo analizado.

El factor de precipitación fue cuantificado mientras que otros fueron dejados sin especificar. La fórmula debía ser aplicada a los proyectos nuevos de explotación de los recursos hídricos; entre tanto, para las diversiones existentes, las descargas de agua experimentales y provisionales fueron determinadas en base a un acuerdo realizado entre las autoridades locales y los productores de energía hidroeléctrica que consistía en detectar y medir las posibles mejoras ambientales.

La regulación adoptada en 1995 por la Región de Piemonte (en el noroeste de Italia) debía ser aplicada a nuevos desvíos de aguas y proyectos de renovación. Se basa en Q_{355} , esto es, el caudal no excedido más de 355 días por año; esto significa que, en promedio, el caudal natural es menor que el valor de Q_{355} únicamente durante 10 días cada año. Aunque este índice puede ser derivado solamente en las estaciones de aforo, la norma contiene un proceso de racionalización para calcular el valor de Q_{355} en las secciones del río donde no se dispone de las series hidrométricas de tiempo.

El caudal mínimo se obtiene entonces aplicando tres coeficientes correctores multiplicativos al Q_{355} natural, donde:

- K_A , que va de 0.7 a 1.0, es utilizado para explicar las diferentes sensibilidades ambientales de la sección del río de interés
- K_B , que va de 0.25 a 1.0, proporciona una aplicación temporal gradual de la norma (empezando en 1995 hasta 2005, cuando la norma debía ser aplicada completamente)
- K_C , que va de 1.0 a 1.5, explica los diferentes niveles de protección de acuerdo al valor natural del área de interés (ej., áreas protegidas)

Un aspecto interesante y poco común de esta norma es la posibilidad de determinar, en algunos casos, una variable de tiempo de los caudales mínimos. La fórmula que define la modulación temporal es:

$$MIF_t = \begin{cases} Q & \text{cuando } Q < MIF \\ MIF + 0.1(Q - MIF) & \text{cuando } Q \geq MIF \end{cases}$$

Donde: Q es el caudal natural, MIF es el caudal mínimo definido anteriormente, y MIF_t es la variable de tiempo de MIF. Según conocimiento del autor, la modulación temporal de MIF no ha sido aplicada nunca, probablemente debido a la complejidad de su aplicación práctica.

A pesar de que estos enfoques superaron algunas de las fallas existentes en las primeras normas, aún presentaban limitaciones; por ejemplo, la falta de procedimientos específicos para la cuantificación de los coeficientes típicos del lugar hizo difícil su aplicación. Así, la estimación de caudales mínimos continuó pasando por alto las condiciones locales típicas así como la morfología del tramo del río sujeto a la reducción de caudales. Adicionalmente, debido a que estas normas se aplicaban únicamente a las licencias nuevas, la difusión de las descargas de caudales con fines de protección ambiental se vio limitada.

Al mismo tiempo, la protección del río a través de la provisión de caudales reservados aguas abajo de las tomas de aguas fue reconocida en algunas Leyes Nacionales, desde la Ley de Protección del Suelo

de 1983 que introdujo por primera vez los Organismos de Cuencas en Italia, a la Ley de Protección de Aguas (1999) que reorganizó todo el marco normativo italiano para la protección de los cuerpos de agua. En particular, la Ley de Protección de Aguas introdujo conceptos básicos pero importantes en la legislación ambiental italiana, como son:

- La integración de aspectos cuantitativos y cualitativos.
- La cuenca hidrográfica como unidad básica de la gestión de aguas.
- La formulación de los objetivos ambientales de calidad del agua en términos de criterios ecológicos.

Cuadro 1: Evolución de la definición de caudales mínimos en diferentes regulaciones italianas ^(*)

“un caudal residual mínimo para asegurar la vida piscícola” (1978)

“el caudal necesario para la vida en los ríos de modo que el equilibrio del ecosistema no se vea afectado” (1994)

“el caudal que debe mantenerse aguas abajo de los desvíos de aguas que, aunque casi crítico, sirva para mantener las condiciones instantáneas vitales de funcionalidad y calidad del ecosistema” (1995)

“la protección cuantitativa de los recursos hídricos contribuye al logro de los objetivos de calidad a través de la planificación de los usos para evitar impactos en la calidad del agua y permitir una explotación sostenible de la misma” (1999)

“el caudal que debe mantenerse aguas abajo de las diversiones de aguas para mantener las condiciones vitales de funcionalidad y calidad del ecosistema” (2002)

^(*) Traducciones al inglés del autor

Vale la pena recalcar la declaración de esta Ley según la cual los caudales ambientales deben contribuir a alcanzar los objetivos de calidad del agua. Además de estos principios, la norma prescribe que todas las licencias de explotación de los recursos hídricos deben ser revisadas para establecer las descargas de caudales ambientales correspondientes. Sin embargo, la aplicación de muchos principios fue confiada a las normas y regulaciones que debían ser emitidas por las autoridades locales (principalmente los Organismos de Cuencas y las Autoridades Regionales), por lo que resulta difícil estimar su efecto práctico al momento.

Como es aparente considerando los tres puntos mencionados anteriormente, el enfoque básico de esta Ley es similar en muchos

aspectos a la Directiva Marco de Aguas de la Unión Europea que fue aprobada un año después, en el año 2000.

Después de la aprobación de la Ley de Protección de Aguas de 1999, algunos Organismos de Cuencas establecieron nuevos requisitos de caudales mínimos (como el Organismo de Cuenca del río Po, la más grande de Italia) mientras que otros todavía están desarrollándolos. Estos criterios son usualmente el resultado de estudios extensos y, al igual que en el pasado, son expresados como una fórmula hidrológica, posiblemente corregida por coeficientes que incluyen diferentes aspectos ambientales.

En lo que respecta a su aplicación a las licencias de agua existentes, se planea una aplicación gradual de las normas; por ejemplo, las normas establecidas por el Organismo de Cuenca del Po tienen los siguientes objetivos intermedios:

- Para el año 2008, todas las tomas de aguas deberán descargar por lo menos el caudal mínimo “hidrológico”, esto es, sin la aplicación de los factores correctores.
- Para el año 2016, el caudal mínimo “hidrológico” deberá ser ajustado con la aplicación de los factores correctores (en caso de ser necesario).

Considerando estos desarrollos, vale la pena recalcar la transformación gradual de los caudales mínimos comenzando por un índice hidrológico puro hasta convertirse en un instrumento para la protección de todo el ecosistema fluvial (ver Cuadro 1). También es importante observar el incremento de los coeficientes básicos de la parte hidrológica de la fórmula propuesta, por ejemplo, si la atención se restringe a las áreas alpinas, el caudal típico para los requisitos de caudales mínimos ha aumentado desde 1.6 – 2.0 l/s/km² con las primeras normas hasta 4.0 – 6.6 l/s/km² con las regulaciones más recientes...

3 EL SISTEMA HÍDRICO DEL RÍO VOMANO

El río Vomano, localizado en Italia central, tiene una cuenca hidrográfica de 782 km². Se origina en el macizo del Gran Sasso a 2,155 metros sobre el nivel del mar y fluye 68 km en dirección este hasta desembocar en el Mar Adriático. En el tramo de Ponte Vomano (136 m s.n.m., cerca de Villa Vomano), se ha observado un caudal mínimo ordinario de 5.6 m³/s que puede ser comparado a un caudal máximo ordinario de 19.2 m³/s. El periodo de estiaje ocurre usualmente en Agosto (aproximadamente 4.5 m³/s) mientras que el periodo de caudales máximos ocurre en Abril con la combinación del deshielo y una elevada precipitación primaveral.

La calidad del agua del río Vomano ha sido evaluada como buena, especialmente en las cuencas superiores; el Informe de Calidad del agua y Distribución de Peces de 2002 clasificó 12 de las 16 estaciones como “no afectadas” de acuerdo al Índice Biótico Ampliado, sin embargo, la estación más baja, cerca de la desembocadura del Vomano en el Mar Adriático, fue clasificada como “contaminada”. Adicionalmente se identificaron varios lugares de valor natural extraordinario. Los salmónidos (trucha) representan la especie de pez más valiosa en el área, encontrándose en las cuencas altas y medias del río; en la parte baja, los ciprínidos están reemplazando a los salmónidos gradualmente. El establecimiento de dos lugares de importancia comunitaria (SCI) reconoce la presencia de ciprínidos de gran interés científico.

Existen algunas áreas protegidas en la cuenca hidrográfica del Vomano, siendo la más importante el Parque Nacional del *Gran Sasso e dei Monti Della Laga* que cubre una superficie de 150,000 hectáreas y es uno de los más grandes de Italia. El parque incluye tres grupos de montañas: la cadena del Gran Sasso de Italia, el macizo del Lago y la Montaña Gemelli; tiene además el pico más alto de los Apeninos, el Corno Grande (2,912 metros), y el único glaciar en los Apeninos, el Calderone que es el glaciar más meridional de Europa. El Parque está incluido entre las Zonas de Especial Protección para las Aves de Italia (ZEPA), establecida de acuerdo a la Directiva de Aves de la Unión Europea (79/409/CEE), y en él encontramos además dos lugares de importancia comunitaria (establecidos de acuerdo a los contenidos de la Directiva Europea de Hábitats, 92/43/CEE). Ambos SCI fueron seleccionados por la elevada calidad del agua del río y del hábitat así como por el valor del paisaje natural; ambos lugares representan el límite sur del área de difusión para algunas especies de peces (ej., *Chondrostoma genei*).

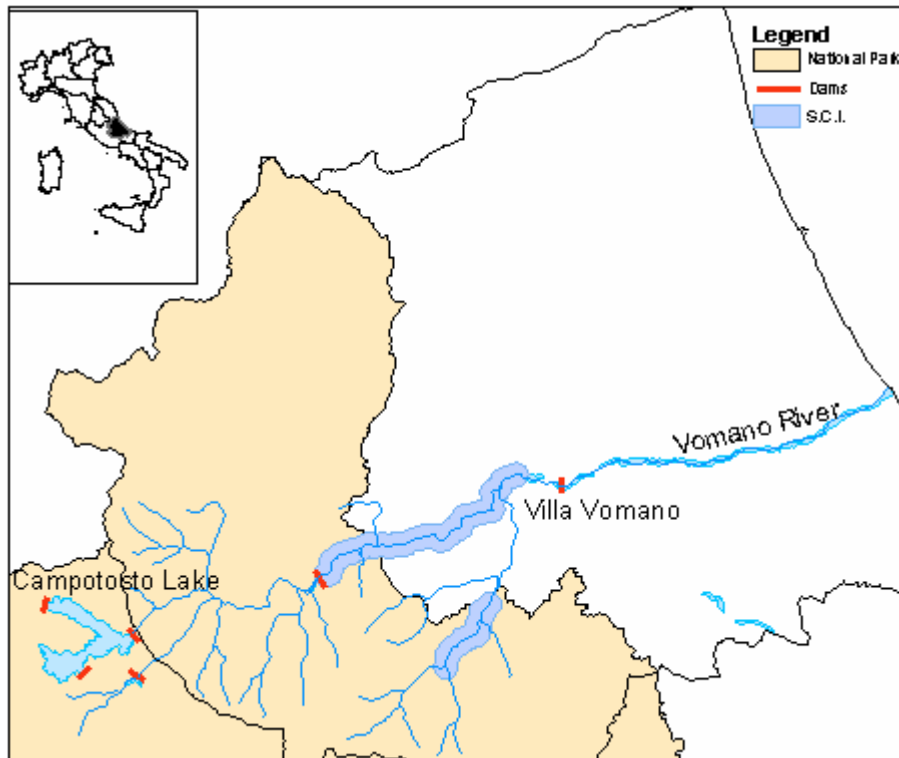


Figura 1: El sistema del río Vomano

El régimen hidrológico del Vomano ha sido modificado fuertemente por una gran cantidad de estructuras hidráulicas y obras públicas; la construcción del túnel de la autopista a través del macizo del Gran Sasso alteró un gran acuífero de la región disminuyendo así la superficie piezométrica de casi 600 m que afecta la descarga de varios manantiales que fluyen desde el Gran Sasso. Además, se identificaron varios problemas ambientales relacionados a la gestión de aguas en la cuenca del Vomano, como por ejemplo:

- Erosión de la ribera del río y pérdida de hábitats causada por *hydropeaking*, que es la variación pronunciada de caudales debido a la modulación diaria de la producción hidroeléctrica;
- Impactos de los desvíos de aguas en las áreas protegidas; y,
- Mezcla de aguas entre las diferentes cuencas.

Todos estos problemas están relacionados a los usos actuales de los recursos hídricos en el área (energía hidroeléctrica, riego y suministro de agua potable).

Las plantas de producción hidroeléctrica del río Vomano generan 700 MW, por lo que son de gran importancia en la red regional de energía. El primer elemento de este sistema es el embalse del Lago Campotosto a 1,317 m s.n.m., y que se encuentra encerrado por tres presas y está localizado entre dos cuencas. Dos embalses artificiales adicionales son utilizados también para la generación de energía hidroeléctrica. La capacidad total de estos tres embalses es de aproximadamente 220 millones m³ de agua (de los cuales 217 millones m³ provienen exclusivamente del Lago Campotosto) comparados con los 509 millones m³ anuales que fluyen en la sección de Villa Vomano (136 m s.n.m.), aguas abajo de las principales plantas hidroeléctricas.



Figura 2: El río Vomano en la estación de Senarica (a 610 m s.n.m.)³

El agua del Lago Campotosto y otros embalses producen energía eléctrica en cuatro estaciones hidroeléctricas principales, dos de las cuales funcionan además como estaciones de bombeo para transferir agua a un embalse río arriba con fines de almacenamiento.

Actualmente la única descarga de agua de los conductos hidráulicos es en Montorio al Vomano, en el tramo medio del río, donde se mantiene un caudal de $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Después de una *caída/desnivel* de 1,200 m pasando por las cuatro estaciones hidroeléctricas, el agua retorna eventualmente al río en Villa Vomano, donde se desvía una vez más para abastecer un distrito de regadío.

Como es de esperarse con un marco regulatorio que da prioridad al consumo humano por encima de los diferentes usos posibles, el suministro de agua potable a los asentamientos urbanos es el uso consuntivo de agua más importante en el área. Debido a que hasta ahora no ha habido problemas de escasez de agua, la explotación de los recursos hídricos no ha despertado grandes conflictos públicos, sin embargo, nuevas peticiones (ej., suministro de agua potable) y las diferentes necesidades actuales demandan ahora un enfoque de gestión más desarrollado. Además la conciencia pública sobre las implicaciones de la protección ambiental y el desarrollo sostenible ha incrementado el interés local en el marco regulatorio.

Actualmente la región de Abruzzo está planificando algunas actividades para poner en práctica las recomendaciones nacionales sobre la definición del Plan Regional de Protección de Aguas y, en este marco, el criterio para la cuantificación de los caudales reservados con fines ambientales. Los problemas más relevantes están relacionados sobretodo a las diversiones de aguas para la producción hidroeléctrica; las zonas más afectadas parecen ser las áreas protegidas en el Parque Nacional, la zona de truchas (especialmente el tramo del Vomano aguas abajo de la presa de Provvidenza) y los dos lugares de importancia comunitaria.

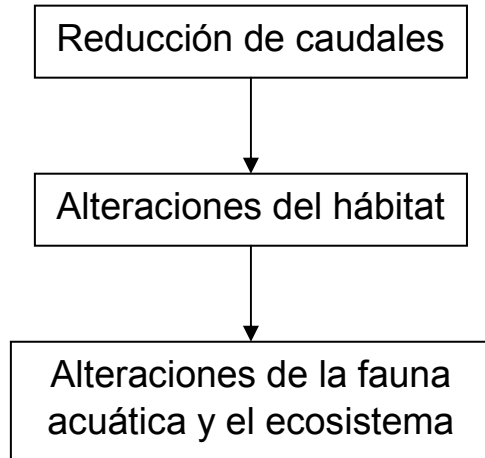
³ Informe Regional de la Calidad del Agua y la Distribución de peces de 2002

Cuadro 2: Eventos y actividades importantes

1934:	Se proponen el desarrollo hidroeléctrico de la cuenca del río Vomano y la construcción de las presas del Lago Campotosto.
1939:	Comienza la construcción de las presas que formarán el lago Campotosto.
1949:	Comienza la producción hidroeléctrica en la planta de Provvidenza (aguas abajo del Lago Campotosto).
1983:	Se introducen los Organismos de Cuencas en Italia.
1999:	Se aprueba la Ley de Protección de Aguas italiana.
2000:	La Comisión de la Unión Europea aprueba la Directiva Marco de Aguas.
Presente:	La región de Abruzzo está planificando su Plan Regional de Protección de Aguas, y está desarrollando criterios para la estimación de caudales ambientales.

4 METODOLOGÍA

La forma tradicional de hacer frente a los impactos ambientales de las diversiones de aguas es la definición de los requisitos de los caudales mínimos. Como se discute previamente, este enfoque tiene algunas limitaciones, especialmente en lo que se refiere a su aplicación en GIRH. Para superar estas dificultades, se dio inicio a un programa de investigación para probar un nuevo enfoque en el marco del Sistema de Investigación del Sector eléctrico (financiado por el Ministerio italiano de Actividad Productiva); dentro del cual, el río Vomano fue seleccionado como cuenca de estudio. El principal objetivo era desarrollar un índice relacionado a los caudales mínimos que ayudaría a definir el rendimiento de varias alternativas de gestión. De esta manera, sería posible incluir de manera explícita el objetivo ambiental en las metodologías multicriterio utilizadas para desarrollar un plan de gestión integrada de los recursos hídricos.



El punto de partida de esta actividad corresponde al enfoque utilizado en la metodología de microhábitats para la estimación de los requisitos de caudales ambientales, pero no se limita estrictamente a los caudales mínimos. La metodología de microhábitats adopta un enfoque determinado para simular la respuesta de los peces a los desvíos de aguas, considerando la relación causal que determina la influencia de la diversión de caudales en la vida acuática. Una simulación de microhábitats (a menudo puesta en práctica a través del programa PHABSIM) consiste en un proceso de dos pasos: en el primero se utiliza una simulación hidráulica para computar la respuesta del microhábitat a la variación de caudales; en el segundo paso

se utilizan una serie de curvas de preferencia para computar la idoneidad de las condiciones del nuevo hábitat. El resultado es un índice llamado Superficie Utilizable Ponderada (WUA), con la dimensión de un área (m^2), que representa un área ponderada para la preferencia de los peces, y como tal no es una cantidad física o medible, sino que debe ser considerada como un índice.

La función de WUA vs el caudal puede ser considerada como la función de conversión que transforma la información hidrológica en biológica. Actualmente, el resultado principal de la aplicación de la metodología de microhábitats no es la definición de un valor de caudales mínimos sino una estimación de la respuesta del ecosistema acuático a diferentes niveles de caudales. En términos más generales, el enfoque de microhábitats es apropiado cuando se requiere estimar el efecto de una perturbación en un hábitat específico del río. Estas características hacen que el enfoque sea adecuado para el desarrollo de un índice de rendimiento ambiental de varias políticas de la gestión del agua.

En este enfoque piloto desarrollado en CESI las series de tiempo naturales y reguladas son consideradas a través de las curvas de duración de caudales respectivas, mientras que las curvas de “WUA vs los caudales” permiten la conversión de los factores hidrológicos en respuestas biológicas. Esto hace posible derivar una curva de duración WUA a partir de una curva de duración de caudales, la cual es fácilmente disponible. Finalmente el coste ambiental de una política de gestión de aguas es definida como la distancia apropiada entre las curvas de duración WUA naturales y reguladas (Figura 3). El índice de rendimiento se indica aquí como un “coste ambiental” porque mientras más alto es el valor, peores son los resultados del impacto ambiental; esto no implica ninguna conversión monetaria del impacto ambiental.

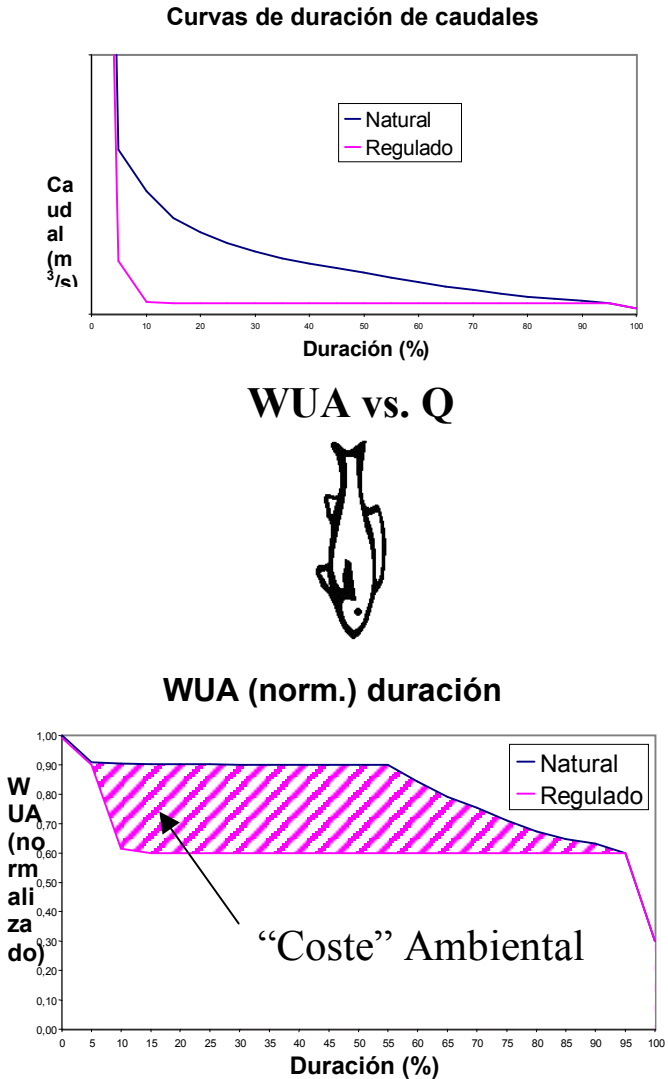


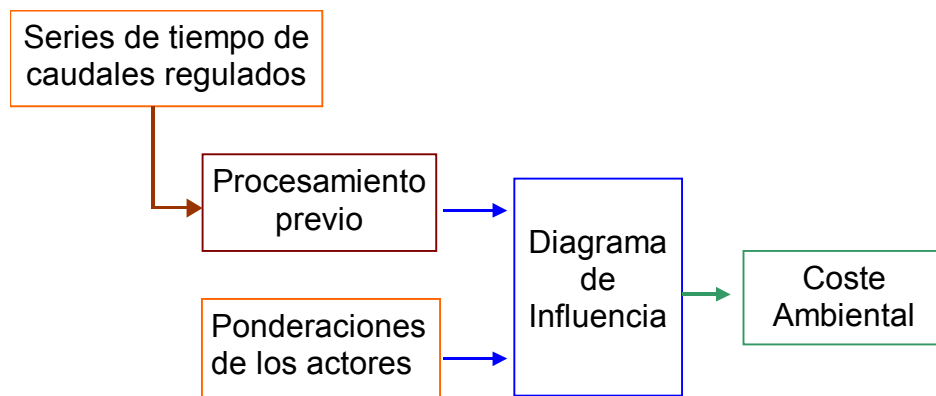
Figura 3: Derivación del “coste ambiental” a partir de las curvas de duración de caudales y la función de WUA vs. Q

La metodología previa y la formulación del índice fueron puestas en práctica utilizando Redes Bayesianas (BBN) y diagramas de influencia en el marco del proyecto de la UE de Gestión del Medio Ambiente y sus recursos utilizando técnicas integradas (MERIT por sus siglas en inglés). El objetivo del proyecto es desarrollar una metodología para la gestión integrada de los recursos hídricos que pueda ser aplicada a escala de la cuenca de recepción. Un aspecto característico del proyecto es el uso

de redes bayesianas para la aplicación práctica de dicha metodología en una herramienta de gestión genérica que esta siendo aplicada en cuatro estudios de caso en diferentes países de la Unión Europea. El lugar seleccionado en Italia es la cuenca del río Vomano, en la cual se plantearon los siguientes objetivos:

- Desarrollar una herramienta para la cuantificación del “coste ambiental” de una política de gestión.
- Desarrollar una herramienta que permita a los actores asignar sus propias ponderaciones.
- Demostrar el uso de la técnica de Redes Bayesianas en la gestión integrada de los recursos hídricos.

En BBN, el sistema está representado por un conjunto de nodos conectados entre sí para representar las relaciones de causa y efecto dentro del mismo. Una vez que la red está completa, se puede evaluar el impacto de una decisión al ingresar la acción en el nodo correspondiente, de este modo se puede obtener la evaluación del impacto sobre todo el sistema. La siguiente figura representa un bosquejo de la estructura de nuestra herramienta.



La entrada de datos está dada por las series de tiempo de los caudales regulados proporcionadas por una herramienta de optimización y simulación apropiada. En esta aplicación el aporte será facilitado por una actividad paralela llevada a cabo por Politecnico di Milano, en la cual algunas políticas de la gestión de aguas fueron identificadas utilizando un enfoque multiobjetivo y un programa dinámico estocástico⁴. El procesamiento previo es necesario para computar una curva de duración de caudales a partir de las series de tiempo de caudales y asignar los parámetros correctos para la red bayesiana. La disponibilidad de curvas WUA constituían un punto crítico ya que son un elemento clave en el procedimiento al hacer posible la conversión de información hidrológica en información biológica. Además, las curvas WUA son típicas del lugar y su determinación necesita estudios intensivos que no han sido llevados a cabo todavía. Debido a que las curvas reales no estaban disponibles para ser utilizadas en esta aplicación, tuvimos que introducir curvas realísticas (pero no reales) en el diagrama de influencia.

El otro aporte a la estructura está dado por las ponderaciones asignadas por las partes interesadas. El resultado es el coste ambiental de la política de gestión que produjo los caudales regulados.

⁴ Soncini-Sessa, R., A. Castelletti, y E. Weber, 2002. Participatory decision making in reservoir planning, Plenary lecture at iEMSs 2002, Integrated Assessment and Decision Support 24-27 June 2002, Lugano, Suiza.

Al usar BBN, se desarrolló una herramienta que permite asignar un costo a una política de gestión predeterminada. Esta herramienta se ocupa del problema de la preservación de los hábitats piscícolas a través de un índice ambiental en lugar de caudales mínimos; su principal ventaja radica en que permite a los actores asignar sus propias ponderaciones en una forma simple y evaluar así el rendimiento ambiental de una política de gestión de aguas de acuerdo a sus propios puntos de vista. Esta opción sin embargo, refleja el hecho de que los diversos grupos existentes perciben el valor ambiental de diferente manera.

En la aplicación piloto de Vomano, algunos actores (autoridades locales, representantes del Parque Nacional y pescadores del río) fueron directamente involucrados en el desarrollo de la herramienta y la determinación de los diferentes grupos de ponderaciones. Actualmente, el trabajo está en progreso y la retroalimentación de las partes interesadas está siendo recopilada para evaluar la efectividad del enfoque. En general, un objetivo del proyecto MERIT será desarrollar técnicas para facilitar la participación completa de los actores en la construcción de BBN y, finalmente, en el proceso de la toma de decisiones.

5 DESARROLLO FUTURO Y CONCLUSIONES

A pesar de que la gestión integrada de los recursos hídricos es reconocida ampliamente como un enfoque básico para lograr el desarrollo sostenible, su aplicación práctica plantea algunos retos difíciles. Uno de estos es la conversión del objetivo ambiental en una medida cuantitativa bien definida que pueda ser utilizada en modelos matemáticos y herramientas de optimización con el fin de evaluar el efecto de diferentes políticas de la gestión del agua. Estos resultados proporcionarían información para las negociaciones y políticas de requisitos de caudales ambientales así como para la adopción de las medidas necesarias para asegurarlos.

En el estudio de caso del río Vomano, se desarrolló un objetivo ambiental para cuantificar el rendimiento ambiental de las diferentes políticas de gestión. Éste se basó en métodos desarrollados originalmente en el marco de las metodologías de evaluación de caudales mínimos y ha sido puesto en práctica utilizando redes bayesianas, *donde se demostró una aplicación preliminar al río Vomano*.

Las redes bayesianas fueron utilizadas para desarrollar sistemas de ayuda a la decisión que permitieran que los diferentes actores incorporen sus puntos de vista en la evaluación del rendimiento ambiental de una política de gestión de aguas determinada. En términos generales, la red bayesiana parece ser una herramienta efectiva para permitir la participación de los actores en el uso de sistemas de ayuda a la decisión, así como para fomentar su participación en el proceso de la toma de decisiones. Para extender el método y aplicarlo en situaciones prácticas, sería necesario llevar a cabo estudios exhaustivos, obtener respuestas reales de los hábitats fluviales a las variaciones de caudales, y completar el proceso de consulta de los actores probablemente a través de la herramienta BBN.

Adicionalmente, vale la pena señalar que este enfoque incluye solamente los aspectos ambientales relacionados al hábitat fluvial mas no todos los problemas ambientales vinculados a las diversiones de aguas en los ríos o a las variaciones del régimen hidrológico. Para incluir los aspectos ambientales en su totalidad en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, sería necesario definir objetivos similares para cada uno de ellos.

Agradecimientos

Las actividades descritas en este documento son financiadas por el Sistema de Investigación del Sector Eléctrico del Ministerio italiano de Actividad Productiva (contrato COMPA) y la Comisión Europea dentro del marco del proyecto MERIT (Gestión de Medio Ambiente y sus Recursos utilizando técnicas integradas). Se agradecen además las discusiones con otros colaboradores del proyecto MERIT.

Páginas Web

www.regione.abruzzo.it :	Página Web de Regione Abruzzo
www.gransassolagapark.it	Página Web del Parque Nacional de Gran Sasso y Monti della Laga
www.ricercadisistema.it	Página Web de la investigación italiana en el sistema eléctrico
www.merit-eu.net	Página Web del proyecto MERIT