

**REQUERIMIENTOS PARA
IMPLEMENTAR EL CAUDAL
AMBIENTAL EN MÉXICO**

Perla Edith Alonso Eguía Lis, Ma. Antonieta Gómez Balandra
y Pilar Saldaña Fabela
(Editoras)

Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México

IMTA-Alianza WWF/FGRA-PHI/UNESCO-
Semarnat

México, 2007

338.927'72
A67

Alonso-EguíaLis, Perla Edith (ed.)
Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México / editado por
Perla Edith Alonso-EguíaLis, Ma. Antonieta Gómez Balandra y Pilar Saldaña
Fabela – Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Alianza
World Wildlife Fund/Fundación Gonzalo Río Arronte, Programa Hidrológico
Internacional-Organización de la Naciones Unidas para la Ciencia, la Educación
y la Cultura y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ©2007.
176 pp. 22.5 x 15.5 cm
ISBN 978-968-5536-96-7

1. Caudal ambiental. 2. México.

Coordinación editorial:
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Jorge Martínez Ruiz
Coordinación de Comunicación,
Participación e Información.

Marco Antonio Sánchez Izquierdo
Subcoordinación de Vinculación, Comercialización
y Servicios Editoriales.

Cuidado de edición:
Antonio Requejo del Blanco.

Diseño de portada:
Óscar Alonso Barrón.

Diagramación:
Luisa Guadalupe Ramírez Martínez.

Fotografía de portada:
Nélida Barajas.

Impresión: Andrés Cruz Rivas.

Primera edición: 2007.

D.R. © Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos
MÉXICO

ISBN 978-968-5536-96-7

Impreso en México – *Printed in Mexico*

El presente libro se deriva del Foro Nacional para la Determinación del Uso Ambiental o Caudal Ecológico en México, celebrado del 11 al 13 de junio de 2007 en el auditorio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México.

La forma sugerida para citar el libro se indica a continuación:

Alonso-EguíaLis, P. E; Ma. A. Gómez-Balandra y P. Saldaña-Fabela (eds.). 2007. *Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México*. IMTA-Alianza WWF/FGRA-PHI/UNESCO-Semarnat. Jiutepec, Morelos. 176 pp.

Directorio

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Poliopetro F. Martínez Austria
Director General

Gabriela E. Moeller Chávez
Coordinadora de Tratamiento y Calidad del Agua

María del Pilar Saldaña Fabela
Subcoordinadora de Hidrobiología y Evaluación Ambiental

Perla E. Alonso-EguíaLis
María Antonieta Gómez Balandra
Especialistas en hidráulica

ÍNDICE

PRÓLOGO

Gabriela Moeller Chávez, Ma. Antonieta Gómez Balandra,
Pilar Saldaña Fabela y Perla Alonso-EguíaLis 11

INTRODUCCIÓN A LOS CAUDALES AMBIENTALES

Perla Alonso-EguíaLis y Rebeca González Villela 15

ASPECTOS ECOLÓGICOS DE IMPORTANCIA EN LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL

Perla Alonso-EguíaLis y Patricia Moreno-Casasola 35

ASPECTOS HIDROLÓGICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS: ESTUDIO DE CASO EN CUENCAS CERRADAS

Marcelo Gaviño, Alfonso Gutiérrez y Jesús López de la Cruz 61

FACTORES SOCIALES DE RELEVANCIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN MÉXICO

Jorge Martínez Ruiz, Daniel Murillo Licea y
Marco A. Sánchez Izquierdo 79

ASPECTOS JURÍDICO RELEVANTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN MÉXICO

Luis E. Ramos Bustillos, Gustavo A. Ortiz y Alejandra Serrano Pavón 95

ANÁLISIS ECONÓMICO SOBRE LA DETERMINACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DEL CONCEPTO DE CAUDAL ECOLÓGICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Eduardo Donath de la Peña y Enrique Sanjurjo Rivera 115

ON ASPECTS OF A LARGE SCALE REHABILITATION PROGRAM FOR AN OVER-ALLOCATED AUSTRALIAN RIVER: THE LIVING MURRAY

Lindsay J. White 145

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL O ECOLÓGICO
EN MÉXICO**

Pilar Saldaña-Fabela., María Antonieta Gómez-Balandra
y Perla Edith Alonso-EguíaLis

PRÓLOGO

La implementación de los caudales ambientales a nivel internacional ha incorporado cada vez con mayor detalle la participación de distintas disciplinas para transitar del enfoque hidrológico–hidráulico y de regulación, a un enfoque holístico, que incluye los requerimientos ambientales de los ecosistemas acuáticos y su interdependencia y conectividad. Este enfoque reconoce, además, a todos los usuarios y actores e incorpora las negociaciones para reducir los impactos de las actividades humanas y propiciar la conservación de los ecosistemas.

Por ello, en la literatura y legislaciones se han utilizado distintos términos como flujo, uso, gasto y caudal, así como los adjetivos ecológico y ambiental. Actualmente, se asume que “caudal ambiental” refleja las condiciones naturales de las corrientes e integra las distintas disciplinas para su implementación. En este libro, se utilizan los diversos términos y, en algunos capítulos, los autores señalan las diferencias y consideraciones pertinentes a sus campos de aplicación.

Con el incremento dramático en la regulación y agotamiento de las corrientes por la infraestructura hidráulica y por la sobreconcesión de volúmenes, la implementación de caudales ambientales ha pasado de ser, además de una herramienta de planeación para grandes obras hidráulicas, como las derivaciones y presas para distintos usos o multipropósitos, un instrumento de negociación dentro de un marco de la gestión integrada de los recursos hídricos, a nivel de cuenca, subcuenca, microcuenca e, incluso, segmentos de ríos, donde se establecen concertadamente los objetivos ambientales y las metas para alcanzarlos.

Dentro del marco normativo internacional y en diversos países, el reconocimiento del ambiente como usuario prioritario, ha llevado a señalar la importancia de conservar o asignar caudales a los distintos ecosistemas acuáticos a través de declaraciones ministeriales, agendas y acuerdos internacionales. Algunos países han revisado, incluso, la prelación del uso del agua en sus leyes nacionales de aguas y trasladado al uso ambiental como uno de los más fundamentales, únicamente después del abastecimiento humano.

Dicha importancia también ha sido una respuesta al reconocimiento de los servicios ambientales que proveen los ecosistemas acuáticos, como son: la

producción de agua limpia y de alimento, biodiversidad, dilución y asimilación de contaminantes, recreación, paisaje e incremento de la plusvalía inmobiliaria, entre los más importantes.

La evolución de la ciencia de la determinación de los caudales ambientales ha pasado del enfoque de manejar caudales mínimos, al reconocimiento de los componentes que determinan su magnitud, duración, temporalidad, frecuencia y tasa de cambio a través del tiempo. Asimismo, se han incorporado los requerimientos de flujo para la reproducción, alimentación y migración de especies de distintas comunidades acuáticas, principalmente peces y macroinvertebrados bentónicos.

Por otro lado, la implementación del caudal ambiental se ha filtrado al marco regulatorio y normativo de los recursos hídricos, y también ha encontrado una expresión de su impacto o importancia económica tangible e intangible.

Del 11 al 13 de junio del 2007 se llevó a cabo en el IMTA, el Foro Nacional sobre la Determinación del Uso Ambiental del Agua o Caudal Ecológico en México, en cumplimiento de sus compromisos institucionales y cobijado bajo el tema "Ecohidrología" del Programa Hidrológico Internacional (PHI) y con el apoyo de la alianza World Wildlife Found (WWF) - Fundación Gonzalo Río Arronte. Se contó con la participación de cuarenta instituciones y ciento diez participantes (anexo 1 y 2 del capítulo 8) nacionales e internacionales de sectores gubernamental, universidades, centros de investigación y asociaciones civiles. El resumen videográfico del evento quedó archivado en un DVD con duración de 120 minutos.

Este foro tuvo como objetivos: a) dar a conocer las experiencias y metodologías hasta ahora desarrolladas en el mundo y en México; b) identificar entre la comunidad académica y expertos en el tema, criterios básicos y recomendaciones para la determinación e implementación del concepto de caudal ambiental en cuencas hidrográficas y acuíferos; c) evaluar, aportar y homogeneizar la información aplicable al uso ambiental del agua con un enfoque integral, multidisciplinario e interdisciplinario, tomando en cuenta aspectos ecológicos, hidrológicos, jurídicos, sociales y económicos; y d) discutir criterios para garantizar la conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos del país.

La dinámica de trabajo se enfocó, como primer punto, a la exposición de conferencias magistrales impartidas por expertos internacionales de Australia, Estados Unidos de América y Argentina, seguidas de reuniones de trabajo o mesas de discusión por disciplina involucradas en la implementación de caudal ambiental, como son la hidrología, hidráulica, ecología, sociología, aspectos jurídicos y económicos.

En este libro se presenta una revisión temática sobre caudales ambientales como marco de referencia, que intenta ser una revisión bibliográfica amplia, aunque no exhaustiva, por la gran cantidad de información bibliográfica científica, técnica y aplicada actualmente disponible.

Como resultado del Foro, los coordinadores de las sesiones han realizado un importante trabajo de revisión de los temas, de análisis y de síntesis de las principales conclusiones de cada uno de los aspectos tratados.

Adicionalmente a estos materiales, también se cuenta con un disco compacto del Foro donde se presentan resúmenes de las ponencias magistrales con invitados de instituciones como The Murray Darling Basin Comisión de Australia, The Nature Conservancy (TNC) de Estados Unidos de América, The International Water Management Institute de Sri Lanka y del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, a quienes también se extiende un amplio agradecimiento.

Las experiencias en la determinación e implementación de los caudales ambientales en México son limitadas. Aunque el interés en el tema se inició y ha persistido por más de una década, todavía son muy escasas las publicaciones y los estudio de caso. Actualmente existe un fuerte interés del sector medio ambiente y de la Comisión Nacional del Agua para determinar e implementar estos caudales, estableciendo las regulaciones, lineamientos y metodologías, al mismo tiempo que la academia promueve su participación en estudios específicos que contribuyan a la conservación de los ecosistemas.

Las organizaciones no gubernamentales nacionales e internacionales como WWF, TNC, IRF (Internacional River Foundation) y el Banco Mundial, están jugando un papel muy importante, tanto implementando metodologías holísticas, como promoviendo actividades de fortalecimiento institucional (*capacity building*) para distintos actores. Además, han lanzado la Declaratoria de Brisbane en el X Simposio Internacional de Ríos y Conferencia de Caudales Ambientales, específica para promover la implementación de los caudales ambientales, en la que hacen un llamado urgente a todos los sectores de la sociedad para preservar los ecosistemas acuáticos, sus recursos y servicios ambientales (septiembre 2007, ver anexo 3, capítulo 8).

Por su parte y con respecto al tema, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua lo ha incorporado a sus programas académicos y ha participado en la revisión de la norma específica y normas relacionadas; asimismo, fortalece sus cuadros de investigadores en la especialidad, presenta experiencias en foros nacionales

e internacionales, adapta y aplica metodologías, y abre espacios para la práctica de la implementación de los caudales ambientales en México.

Ahora, como aportación en la materia, edita el presente libro.

Gabriela Moeller Chávez
María Antonieta Gómez Balandra
Pilar Saldaña Fabela
Perla Alonso-EguíaLis

INTRODUCCIÓN A LOS CAUDALES AMBIENTALES

Perla Alonso-EguíaLis y Rebeca González Villela

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso Jiutepec, Morelos, México; palonso@tlaloc.imta.mx, rebeca_gonzalez@tlaloc.imta.mx

Resumen

En el presente capítulo se analiza la importancia de la implementación de los caudales ambientales desde un punto de vista ecosistémico o de manejo integral. Se presentan las diferentes definiciones de caudales ambientales que se encuentran en la literatura, así como de algunas de las metodologías hasta ahora conocidas a nivel global, (hidrológicas, hidráulicas, de simulación de hábitat y holísticas), haciendo mención a los casos donde han sido aplicadas para México, Centro, Sudamérica, USA, África, Australia y España. Se establecen criterios para la selección de una metodología de caudales donde las variables a considerar abarcan diferentes tipos de manejo, objetivos ambientales, intenciones de conservación, entorno socioeconómico, personal capacitado y tiempo disponible. Los métodos holísticos son los más recomendados por reconocer la variabilidad natural como clave de la conservación, y porque incluye una aproximación hidrológica, ecológica, y socioeconómica. El cálculo del caudal ambiental es un tópico multidisciplinario que requiere con urgencia se contemple en los planes de desarrollo y gestión del recurso agua, y se siente sobre bases legales sólidas.

Abstract

This chapter analyzes the importance of the implementation of environmental flows from an ecosystemic or integrated management perspective. The different definitions for environmental flow found in the literature are presented, as are some of the methodologies (hydrological, hydraulic, habitat-simulation, and holistic) known up to now at a global scale, with a special mention of those that have been applied in Mexico, Central and South America, The United States, Africa, Australia, and Spain. Criteria are established for selecting an environmental flow methodology where the variables to be considered cover different types of management, environmental objectives, conservation intentions, socioeconomic conditions, trained personnel, and available time. Holistic methods are the most recommendable, since they recognize natural variability as a key to conservation, and because they include a hydrological, ecological, and socioeconomic approach. Environmental flow is a multidisciplinary task that needs to be included urgently in water development and management plans backed by a sound legal framework.

Introducción

El incremento desproporcionado en la demanda de agua para cubrir las crecientes necesidades humanas ha resultado en una problemática muy

compleja entre el uso y explotación de ríos, y su conservación como sistema ecológicamente estable e importante prestador de innumerables servicios ambientales. Técnicamente, implica un reto y enfrenta grandes dificultades desde el punto de vista social, económico y político.

El manejo del agua se ha dirigido tradicionalmente a satisfacer las necesidades de consumo, riego, industrias y generación de electricidad. A partir de la publicación del *Reporte Brundtlat* o *Nuestro Futuro Común* (WCED, 1987), de *Cuidados para la Tierra* (IUCN *et al.*, 1991) en 1992 y la Conferencia de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas, se observó un cambio en la forma de concebir el recurso agua y permitió se interrelacionaran dos conceptos: el primero, “desarrollo sustentable”, el cual se ha definido como “aquel que cubre las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras”; y el segundo, “la vida de la gente y el medio ambiente están profundamente interrelacionados”. Esto permite introducir una alternativa más a la definición de desarrollo sustentable; el de incrementar la calidad de vida del ser humano dentro de la capacidad de soporte del ecosistema. Bajo los principios de desarrollo de la Conferencia del Agua, en Mar del Plata, Argentina (Naciones Unidas, 1997) y de Dublín, Irlanda (WMO, 1992), Capítulo 18 de la agenda 21, se desarrolla el concepto “manejo integral del agua” (IWRM), que la reconoce como una parte integral del ecosistema, un recurso natural, y un bien social y económico, cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización (Naciones Unidas, 1992). Una parte central de este concepto, es la protección del recurso considerando: agua superficial y subterránea, calidad del agua, ecosistemas acuáticos, y manejo de la tierra y el agua englobados bajo una visión integrada.

De tal forma, se ha venido generalizando la necesidad de manejar el agua, los procesos relacionados con ella y la biodiversidad, de una manera sustentable. Sin embargo, en la práctica, el valor de los ecosistemas es raramente considerado (Berkamp, *et al.*, 2000).

Los caudales en los ríos de todo el mundo se modifican a través de la construcción de presas, embalses y sustracciones para el suministro agrícola y urbano; para mantener los flujos apropiados para la navegación y por la construcción de estructuras de control. Estas intervenciones han generado impactos significativos reduciendo, en general, los caudales totales de muchos ríos, afectando su estacionalidad, magnitud y periodicidad (Raven *et al.*, 2000; Fischer y Kummer, 2000; TNC, 2006). La alteración en la cantidad y calidad del agua no sólo se observa en la salud de los ecosistemas acuáticos y sus componentes, sino que se refleja directamente en las actividades económicas que dependen de este ecosistema, como son la pesca en ríos y estuarios, navegación, llanuras de inundación y su vegetación natural, mantenimiento de acuíferos y presencia

de humedales, estos últimos importantes como retenedores de suelo y contaminantes.

Se considera que en el mundo existen aproximadamente cincuenta mil grandes presas (cortinas con altura mayor de 15 metros), lo que implica que alrededor del 60% de los ríos del planeta se encuentran alterados de manera importante (Revenge *et al.*, 2000), y que dos terceras partes del agua que debería llegar a los océanos hoy se encuentra represada (Naiman *et al.*, 1993).

Se estima que México cuenta con alrededor de ocho mil presas y diques, 667 de los cuales se hallan clasificados entre las grandes presas, lo que ubica al país en segundo lugar, después de Brasil, en poseer el mayor número de presas en Latinoamérica y, en doceavo, en el mundo (ICOLD, 2000).

El caudal ambiental es una alternativa que busca encontrar un equilibrio entre las necesidades del ambiente y las humanas, reconociendo que para conservar la diversidad y los bienes y servicios ambientales que brindan los sistemas acuáticos, se debe siempre considerar que la variabilidad de los caudales naturales son los que mantienen la salud y resiliencia de los sistemas naturales acuáticos. Por ello, las propuestas más modernas de cálculo de caudal ambiental buscan acercarse lo más posible a esta variabilidad.

Las mediciones de la respuesta ecológica a las modificaciones de los componentes del flujo o caudal natural deben ser las bases científicas que orienten y monitoreen las propuestas de un caudal ambiental, pero sin soslayar jamás la importancia que tiene este recurso para la salud y bienestar humano, así como para el desarrollo económico de las naciones.

La aplicación de estos mecanismos para “equilibrar” el manejo del recurso agua requiere de compromisos, pero se debe tener en mente que la meta final será encontrar un punto intermedio que proteja a cada ecosistema y sus servicios ambientales, al mismo tiempo que se cubran las necesidades humanas.

Términos y definiciones de caudales ambientales

Los caudales o flujos ambientales pueden ser definidos como aquella provisión de agua necesaria para mantener la integridad, productividad, servicios y beneficios de los ecosistemas acuáticos, particularmente cuando se encuentra sujeta a regulación del caudal y alta competencia debido a la existencia de múltiples usuarios (Bunn y Arthington, 2002; King *et al.*, 2003; Tharme, 2003). Los procesos que se utilizan para determinar estos flujos ambientales se conocen como “evaluaciones o requerimientos de caudales ambientales” (Brown y King, 2003).

En la abundante literatura con que actualmente se cuenta para este tema, se encuentran términos sinónimos de caudales ambientales, tales como: "caudales de compensación", "caudales ambientales", "caudales de mantenimiento", "caudales mínimos" y "caudales de reserva" que generan una alta indefinición, sobre todo cuando se trata de aplicar a trabajos multidisciplinarios. García de Jalón y González del Tánago (2006) sugieren el término "caudal ecológico" por tener connotaciones claras, tanto para el público general como para los técnicos, políticos y gestores del agua.

Los caudales ecológicos se definen como el agua que se deja correr en un ecosistema fluvial o el caudal que se libera dentro de él, con el propósito específico de manejar la condición del ecosistema. La falla en el manejo de los caudales ha conducido al deterioro en la estructura y función (salud) de muchos ríos del mundo (Dyson *et al.*, 2003; Tharme, 2003; Arthington *et al.*, 2006).

Gaviño (2007), por su parte, señala que se encuentra con frecuencia en la bibliografía el nombre de caudales ecológicos y caudales ambientales, y considera que en la cuantificación del caudal ecológico se busca un umbral que fije los valores por encima de los cuales la especie sensible se recupera de las perturbaciones ocasionadas por la falta de escorrentía, es decir, que los cambios originados en ella dejan de ser irreversibles y, más bien, dependen de la duración de los mismos y de la resiliencia ecológica de la especie. Por otra parte, define caudal ambiental como aquel que es determinado por encima del establecido por el caudal ecológico, y que fija un umbral mínimo y/o máximo destinado a la satisfacción de las necesidades establecidas de manera *ad-hoc* por la sociedad.

Richter *et al.* (1996), Poff *et al.* (1977) y Lytle y Poff (2004) reconocen que el establecimiento arbitrario de un caudal mínimo es inadecuado, ya que la estructura y la función de un ecosistema riverino y adaptaciones de la su biota son generadas por patrones de variación temporal en los caudales fluviales (el paradigma de régimen de caudales naturales). Actualmente, la comunidad de ecólogos reconoce que para proteger la biodiversidad de los ecosistemas fluviales y mantener las condiciones esenciales de salud y servicios que proveen los ríos, se requiere imitar la variabilidad natural de los componentes esenciales de caudales, considerando la magnitud, frecuencia, periodicidad, duración y grado de cambio de los eventos de flujo en los ríos (Fischer y Kummer, 2000; King *et al.*, 2003; Tharme, 2003; Arthington *et al.*, 2006; King y Brown, 2006). Asimismo, se reconocen los efectos ecológicos incontrovertibles, con sus implicaciones socioeconómicas por la alteración hidrológica de los ecosistemas fluviales a escalas globales relevantes, con impactos en el aislamiento genético a través de la fragmentación de los hábitats, en el decremento de la biodiversidad y en el abatimiento de las pesquerías (Richter *et al.*, 1997; Rosenberg *et al.*, 2000; Tharme, 2003).

En la legislación Española de 2007 se señala a los caudales ecológicos como aquellos que permiten 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. El objetivo del manejo de los caudales es la recuperación o conservación de determinados aspectos del régimen natural de caudales, encargados de mantener unas condiciones del hábitat adecuadas y generar los procesos ecológicos, hidrológicos y geomorfológicos necesarios para mantener a largo plazo las comunidades biológicas en un estado de conservación previamente definido.

En la declaración de Brisbane, Australia durante el 10th International Riversymposium and International Environmental Flows Conference, celebrada en septiembre de 2007 y en la que asistieron más de 750 científicos, economistas, ingenieros, gestores del agua y políticos de más de 50 países, acordaron señalar que los caudales ambientales deben de proveer de los caudales necesarios para sostener a los ecosistemas de agua dulce y los ecosistemas costeros en coexistencia con la agricultura, la industria y las ciudades. El objetivo del manejo de los caudales ambientales consiste en restaurar y mantener la integridad del ecosistema, los bienes y servicios y la resiliencia de los mismos, puntos que deberán ser evaluados socialmente a través de la participación de equipos bien informados y científicamente sustentados.¹

Metodologías para el cálculo del caudal ambiental

De acuerdo con Stalnaker (1982) y Trihey y Stalnaker (1985), los primeros indicios de evaluaciones de caudal ambiental surgen en la década de los años cuarenta, en los Estados Unidos de América. Pero no fue sino hasta la década de los años setenta, cuando se inicia un importante trabajo resultado de las modificaciones en la legislación estadounidense en cuanto al uso del agua y el inicio de la era de la construcción de las grandes presas (WCD, 2000). Fuera de Estados Unidos de América, y de algunos países de Europa (España, Francia y Suiza), la historia de la evaluación de caudal ambiental es escasa, y no es sino hasta mediados de los años ochenta que se registra el uso de estas metodologías para países como Inglaterra, Australia y Nueva Zelanda, mientras que países en desarrollo, como son los de Centro y Sudamérica, la historia del uso de dichas metodologías está apenas en sus inicios (Tharme 2003; Córdoba e Iza, 2007).

De acuerdo con Tharme (2003), se han desarrollado alrededor de 207 distintas metodologías enfocadas al cálculo del caudal ambiental, aplicadas en 44 países. Estas van desde el uso simple de registros hidrológicos que establecen

un mínimo de caudal constante, como propuesta de requerimiento de caudal ambiental, o desde cálculos simples de especificaciones de cierta profundidad que permita un cierto perímetro húmedo en el flujo con la finalidad de asegurar la permanencia de alguna especie de interés económico, hasta las complejas y sofisticadas que relacionan los cambios en las descargas con respuestas en la morfología y ecología del cauce, a partir del análisis de un sistema completamente modificado de su estado natural, y que busca dar opciones para mantener un sistema fluvial completo y sus sistemas de humedales asociados.

Toda esta gama de metodologías puede agruparse, de manera general, en seis categorías: hidrológicas, hidráulicas, de simulación de hábitat, holísticas, de técnicas multivariadas y aquellas que, debido a su disparidad en formas de cálculo, son clasificadas como "otras".

De acuerdo con Brown y King (2003), las evaluaciones de caudal ambiental pueden ser de dos clases:

a) prescriptivas: usualmente dirigidas a objetivos específicos que resultan en recomendaciones de valores de flujo o régimen de caudales para componentes particulares del ecosistema. No consideran la negociación porque el cálculo está orientado a justificar un valor simple y, por otra parte, no cuentan con información suficiente sobre las implicaciones de los resultados, por no considerar otras visiones.

b) Interactivas: se enfocan en las relaciones entre los cambios provocados en el caudal del río, considerando más de un aspecto de éste. Una vez que dichas relaciones se establecen, la recomendación no se restringe entonces a un simple valor, sino que establece diversos valores y se contemplan sus posibles escenarios, por lo que son susceptibles de establecer negociaciones.

Métodos hidrológicos

Son los más simples por ser calculados a partir de datos llamados "de escritorio". Referidos también como metodologías de porcentaje fijo (Cavendish y Duncan, 1986; Milhous *et. al.*, 1989), su objetivo original fue la conservación de especies de importancia económica, como el salmón, y en ríos de tipo permanente con variación hidrológica estacional escasa. Estos métodos son los más conocidos y empleados hasta hoy, y representan el 30% del total de las metodologías hasta ahora desarrolladas, con un total de 61 métodos o técnicas. El más conocido es el método Tennant o Método de Montana, desarrollado por Tennant (1976) y por la US Fish and Wildlife Service (USFWS). Difiere del resto de las metodologías hidrológicas porque utiliza colección de datos de

campo para obtener información de hábitats, hidráulicos y biológicos. También considera diferentes porcentajes del promedio anual del caudal para distintas condiciones o categorías de ríos, así como su estacionalidad. Las categorías recomendadas para caudal son cuatro y van, desde el 10% del promedio medio anual, denominada "condición mínima o pobre," hasta 60-100% como "rango óptimo". A la fecha, se cuenta con una serie de trabajos que han hecho modificaciones de importancia al método original bajo criterios hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos, o consideraciones a nivel de cuenca (Dunbar *et al.*, 1998), que han introducido, como parte importante del análisis, el "rango de variabilidad natural" (Richter *et al.*, 1996, 1997); sin embargo, no incluyen las mediciones de la respuesta ecológica del sistema. En México, se ha aplicado el método Tennant para establecer caudales recomendados en evaluaciones de impacto ambiental de presas (Gómez-Balandra *et al.*, 2007). También se ha efectuado una modificación al método de Tennant para las zonas tropicales de México en donde se considera la variación climatológica trimestral anual para tratar de reproducir las variaciones de caudal natural durante el año (García *et al.* 1999). Otros índices comúnmente utilizados son los llamados percentiles de excedencia, derivados de los análisis de las curvas de duración de flujo, los cuales relacionan las descargas y el porcentaje del tiempo, e incluyen el Q_{95} , Q_{90} , $7Q_{10}$ y Q_{364} .

Métodos hidráulicos

A partir de las metodologías básicas hidrológicas posteriormente se desarrollaron metodologías que emplean relaciones cuantificables entre cantidad y calidad del recurso, tales como el hábitat y la descarga para el cálculo de los requerimientos del caudal ambiental, por ejemplo Stalnaker y Arnette (1976), quienes consideraron, por vez primera, efectos específicos de incremento de la descarga sobre el hábitat y características biológicas de requerimientos ambientales, como son áreas de reproducción y crecimiento para algunas especies de importancia económica (Tharme, 1996). Se incluyen alrededor de 23 metodologías que se traducen en el 11% del total de metodologías conocidas y se aplican en veinte países (Tharme, 2003).

Loar *et al.* (1986) son los primeros en utilizar el término "metodologías de estimación hidráulica" (conocido también como "retención de hábitat"), para establecer la relación entre ciertas variables hidráulicas, como perímetro húmedo o profundidad máxima (método de perímetro húmedo), usualmente medidas en una sola sección transversal del río (normalmente en zona de rápidos), asumiendo que la protección de tales áreas asegurará una protección adecuada a todo el sistema. De acuerdo con Tharme (1996) y Dunbar *et al.* (1998), estas metodologías son las precursoras de las llamadas "metodologías de simulación de hábitat".

Métodos de simulación de hábitat

También conocidas como “metodologías de modelación de hábitat”, representan el 28% del total de metodologías conocidas y se emplean en 58 países, siendo la más común la llamada “*Instream Flow Incremental Methodology*” (IFIM), basando gran parte de sus resultados en un modelo de simulación de hábitat llamado “*Physical Habitat Simulation System*” (PHABSIM).

Hacen un análisis detallado de la cantidad y disponibilidad de hábitats físicos dentro del río para especies objetivo, o bien, comunidades de especies bajo escenarios de diferentes descargas, con base en respuestas establecidas en variables hidrológicas, hidráulicas y biológicas.

Los cambios observados con relación a la variación de caudal-hábitats físicos son modelados en diversos programas hidráulicos usando datos tales como profundidad, velocidad, composición y cobertura de sustrato, colectados desde varias secciones transversales del río en estudio. Las condiciones así simuladas se relacionan con las preferencias o requerimientos de hábitats para diferentes estadios de vida de peces, actividades de alimentación o reproducción, calculados a partir de las llamadas “curvas de preferencia de hábitat” (basadas en respuestas de ausencia-presencia o abundancia) y, con ello, se obtiene una serie de flujos óptimos como requerimientos de flujo ambiental.

Esta metodología ha sido la más ampliamente utilizada en Estados Unidos de América, ya que de manera rutinaria la utiliza la US FISH and Wildlife Service (Armour y Taylor, 1991), reportándose una cantidad enorme de casos de aplicación (Stalnaker, 1998). A esto se añade que es una de las dos metodologías que cuenta con manual de uso (Milhous *e. al.*, 1989) y un programa de cómputo muy bien desarrollado y compatible con ambiente *Windows* (USGS, 2000), así como con cursos de capacitación para su utilización. En México, la metodología ha sido evaluada por la Comisión Nacional del Agua y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para cálculo del caudal ecológico en el río Santiago, Nayarit (García *et al.*, 1999), y con el apoyo de la aplicación de métodos multivariados se efectuaron análisis comparativos del método de Tennant modificado y la simulación del hábitat aplicados al río Santiago por González-Villela y Banderas (2007).

Métodos holísticos

Tharme (1996) introduce el término “métodos holísticos” que, posteriormente, es utilizado ampliamente en trabajos como los de Stewardson y Gippel (1997) y King *et al.*, (1999). Representa apenas el 7.7% del global total con 16 metodologías aplicadas hasta ahora en Sudáfrica, Australia, Reino Unido y, recientemente, en Costa Rica (Rodríguez, 2007). Estas metodologías surgen basadas en el

estudio y comprensión de la complejidad ecológica de los sistemas acuáticos epicontinentales (Ward y Stanford, 1987; Petts, 1989; Hill *et al.*, 1991; Poff *et al.*, 1997).

A diferencia de las anteriores, consideran como principio la observación del sistema fluvial completo y toman gran auge en Sudáfrica y Australia en donde, a diferencia de Estados Unidos de América, se le da poca importancia a la actividad de la pesca en cuerpos de agua dulce, por lo que se pone énfasis en la protección del sistema fluvial completo y su, aún entonces, poco conocida biota.

Las metodologías holísticas se enfocan, principalmente, en reconocer los eventos hidrológicos importantes o críticos del patrón de flujo que definen la variabilidad natural y que dan dirección a los principales atributos del ecosistema acuático, por lo que requieren, para ello, considerable información de tipo multidisciplinaria.

La base es la construcción sistemática de un régimen de caudales (estimado como modificado, desde el principio), considerando todos los elementos informativos hidrológicos de frecuencia mensual que representa una característica bien definida del régimen de caudal y que busca alcanzar un objetivo ecológico, geomorfológico, de calidad de agua, social u otro, a partir de dicho régimen modificado (King y Tharme, 1994; Arthington, 1998; Arthington y Lloyd, 1998; Arthington *et al.*, 2000). De tal manera que estas metodologías deben interpretarse más como una filosofía, un “modo de entender el problema”, que como una secuencia rígida y estandarizada de procedimientos (Fernández-Yuste *et al.*, 2006).

Las metodologías holísticas más avanzadas utilizan rutinariamente varias de las herramientas de análisis hidrológico, hidráulico y de hábitat físico de las metodologías anteriores, dentro de un marco modular, para establecer los requerimientos del caudal ambiental del ecosistema fluvial (Tharme, 2000).

La metodología llamada “*Building Block Methodology*” (BBM) es la más conocida de este grupo y la aplicada con más frecuencia, además de ser la segunda, después de la IFIM, en contar con un manual de aplicación (King *et al.*, 2000). BBM ha evolucionado en corto tiempo para dar surgimiento al *Downstream Response to Imposed Flow Transformation* (DRIFT), cuyo objetivo es incorporar a los análisis las componentes sociales y económicas generadas a partir de escenarios de requerimientos de caudales propuestos, y de los efectos que estos provocan sobre un escenario biofísico (King y Brown, 2006). Adicionalmente, la relación entre las consecuencias sociales para los usuarios se evalúa en paralelo con las consecuencias ecológicas y geomorfológicas, así como con

las implicaciones económicas, en términos de mitigación y compensación. La metodología ha sido aplicada en varios ríos de Zimbabwe (Steward, 2002) y en el río Tuel, Argentina (Gaviño, 2007). Actualmente, esta metodología es aplicada en el río Conchos, Chihuahua (Barrios *et al.*, 2007).

La Organización de Estudios Tropicales (OET) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) han sido las instituciones pioneras en Sudamérica en el tema de caudal ambiental. Ambas realizan investigación que abordan la ausencia de metodología para condiciones del trópico, donde la biodiversidad es abundante y los usos del agua empiezan a tener alta competencia y a generar conflictos. Actualmente, el ICE ha desarrollado un programa de cálculo de caudal ambiental para lo que ellos llaman “la determinación de un caudal mínimo aceptable” (CMA), incorporando información en un programa de cómputo llamado “RANA”, diseñado específicamente para ser utilizado en el cálculo del caudal ambiental (Rodríguez, 2007). El tipo de información con el que se alimenta este programa es: caudal mínimo natural a través de datos hidrológicos y meteorológicos históricos y actuales; datos de indicadores biológicos del mantenimiento de la biodiversidad (sustentabilidad ecológica), identificación de las especies más sensitivas y sus requerimientos, datos socioeconómicos y demandas de uso de agua, además de la elaboración de un modelo hidráulico.

La OET concluye en su investigación, que el grado de “salud ambiental” en ecosistemas acuáticos es una decisión de la sociedad, así como la asignación de agua a diferentes usos, pues debe ser una decisión con participación de los actores de la cuenca y que la asignación del agua debe partir de un plan de manejo integral (Jiménez, 2005).

Criterios para la Selección de un método de cálculo de caudal ambiental

Entre los criterios para selección de un método, enfoque o marco específico, está la clase de problema a tratar (extracción, presa, control entre otros), competencia técnica, tiempo y dinero disponibles, así como el marco legislativo dentro del cual deben establecerse los caudales (Dyson *et al.*, 2003).

Se requiere de los enfoques integrales que utilizan equipos de expertos e incorporan la participación de las partes involucradas, donde los aspectos científicos son un factor a considerar. Los métodos integrales tienen la ventaja de abarcar la totalidad del sistema hidrológico-ecológico-partes interesadas, la desventaja es el costo que implica el recopilar los datos relevantes.

La evaluación del caudal ambiental es un tema especializado y, por ello, debe por necesidad involucrar a expertos. El enfoque de equipo reconoce que la

evaluación del caudal ambiental es un asunto multidisciplinario, que requiere insumos de una amplia gama de áreas especializadas (Dyson *et al.*, 2003; Richter *et al.*, 2006).

La evaluación de caudal ambiental implica evaluar el impacto y la mitigación de modificaciones específicas de caudal, tales como presas o extracciones importantes. Cuando hay un solo sitio que reciba impacto, se necesita de un modelo detallado y es más probable que la autoridad reguladora esté dispuesta a financiar los elevados costos. Este será, sobre todo, el caso donde la asignación de agua resulte sumamente contenciosa y requiera una investigación pública (Richter *et al.*, 2006).

Considerando que en el sentido más estricto, restaurar es “restablecer la estructura y función de un ecosistema” a su estado más o menos natural, en la práctica, no resulta posible una restauración completa, debido a la necesidad de hacer extracciones importantes, a la presencia de presas o desarrollos en las llanuras inundables. Como consecuencia, a menudo se utiliza la restauración en el sentido de regresar al río o tramo de río, a un estado previo reciente de mejor calidad (Bunn y Arthington, 2002).

Tomar en cuenta que en la aplicación de cualquier tipo de metodología para la determinación del caudal ambiental, el contar con un programa nacional de recopilación de datos que incluya mediciones de hidrología (caudales fluviales), hidráulicas (nivel de agua y sección transversal de ríos) y ecología (especies presentes, ubicación encontrada y relaciones con el caudal) en una amplia gama de sitios, es de gran ayuda de tal manera que se abarquen en forma representativa los diferentes ecosistemas y la situación nacional (Dyson *et al.*, 2003).

En la actualidad, cada vez más métodos adoptan un enfoque integral que incluye de manera explícita todo el ecosistema, tales como humedales conexos, aguas subterráneas y estuarios (Arthington *et al.*, 2006; King y Brown, 2006; Richter *et al.*, 2006).

Gestión y caudal ambiental

Mundialmente se reconoce que para alcanzar la implementación del caudal ambiental, es necesaria una vía legal y administrativa clara para proteger el caudal fluvial antes de que las partes interesadas estén dispuestas a comprometerse, y de que las agencias se hallen listas para financiar estos proyectos. No se producirá ningún intento serio de gestionar caudales ambientales, a no ser que se tomen decisiones políticas claras en la esfera apropiada de gobierno (Declaratoria de Brisbane, 2007).

Para lograr el impulso necesario en la determinación de un régimen de caudales ambientales se deberán involucrar muchos actores diferentes. Bajo estas condiciones, una estrategia exitosa implicará trabajar con la mayor cantidad posible de grupos interesados y adaptar tácticas a lo largo de las negociaciones (King *et al.*, 2003).

Para el análisis de los caudales ambientales se requiere de la integración de una serie de disciplinas, incluyendo la ingeniería, el derecho, la ecología, la economía, la hidrología, las ciencias políticas, la sociología y la comunicación, con el objetivo de generar un mejor régimen de gestión que garantice la cantidad, calidad y regularidad, para sustentar la integridad de los ríos y de otros ecosistemas acuáticos y, en consecuencia, lograr el equilibrio óptimo entre los diferentes usos (Tharme, 2003).

Dado el incremento de recursos hídricos en todo el mundo y el deterioro consiguiente de ecosistemas y de sus servicios, los caudales ambientales no son un lujo, sino una parte esencial de la gestión hídrica moderna que merece se aplique ampliamente (Richter *et al.*, 2006).

En el caso más extremo, la ausencia a largo plazo de caudales pone en riesgo la existencia misma de ecosistemas dependientes y, por tanto, las vidas, los medios de subsistencia y la seguridad de comunidades e industrias río abajo (Brown y King, 2003).

Es importante mencionar que la Comisión Mundial de Presas identificó como prioridades la conservación de ríos y medios de subsistencia, así como también el reconocer derechos y compartir beneficios. Esto quiere decir que las presas provean las descargas para caudales ambientales y, por lo tanto, deben de diseñarse, modificarse y operarse para este fin. Si el tema de los caudales ambientales se deja para más tarde, a menudo los problemas suelen ser más graves y las soluciones conllevarán costos económicos y sociales más elevados (Dyson *et al.*, 2003).

Así, desarrollar un programa de caudal ambiental significa considerar los objetivos centrales sobre los que se habrán de basar las decisiones, determinando qué resultados se buscan y definiendo qué trueques implicarán (Arthington *et al.*, 2006; Richter *et al.*, 2006). En un sentido físico, esto significa examinar el sistema desde sus fuentes hasta el entorno costero y de estuario, incluyendo sus humedales, llanuras de inundación y sistemas conexos de aguas subterráneas. En cuanto a valores, esto significa tomar en cuenta valores ambientales, económicos, sociales y culturales en relación con el sistema total. En un programa de caudal ambiental debe tomarse en cuenta una amplia gama de objetivos, desde la protección, hasta aquellas dirigidas a satisfacer las necesidades industriales y poblacionales para su posible inclusión.

En un sistema fluvial en el que se ha asignado un exceso de agua para consumo, podrían establecerse caudales ambientales simplemente para conseguir que los ecosistemas funcionen lo suficiente como para proporcionar una base sustentable para las utilidades presentes y futuras de consumo. En los casos en que se ha comprometido en demasía y de manera grave un sistema y los valores no permiten una suficiente reasignación de recursos para restaurar todo el sistema, se pueden seleccionar ciertos tramos de río o sitios de humedales para protegerlos y para asignaciones específicas de agua (Dyson *et al.*, 2003).

Queda claro, entonces, que para establecer un caudal ambiental se necesita identificar objetivos precisos y establecer escenarios para la extracción y utilización del recurso agua. Del mismo modo que establecer caudales ambientales es una cuestión de valores, así también fijar objetivos fluviales es en gran parte un proceso sociopolítico. Todos los que participen deben, en la medida de lo posible, poseer una comprensión básica de lo que implica establecer y gestionar caudales ambientales (Arthington *et al.*, 2006; King y Brown, 2006; Richter *et al.*, 2006).

No se puede subestimar el precio por no proporcionar caudales ambientales. Resulta cada vez más claro que, a mediano y largo plazos, no satisfacer las necesidades del caudal ambiental puede tener consecuencias graves para muchos usuarios del río, iniciando por el ambiente mismo.

Los sistemas acuáticos de México, al igual que la mayoría del resto del mundo, se encuentran bajo serias amenazas de degradación debido a la falta de comprensión de la importancia ecológica que estos sistemas tienen, además de los importantes servicios ambientales que prestan. Por ello, al igual que en la mayoría de los países latinoamericanos, urge contar con una gestión integral de sistemas acuáticos que incluya y considere información precisa y multidisciplinaria (Alonso-EguíaLis, 2007).

A medida que se monitoreen y evalúen las respuestas de plantas, animales, recursos y personas, quizá haya que modificar los caudales ambientales. Este proceso se conoce como "gestión adaptable" y forma parte esencial para abordar los trueques que conllevan la definición y gestión de caudales ambientales. La mayoría de los ecosistemas fluviales se gestionan en mayor o menor grado y se acepta que la extracción de agua del río para usos humanos, abastecimiento público, irrigación y procesos industriales es necesaria para la supervivencia y desarrollo humanos (Raven *et al.*, 2000; King y Brown, 2003).

Conclusiones

En forma creciente, en todo el mundo se han identificado los conflictos por el insuficiente suministro de agua, al mismo tiempo que se observa una mayor

conciencia en relación con la necesidad de dedicar una porción de agua de los ríos para el mantenimiento e integridad de los ecosistemas acuáticos que, mediante los servicios ambientales, benefician a las comunidades y economías.

Para propiciar el desarrollo y, a la vez, proteger y restaurar los ecosistemas naturales, los gobiernos tienen que generar normativas y apoyar la aplicación de métodos adecuados para el manejo eficiente e integrado de los recursos acuáticos.

La inclusión del ecosistema dentro de la planeación del recurso agua ha sido ardua, no nada más por la falta de comprensión de su gran importancia en procesos ecológicos de pequeña y gran escala, sino por la dificultad, el costo y tiempo requeridos para determinar la cantidad y frecuencia de los caudales ambientales que se necesitan para mantener a las especies, la función y resiliencia de los ecosistemas acuáticos, así como el bienestar de los pobladores que dependen de los ríos.

Una de las ventajas de la determinación de los caudales ambientales, en ocasiones poco considerada, consiste en que los tomadores de decisiones conocen cuánto del remanente del caudal puede ser utilizado para usos poblacionales, y cuánta alteración en los patrones de flujo natural de los ríos ha sido inducida por el consumo humano. Por lo mismo, la especificación de los caudales ambientales debe ser una tarea indispensable en la planeación sustentable del agua.

La incorporación del conocimiento en ecología de ríos ha demostrado que estos sistemas presentan alta complejidad estructural y, con ello, gran fragilidad, razones por las cuales generalmente no se alcanzaban objetivos de conservación y mantenimiento del sistema de una manera integral y a largo plazo. Tales avances representan un medio para redirigir la tendencia común que aún se observa en muchos países, en donde se hace uso de índices y métodos aplicándolos, arbitraria e indiscriminadamente, a través de diferentes regiones geográficas y tipos de ríos, sin el suficiente entendimiento de las graves implicaciones ecológicas que tiene para el sistema la reducción del flujo a una cantidad mínima, o bien, de un análisis crítico de su posible transferencia a sistemas con características diferentes a aquellas para los que fueron diseñados.

El análisis de las diversas tendencias de cálculo de caudal ambiental nos lleva a observar que estas metodologías han tenido un proceso de evolución acelerado que parte de: 1) la visible necesidad de mantener las condiciones de salud e integridad de los servicios que prestan los sistemas acuáticos epicontinentales, 2) el avance que se ha dado en el conocimiento y entendimiento de la

complejidad ecológica de estos sistemas, y su intrincada interacción con las variables hidrológicas y los ambientes que de él dependen, tal como son los humedales, y 3) la inclusión de factores sociales y económicos en la toma de decisiones para alcanzar un objetivo consensuado y más real de conservación ambiental.

No obstante de la existencia de más de doscientos métodos para la determinación de los caudales ambientales, hasta ahora ninguno ha sido aplicado a escala regional en la que se efectúe el manejo de los recursos acuáticos. Sin embargo, numerosos autores señalan que las metodologías holísticas son más apropiadas que las metodologías de simulación del hábitat, particularmente para los países en desarrollo, debido a la necesidad de enfocarse a la protección de los recursos dentro de un marco ecosistémico, de la fuerte dependencia para la subsistencia y para la generación de bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas acuáticos; así como por la capacidad inherente de las metodologías holísticas para incorporar técnicas avanzadas de la hidráulica, herramientas para la modelación del hábitat y otro tipo de modelos predictivos, además de la inclusión de múltiples componentes del ecosistema que proporcionan mayor información.

El reconocimiento de la importancia del mantenimiento de los caudales ambientales ha detonado un interés internacional para entender las relaciones entre flujo, salud y estabilidad del ecosistema, y que este caudal puede revertir o acelerar los daños que se han venido dando. Los resultados de las investigaciones podrán ser utilizadas para minimizar o mitigar los impactos en los nuevos planes de desarrollo y uso de recurso, rehabilitar impactos causados por desarrollos hidráulicos anteriores y permitir el cálculo del costo de compensación para la población humana que sufre las consecuencias del deterioro causado por un mal manejo del recurso.

La revisión de la literatura permite ver que, en el mundo, ya se cuenta con un gran número de trabajos de aplicación de cálculo de caudal ecológico, y que su aplicación y metodología seleccionada dependen en gran medida de la disponibilidad o acceso de recursos, incluyendo tiempo, datos, presupuesto y capacidad técnica. Sin embargo, es importante remarcar que los casos de mayor éxito e impulso en la implementación de caudales ecológicos son los que se han derivado en países cuyo marco legislativo ha establecido las políticas de manejo del agua, desde una perspectiva de sustentabilidad.

La determinación de los caudales ambientales en los ríos debe constituirse como un proceso urgente pero iterativo, en el cual las acciones del administrador del agua sean evaluadas y monitoreadas para generar una recomendación que varíe en el transcurso del tiempo (modificación continua) a través de la observación,

prueba y evaluación, para lograr un manejo de adaptación e integral de los caudales ambientales.

El costo por la pérdida de los ecosistemas acuáticos es, hasta ahora, indefinido e incalculable económica y ecológicamente. Pero ante los eventos provocados por el cambio climático, debido a la variación de los regímenes de lluvia, dejan ver que no se puede seguir haciendo un mal manejo de los recursos y, mucho menos, mantener una actitud pasiva ante los fenómenos climáticos y ecológicos que aún no se entienden. Es decir, la gestión del agua en los países en desarrollo debe contemplar entre sus planes el apoyo al desarrollo científico que permita entender y, por lo tanto, dar dirección a los esfuerzos para hacer un uso sustentable de los recursos naturales, antes de que se sigan tomando decisiones cuyos altos costos ya están evidenciándose.

Literatura citada

- Alonso-EguíaLis P. 2007. Importancia del estudio de la entomofauna acuática para la conservación y manejo sustentable de sistemas dulceacuícolas de México. Pp. 51-62. En R. Novelo-Gutiérrez y P. Alonso-EguíaLis (eds.) *Simposio Internacional de Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Sociedad Mexicana de Entomología. Jiutepec, Mor. Pp104
- Armour, C.L. y J.G. Taylor. 1991. Evaluation of the instream flow incremental methodology by U.S. Fish and Wildlife Service field users. *Fisheries* 16(5): 36-43.
- Arthington, A.H. 1998. *Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Holistic Methodologies*. Occasional Paper No. 26/98. Land and Water Resources Research and Development Corporation: Canberra, Australia.
- Arthington, A.H. y R. Lloyd (eds.). 1998. *Logan River Trial of the Building Block Methodology for Assessing Environmental Flow Requirements*. Workshop Report. Centre for Catchment and In-stream Research and Department Natural Resources: Brisbane, Australia.
- Arthington, A.H.; S.O. Brizga, S.C. Choy, M.J. Kennard, S.J. Mackay, R.O. McCosker, J.L. Ruffini y J.M. Zalucki. 2000. *Environmental Flow Requirements of the Brisbane River Downstream of Wivenhoe Dam*. South East Queensland Water Corporation, and Centre for Catchment and In-Stream Research, Griffith University: Brisbane, Australia.
- Arthington, A.; S. Bunn, L. Poff y R. J. Naiman. 2006. The Challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4): 1311-1318.
- Barrios, E.; N. Barajas, A. Rodríguez e I. González. 2007. Three models for implementation of environmental flows in Mexico. *Proceeding of 10th International Riversymposium and Environmental Flows Conference*. Brisbane Australia.

- Berkamp, G.; McCartney, M., Dugan, P., McNeely, J., Acreman, M. 2000. *Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration* Thematic Review II.1 prepared as an input to the World Commission on Dams, Cape Town, www.dams.org
- Brown, C. y J. King, 2003. Environmental flows: Concepts and Methods. En R. Davis y R. Hirji (eds.) *Water Resource and Environment* Technical Note 1. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Washington D.C.
- Bunn, S.E. y A.H. Arthington. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30(4):492-507.
- Cavendish, M.G. y M.I. Duncan. 1986. Use of the instream flow incremental methodology: a tool for negotiation. *Environmental Impact Assessment Review* 6: 347-363.
- Córdoba, R. y A. Iza. 2007. Environmental flows and water reform in Central America: Challenge and Opportunities for their implementation. *Proceeding of 10th International Riversymposium and Environmental Flows Conference*. Brisbane Australia.
- Dunbar M.J.; A. Gustard, M.C. Acreman y C.R. Elliott. 1998. Review of Overseas Approaches to Setting River Flow Objectives. Environment Agency R&D Technical Report W6B(96)4. Institute of Hydrology: Wallingford, U.K.
- Dyson, M.; G. Bergkamp y J. Scanlon. 2003. *Flow*. UICN. U.K. 125 pp.
- Fernández Yuste J.A.; C. Martínez Santa-María y F. Martínez Capel. 2006. Régimen ambiental de caudales en el tramo inmediato aguas abajo del embalse El Vado, Guadalajara. *Memorias del 5º Congreso Ibérico*. Faro, Portugal.
- Fischer, S. y H. Kummer. 2000. Effects of residual flow and habitat fragmentation on distribution and movement of bullhead (*Cottus gobio* L.) in an alpine stream. *Hydrobiología* 422/423: 305-317.
- García de Jalón, D. y González del Tánago, M. 2006. El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en ríos españoles. *Memorias del 5º Congreso Ibérico*. Faro, Portugal.
- García-Rodríguez, E.; R. González-Villela, P. Martínez-Austria, J. Athala-Molano y G. Paz-Soldán. 1999. *Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudal de reserva ecológicos en México*. CNA-IMTA. México. 190 pp.
- Gaviño, N. M. 2007. Caudales ambientales, desafíos para la región. Foro Nacional para la Determinación del Uso Ambiental del Agua o Caudal Ecológico en México. IMTA-WWF-Semarnat. Morelos, México. DVD.
- Gómez-Balandra, A.; P. Saldaña-Fabela, E. Gutiérrez-López, C. Lecanda-Terán, J. Izurieta-Dávila y R. Huerto-Delgadillo. 2007. Water allocation to set environmental flows in México. *Proceeding of 10th International Riversymposium and Environmental Flows Conference*. Brisbane, Australia.
- González Villela R. y A. Banderas Tarabay. 2007. Estudio comparativo de tres metodologías para el manejo y cálculo de caudales ambientales en el río Santiago, Nayarit, México. Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas. UAQ-INE-FIRCO. México.

- Hill, M.T.; W.S. Platts y R.L. Beschta. 1991. Ecological and geomorphological concepts for instream and out-of-channel flow requirements. *Rivers* 2(3): 198–210.
- International Commission on Large Dams (ICOLD). 2000. "Bulletin on Dams and Floods". Draft. París.
- IUCN, UNEP, WWF. 1991. *Caring for the Earth. A strategy for sustainable living*. Gland, Switzerland. 228 pp.
- Jiménez, J. 2005. Propuesta de caudales ambientales para el río Tempisque-Costa Rica: Resumen de aspectos biológicos e hidrológicos. Organización de Estudios Tropicales. Reporte.
- King, J.M. y R.E. Tharme. 1994. Assessment of the Instream Flow Incremental Methodology and Initial Development of Alternative. Instream Flow Methodologies for South Africa. Water Research Commission Report No. 295/1/94. Water Research Commission: Pretoria, South Africa.
- King, J.M.; R.E. Tharme y C.A. Brown. 1999. *Definition and Implementation of Instream Flows*. Thematic Report for the World Commission on Dams. Southern Waters Ecological Research and Consulting: Cape Town, South Africa.
- King, J.M.; R.E. Tharme, M.S. de Villiers (eds.). 2000. *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. Water Research Commission Technology Transfer Report No. TT131/00. Water Research Commission: Pretoria, South Africa.
- King, J.; C. Brown y H. Sabet. 2003. A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications* 19 619. 639.
- King, J. y C. Brown. 2006. Environmental Flows: Sticking the balance between development and resource protection. *Ecology and Society* 11(2): 26-47.
- Loar, J.M.; M.J. Sale y G.F. Cada. 1986. Instream flow needs to protect fishery resources. Water Forum '86: World Water Issues in Evolution. Proceedings of ASCE Conference. Long Beach, California, 4-6 August, 1986.
- Ley Orgánica de España. 2007. Reglamento de Aguas. Plan Hidráulico Nacional. España.
- Lytle, D.H. y N.L. Poff. 2004. Adaptation to natural flow regime. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 94-100.
- Milhous, R.T.; M.A. Updike and D.M. Schneider. 1989. *Physical Habitat Simulation System Reference Manual-Version 2*. Instream Flow Information Paper 26. USDI Fish and Wildlife Services, Biology Report 89(16).
- Naiman, R.J.; H. Decamps, and M. Pollock. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications*. 3, 209-212.
- Petts, G. E. 1989. Perspectives for ecological management of regulated rivers. Pp. 3-24. En J.A. Gore y G.E. Petts (eds.) *Alternatives in Regulated River Management*. CRC Press, Florida.
- Poff, N.J.; J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestgaard, B.D. Richter, R.E. Sparks y J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47 (11): 769-784.

- Raven, P. J.; N. T. Homes, M. Naura y F. H. Dawson. 2000. Using river habitat survey for environmental assessment and catchment planning in the U.K. *Hydrobiologia* 422/423: 359-367.
- Revenga, C.; J. Brunner, N., Hennianger, K. Kassem and R. Payne. 2000. *Pylot Analysis of Global Ecosystem: Freshwater Ecosystem*. World Resource Institute: Washington D.C.
- Richter, B.D.; J.V. Baumgartner, J. Powell, and D.P. Braun. 1996. A method for assessing hydrological alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10(4): 1163-1174.
- Richter, B. D.; J. V. Baumgartner, R. Wigington y D.P. Braun. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- Richter, B.D.; A.T. Warner, J.L. Meyer y K. Lutz. 2006. A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations. *River Research and Applications*. 22: 297-318.
- Rodríguez, C. 2007. Determinación de una metodología para estimar el caudal de compensación en los ríos de Costa Rica con base en dos estudios de caso. Taller internacional de compensación (ambiental) en sistemas regulados por proyectos hidroeléctricos. San José, Costa Rica.
- Rosenberg D. M.; P. McCully y C. M. Pringle. 2000. Global-scale environmental effects of hydrological alterations: introduction. *BioScience* 50 (9): 746-751.
- Stalnaker, C.B. and S.C. Arnette. 1976. Methodologies for the Determination of Stream Resource Flow Requirements: An Assessment. US Fish and Wildlife Services, Office of Biological Services Western Water Association.
- Stalnaker, C.B. 1982. Instream flow assessments come of age in the decade of the 1970's. Pp. 119-142. In Mason W.T. and S. Iker (eds.) *Research on Fish and Wildlife Habitat*, EPA-600/8-82-022. Office of Research and Development. US Environmental Protection Agency: Washington, D.C.
- Stalnaker, C.B. 1998. The Instream Flow Incremental Methodology. In Blazkova S.; C. Stalnaker and O. Novicky (eds.). *Hydroecological Modelling. Research, Practice, Legislation and Decision-making*, Report by US Geological Survey, Biological Research Division and Water Research Institute, Fort Collins, and Water Research Institute, Praha, Czech Republic. VUV: Praha; 9-11.
- Steward, H.J.; E.K. Madacombe, C.C. Topping. 2002. Adapting environmental flows technologies for Zimbabwe. *Proceedings of Environmenal Flows for River System and 4th International Ecohydraulics Symposium*. Southern Waters, Cape Town, South Africa.
- Stewardson, M. and C. Gippel. 1997. In-stream Environmental Flow Design: A Review. Draft Report. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Melbourne: Victoria, Australia.
- Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1(4): 6-10.
- Tharme, R.E. 1996. Review of International Methodologies for the Quantification of the Instream Flow Requirements of Rivers. Water law review final report for policy development for the Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria. Freshwater Research Unit, University of Cape Town, South Africa.

- Tharme, R.E. 2000. An overview of environmental flow methodologies, with particular reference to South Africa. Pp. 15-40. In King J.M.; Tharme R.E. and M.S. de Villiers (eds.). *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*, Water Research Commission Technology Transfer Report No. TT131/00. Water Research Commission: Pretoria, South Africa..
- 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 Reserarch and Applications* 19. 397-441.
- The Nature Conservancy (TNC). 2006. Ecological limits of hydrologic alteration. Integrating environmental flows with regional water management. The Nature Conservancy. Sustainable Waters Program. Boletín. 1-4.
- Trihey, E.W. and C.B. Stalnaker, 1985. Evolution and application of instream flow methodologies to small hydropower developments: an overview of the issues. In White, R.G. and R.H. Hamre (eds.) *Proceedings of the Symposium on Small Hydropower and Fisheries*, Olson. Aurora, C.O. United States Geological Survey (USGS). 2000. <http://www.mesc.usgs.gov/rsm/IFIM.html>
- Ward, J.V. y J.A. Stanford. 1987. The ecology of regulated streams: past accomplishments and directions for future research. Pp. 391-409. In Craig, J.F. and J.B. Kemper (eds.) *Regulated Streams: Advances in Ecology*. Plenum Press: New York.
- World Commission on Dams (WCD). 2000. Dams and Development. A New Framework for Decision-making. The report of the World Commission on Dams. Earthscan Publications: London.
- World Commission on Environment and Development. 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.
- World Meteorological Organization (WMO). 1992. International Conference on Water and the Environment: development issues for the 21st Century. 26-31 January 1992, Dublin, Ireland, The Dublin statement and report of the conference, World Meteorological Organization, Hydrology and Water Resources Department, Geneva, Switzerland.

Nota

¹ The Brisbane Declaration. Environmental Flows are Essential for Freshwater Ecosystem Health and Human Well-Being. 10th International Riversymposium and International Environmental Flows Conference. Australia. www.riversymposium.com.

ASPECTOS ECOLÓGICOS DE IMPORTANCIA EN LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL

Perla Alonso-EguíaLis¹ y Patricia Moreno-Casasola²

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Mor. 62550, palonso@tlaloc.imta.mx. ²Instituto de Ecología A.C., km 2.5 Ant. Carretera a Coatepec 351, Las Hayas, Apdo. Postal 63, Xalapa 91000, patricia.moreno@inecol.edu.mx

Resumen

Las metodologías de cálculo de caudal ambiental o ecológico deben considerar que los ecosistemas fluviales y humedales asociados se encuentran ligados a una compleja e intrincada red basada en variables hidrológicas con escala espacial y temporal, integrados a nivel de cuenca. Este trabajo analiza las principales teorías que hasta ahora explican la complejidad de los sistemas acuáticos naturales epicontinentales, e incluye la integración de procesos dependientes de las dimensiones longitudinal, lateral, verticalidad y temporal. A su vez, resalta la importancia de la dinámica hidrológica natural como fuerza directriz en la estabilidad de procesos que permite entender y dimensionar las causas que dan origen a la biodiversidad, productividad y sustentabilidad de estos ambientes. Se mencionan los fundamentos teóricos sobre los cuales se debe basar la conservación y manejo de los sistemas acuáticos y las consecuencias ecológicas más significativas provocadas por la modificación del caudal a nivel físico y biológico, señalando de manera enfática la necesidad de implementar caudales ambientales que imiten lo más cercanamente posible el comportamiento natural. Finalmente, se resalta la necesidad de incrementar los estudios ecológicos en sistemas hidrológicos mexicanos que permita, bajo una visión integral y de sustentabilidad, aplicar una metodología multidisciplinaria y holística de cálculo de caudal ambiental adecuada a cada sistema.

Abstract

Environmental or ecological flow methodologies should take into consideration that associated river ecosystems and wetlands are linked to a complex and intricate network based on hydrological variables with a spatial and temporal scale, integrated at watershed level. This paper analyzes the main theories that explain the complexity of natural epicontinental aquatic systems, and includes the integration of processes that depend on longitudinal, lateral, vertical, and temporal dimensions. It also highlights the importance of natural hydrological dynamics as a guiding force in the stability of processes for understanding and dimensioning the causes that give origin to the biodiversity, productivity, and sustainability of these environments. The theoretical bases on which the conservation and management of aquatic systems should rest are given, and the most significant ecological consequences caused by the modification of the flow at a physical and biological level are mentioned, stressing the need for

implementing environmental flows that closely mimic natural behavior. Lastly, the need to increase ecological studies in Mexican hydrological systems is emphasized, so that an adequate multidisciplinary and holistic environmental flow calculation methodology, with an integrated and sustainability-oriented approach, can be applied to each system.

Introducción

La reciente necesidad de predecir y evitar el impacto asociado al uso del agua, así como establecer un manejo que permita el mantenimiento de la biota del río y de los humedales dependientes del mismo, y brinde servicios ambientales, ha dado lugar al surgimiento de una nueva disciplina dirigida a la modelación y cálculo del caudal ecológico o caudal ambiental. Décadas de observación de los efectos que el hombre ha causado sobre los regímenes naturales de flujo de agua, han llevado a entender que la alteración continua de la cuenca hidrográfica para satisfacer las demandas sociales y económicas, han creado un daño severo en la integridad de los sistemas que lo conforman. Por ello, se hace urgente establecer medidas de protección con bases científicas multidisciplinarias que den una solución a las necesidades económicas y sociales de uso del agua, pero que al mismo tiempo, protejan las funciones básicas de los ecosistemas acuáticos, así como los servicios ambientales que proporcionan.

Desafortunadamente, los recientes avances para comprender la relación entre las variables hidrológicas y la integridad del sistema fluvial, han sido poco considerados en los cálculos de desarrollo e implementación de los llamados caudales ambientales. Hasta ahora, virtualmente todos los modelos desarrollados para este fin han sido muy criticados por su "visión simplista y reduccionista de un sistema altamente complejo", como son los sistemas acuáticos y humedales asociados, y la relación existente entre los factores físicos, químicos y procesos ecológicos que les dan sustento (Tharme, 2003).

A la fecha en México aún no se aplica de manera sistemática ninguna metodología de cálculo de caudal ambiental, que asegure la conservación y uso sustentable de los sistemas acuáticos, razón por la cual actualmente la Comisión Nacional del Agua se encuentra desarrollando un anteproyecto de Norma Oficial Mexicana que establezca el procedimiento para la determinación de los caudales para la conservación ecológica en cuencas hidrológicas, de acuerdo como lo define la Ley de Aguas Nacionales. Esta tentativa de norma específica entre otras cosas que: *"Para fijar los caudales para la conservación ecológica, además de los aspectos hidrológicos, se debe conocer el ecosistema fluvial, en especial, tres componentes interdependientes que permiten mantener su integridad: a) La dinámica geomorfológica y las propiedades físico-químicas del agua. b) El hábitat y los organismos acuáticos que forman las comunidades del río, tomando en cuenta el medio intersticial del lecho, refugio vital de comunidades*

fluviales. c) La ribera que limita al ecosistema lateralmente, de gran diversidad y estabilidad para el cauce.

Y especifica “Es deseable que la determinación del caudal para la conservación incluya estos componentes, sin embargo, está limitado por la cantidad de información, la complejidad, el tiempo, el costo y los especialistas requeridos. No obstante, es conveniente establecer la información mínima necesaria para la toma de decisiones de la “Autoridad bajo el marco jurídico aplicable”.

Bajo este contexto, en junio del 2007 se lleva a cabo el “Foro Nacional para la determinación del uso ambiental o caudal ecológico en México”, en donde se hace un análisis desde un enfoque multidisciplinario de la problemática involucrada en la implementación de esta herramienta en México, pero además se evidencia la carencia de información de tipo transversal entre las diferentes disciplinas involucradas en su aplicación, particularmente entre los conceptos que se manejan desde el enfoque hidrológico y su estrecha interrelación con la dinámica ecológica de los ecosistemas acuáticos.

Por ello el objetivo de este artículo es analizar las bases ecológicas que dan integridad a los sistemas acuáticos epicontinentales, tratando de evidenciar la importancia de considerar en los cálculos de caudal ambiental, la compleja conectividad que existe entre la resiliencia y resistencia del sistema y el patrón de la variabilidad del flujo natural como la característica o variable maestra que determina las condiciones ecológicas de los sistemas acuáticos epicontinentales, que a su vez es el reflejo de las condiciones geológicas, geográficas y topográficas particulares de cada área (Statzner y Higler, 1986; Power *et al.*, 1995; Resh *et al.*, 1998; Poff *et al.*, 1997).

Una evaluación holística basada en un marco espacio-temporal de cuenca, permitirá una comprensión más completa de la dinámica estructural, funcional y jerárquica de los ecosistemas acuáticos naturales y por ende el manejo y recuperación necesarios para su conservación y explotación sustentable a través de los caudales ambientales o ecológicos.

El complejo ambiental río-humedal-manto freático

Los sistemas acuáticos epicontinentales se dividen, de manera general, en ambientes tipo lóticos (ríos y arroyos) y lénticos (lagos y humedales), lo que implica una importante diferencia en las respectivas dinámicas ecológicas, determinadas por la cinética del sistema y los organismos que en él predominan. Cabe decir que no importa cual sea el tipo de dinámica de los sistemas acuáticos, éstos se encuentran íntimamente ligados al sistema terrestre que los rodea, ya que reciben materia y energía externa (alóctona) y producen materia orgánica propia (autóctona), metabolizadas y recicladas dentro del sistema.

Los sistemas lóticos representan una insignificante cantidad (0.001 o 0.1%) de la superficie del planeta, y solamente el 0.0001% del agua de la Tierra se encuentra contenida en ellos (Shiklomanov, 1999). Hoy en día, entre tres y seis veces más, el agua de los ríos está represada (Millenium Ecosystem Assessment, 2005), y gran parte del resto se encuentra contaminada y frecuentemente entubada, lo cual ha tenido ya un impacto de consideración en la biota y hábitats de ríos y humedales. En contraste con dichas cantidades, la importancia de estos sistemas es de enorme significado para el ser humano, no sólo por ser fuente del vital líquido, sino además por la gran cantidad de servicios ambientales que ofrece, como se observa en el cuadro 1 (Wetzel, 2001). Además, los sistemas dulceacuícolas conjuntan una alta biodiversidad, particularmente si se relacionan con la superficie tan baja que ocupan. Se calcula que es mayor en un 10% con respecto a los sistemas terrestres y 150% mayor que la de los océanos (McAllister *et al.*, 1997; Groombridge y Jenkins, 1998).

Los sistemas lénticos por su parte, conjuntan una gran diversidad de humedales, comparten características con los sistemas terrestres y con los sistemas lóticos. Sin embargo, hay dos características que los hacen únicos (Van der Valk, 2006) y los separan. La primera es la presencia de suelos anaeróbicos. Estos suelos se producen porque el oxígeno disuelto en el agua de saturación que se distribuye en los poros del suelo es rápidamente utilizado por los microorganismos, convirtiéndose en un factor limitante para la vida de muchas plantas y animales. El segundo factor que distingue a los humedales del resto de sistemas acuáticos es la presencia de grandes plantas, llamadas macrófitas con adaptaciones que les permiten tolerar la inundación (Batzler y Sharitz, 2006). Estas plantas, que conjuntan formas de crecimiento como son árboles, arbustos, hierbas y helechos, son los productores primarios, es decir, los organismos que ocupan el primer eslabón de la cadena alimenticia y captan la energía solar transformándola en materia que, posteriormente fluye a través de la red trófica.

Los humedales estarán presentes de manera general cuando las condiciones hidrológicas ejercidas por el clima, la topografía, la geología y los suelos producen saturación superficial con una duración suficiente para formar condiciones que favorezcan competitivamente a las macrófitas o plantas acuáticas. Desde un punto de vista geomorfológico, los humedales se presentan bajo un conjunto limitado de situaciones, incluyendo las planicies de inundación, en áreas de nivel freático somero o superficial, en zonas con descarga del manto freático y en márgenes continentales. Las planicies son dinámicas y complejas, y con el tiempo coleccionan características fluviales relictas (Hupp, 2000; Leigh *et al.*, 2004), algunas de las cuales son conducentes a formar humedales. En México, las extensiones mayores de humedales se localizan en las planicies de la zona costera, ligadas al flujo y derrame de grandes ríos, por ejemplo: Papaloapan, Grijalva, Usumacinta y San Pedro, entre otros. La figura 1 ilustra la variedad

Cuadro 1. Servicios y bienes ambientales brindados por los ecosistemas acuáticos.

<p>Funciones de regulación <i>Capacidad de los sistemas naturales y seminaturales para regular procesos ecológicos esenciales y como sistemas que sostienen y proveen vida</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos y de calidad de aire • Regulación del clima (amortiguamiento de eventos extremos) • Control de avenidas • Proveedores de agua (recarga de acuíferos por filtración y almacenamiento) • Retención de suelo y nutrientes (control de erosión) • Estabilización de línea costera y control de erosión • Formación de suelo y mantenimiento de su fertilidad • Fijación bioenergética • Retención de sedimentos • Purificación de sustancias tóxicas • Control biológico natural de plagas
<p>Función como hábitat <i>Refugio y sitios de reproducción de plantas y animales (y población humana nativa) manteniendo una alta diversidad biológica y genética</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Refugio para especies migratorias y residentes • Sitios de reproducción • Alta biodiversidad
<p>Función como generadores de productos <i>Se consideran productos aquellos componentes directamente explotables por el hombre y de los cuales éste obtiene un beneficio económico</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alimento • Recursos forestales • Generación de combustibles • Áreas de alta productividad agrícola • Medicinas (drogas, antibióticos, etc.) • Recursos genéticos • Recursos ornamentales • Almacenamiento y generador de recursos hídricos
<p>Función estética y de recreo <i>Son aquellos componentes de los humedales que poseen valor por sí mismos o porque dan pie a otros usos, aunque no necesariamente son utilizados. Su valor se realza si el humedal se mantiene intacto o preservado</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estética • Recreación • Valores culturales y religiosos • Inspiración cultural y artística • Valor científico actual y de referencia

de humedales y características fluviales que se presentan en una planicie de inundación y/o con influencia de escurrimientos subsuperficiales de agua (Yetter, 2004).

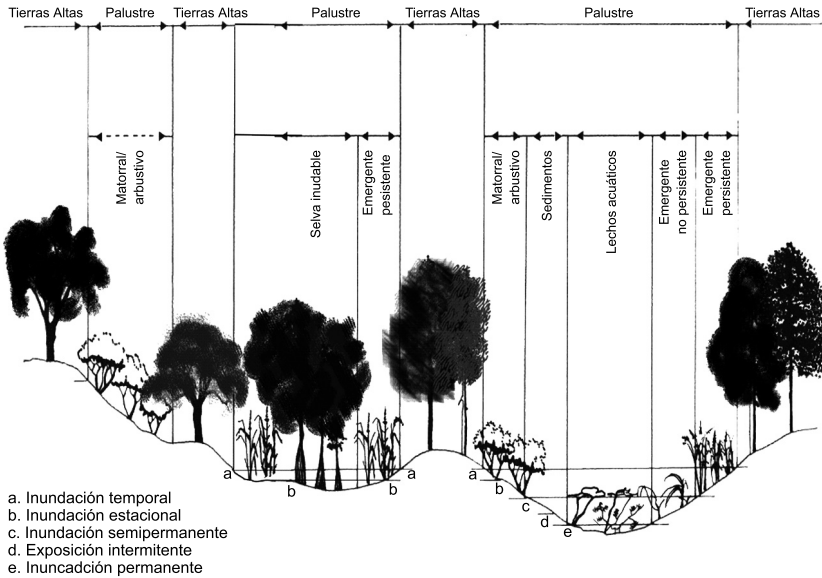


Figura 1. Humedales asociados a la planicie de inundación a los lados del río, dependientes del flujo de derrame del propio río (tomado y modificado de Cowardin *et al.*, 1979).

Procesos y patrones ecológicos en sistemas acuáticos

La fragilidad y complejidad ecológica de los sistemas acuáticos epicontinentales reside en una intrincada interacción a escala espacio-temporal que puede explicarse en cuatro dimensiones (Ward, 1989):

1. La dimensión longitudinal, explicada por el concepto "río continuo" (Vannote *et al.*, 1980). Su base es el movimiento longitudinal, como lo especifica la teoría de equilibrio energético de la geomorfología fluvial, o principio de equilibrio dinámico (Leopold y Maddock, 1953). Básicamente, el concepto propone que para entender las estrategias biológicas y dinamismo de los sistemas fluviales, es necesario considerar los diferentes gradientes físicos que se producen a lo largo de la red hidrológica de la cuenca, desde la cabecera hasta su salida. Contemplan el orden del cuerpo de agua, de tal manera que la energía de ingreso y el transporte de la materia orgánica, almacenaje y uso por los diferentes grupos alimenticios funcionales se regulan de manera importante por los procesos geomórficos fluviales y el orden del río o arroyo. Esto implica que las comunidades biológicas presentan cambios o sucesiones predecibles en sus propiedades estructurales y funcionales, incluyendo su biodiversidad, características, tipo de materia orgánica y metabolismo.

2. La dimensión lateral, vertida en el concepto “pulso de inundación” (Junk *et. al.*, 1989; Middleton, 1999), que se enfoca en la importancia del intercambio lateral del agua, nutrientes y organismos entre el cauce del río, vaso del lago o humedal, y su conexión terrestre o área de inundación. La inundación y la sequía periódica (pulsos de inundación) o hidroperiodo es el patrón estacional del nivel del agua que permite entender y explicar las variaciones anuales, estacionales y diarias de la dinámica del nivel del agua. El hidroperiodo es particular de cada sistema como se puede observar en los ejemplos mostrados en la figura 2, constituye la fuerza directriz del complejo sistema río-área de inundación, por lo que esta área es considerada como parte integral del sistema de relación periódica entre el río y la zona de transición terrestre-acuática. La periodicidad de estas pulsaciones, optimizan e incrementan la productividad, descomponen todo lo que se produce mejorando la eficiencia del uso de los nutrientes (Mitsch y Gosselink, 2000). La figura 3 muestra algunos de los procesos biológicos de la especie *Taxodium distichum* asociados a los pulsos de inundación.
3. La dimensión vertical, establecida a través de la relación de la llamada zona hiporreica (Stanford y Ward, 1988; Boulton *et al.*, 1998; Boulton, 2000; Batzer y Sharitz, 2006), considerada zona de ecotono o interfase activa entre el lecho del río y el agua subterránea. En éste se llevan a cabo procesos de intercambio de agua, nutrientes, diversos materiales y biota. Asimismo, se desarrollan procesos ecológicos importantes, y sus requerimientos y productos se ven influenciados a diferentes escalas por las características del movimiento del agua, la permeabilidad, el tamaño de las partículas del sustrato, la biota residente y las características fisicoquímicas propias de la capa superior del sustrato del río y acuíferos adyacentes. El concepto “corredor hiporreico” (Stanford y Ward, 1993) enfatiza la conexión e interacción entre esta región y la cuenca, observando los componentes laterales que conectan a las zonas riparias y acuíferos de inundación (arriba de 3 km), a partir del canal principal, y que generan un amplio sector del paisaje cuya variabilidad temporal se relaciona con el grado de conexión y el régimen de descarga en el río (Stanford *et al.*, 1994).
4. La dimensión o escala temporal, la cual determina, junto con la escala espacial, los cambios geomorfológicos y los procesos bióticos relacionados (Frissell *et al.*, 1986; Allan, 1995; Mitsch y Gosselink, 2000; Dodds, 2002). Por lo tanto, en periodos de años a décadas, un mismo río puede generar hábitats efímeros, estacionales y/o permanentes.

Actualmente, existe un consenso general entre la comunidad científica en cuanto a que el régimen de flujo es el principal factor estructurante de los sistemas acuáticos epicontinentales. Ello significa que la integridad de los sistemas acuáticos y la conservación de su biodiversidad residen, principalmente, en sus características de *dinamismo hidrológico natural* (Poff y Ward, 1989; Pickett *et al.*, 1992; Walker *et al.*, 1995; Holling y Meffe, 1996; Hughes,

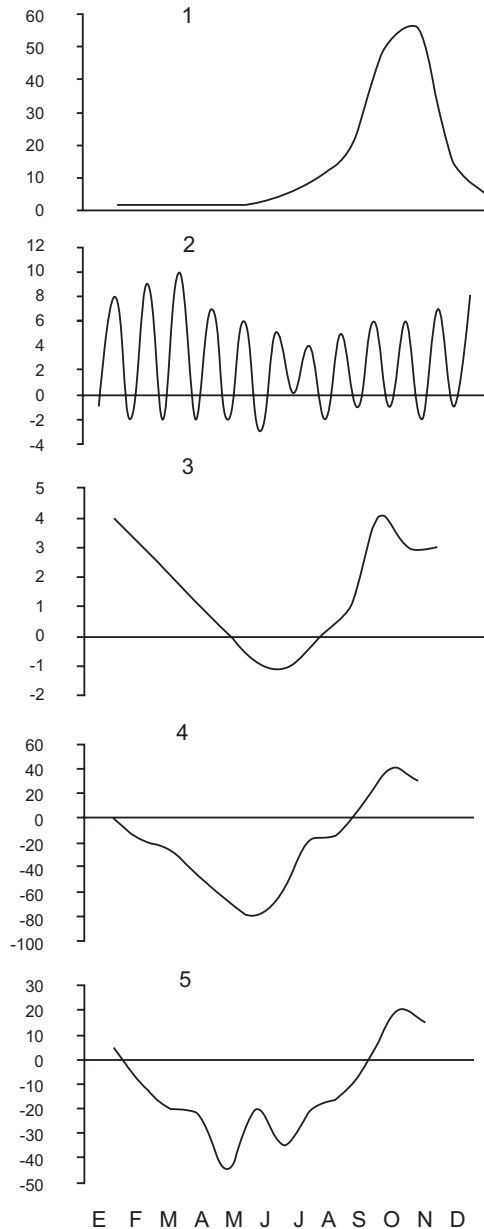


Figura 2. Hidropatrones de diferentes tipos de sistemas: 1) río Volta, África, 2) humedal de una marisma con influencia de la marea, 3) humedal herbáceo permanentemente inundado y de poca fluctuación, 4) humedal herbáceo (popal-tular) de *Sagittaria lancifolia* y *Typha dominguensis* y 5) selva inundable de *Annona glabra* (tomados y modificados de Keddy, 2000; Mitsch y Gosselink, 2000; Setter, 2004). Los valores del eje Y están dados en centímetros.

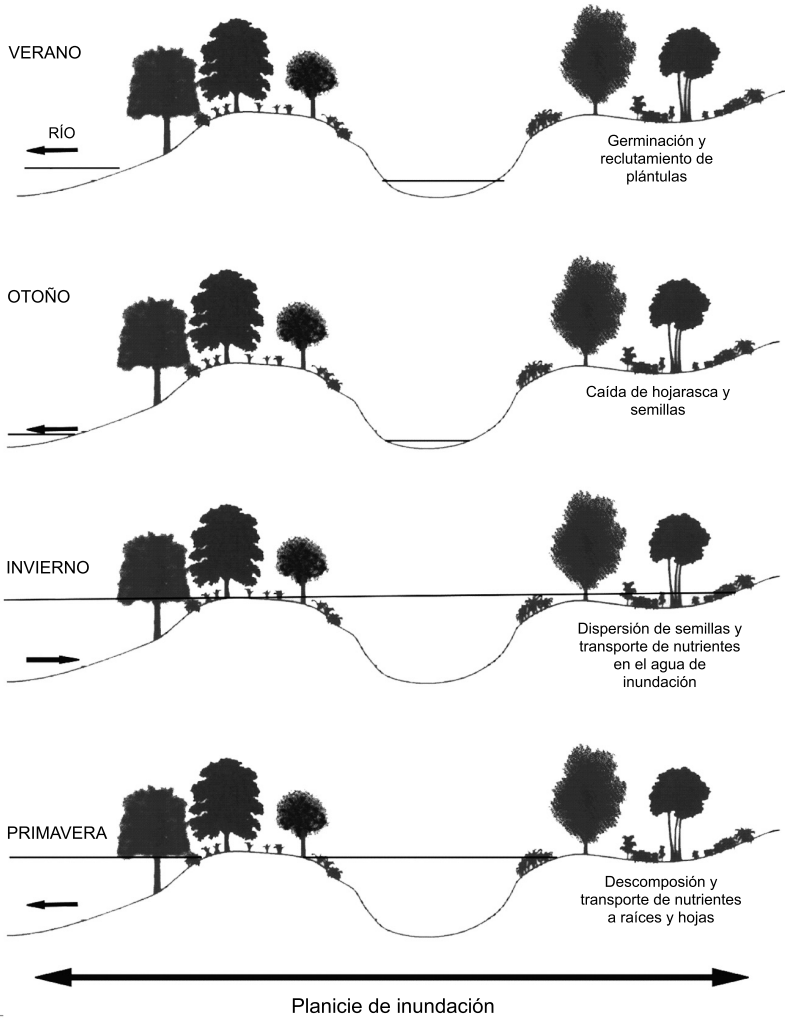


Figura 3. Pulsos de flujo a través de los canales de arroyos y la planicie de inundación en un bosque inundable de cipreses de pantano (*Taxodium distichum*) (modificado de Middleton 1999). En México, los mayores niveles de inundación se producen a finales de verano, en otoño y parte del invierno. En cada época se desarrollan procesos importantes para el mantenimiento del bosque, los cuales están íntimamente relacionados con los niveles de inundación.

1994 y 1997; Stanford *et al.*, 1996) de escala espacio-temporal de gran alcance, que da origen y permite el funcionamiento e integridad de estos sistemas como se muestra en la figura 4. Se basa en el paradigma de flujo natural (Poff *et al.*, 1997), sustentado en cinco componentes del régimen hídrico:

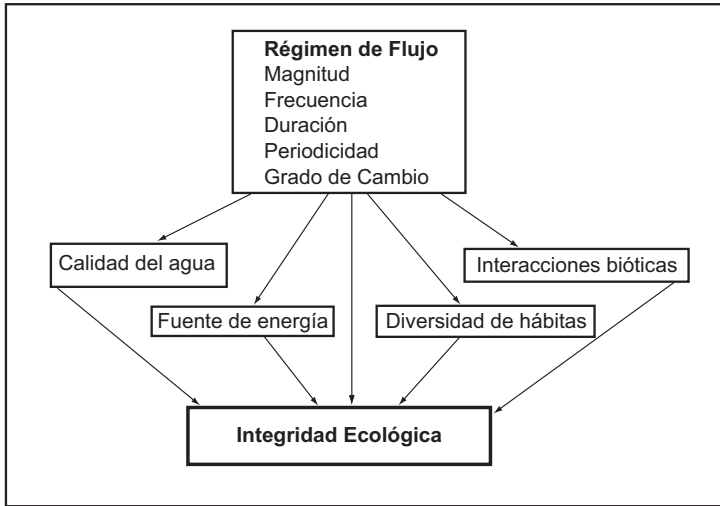


Figura 4. Relaciones de dependencia entre las variables hidrológicas y las condiciones que le brindan integridad ecológica a un sistema acuático (tomado de Poff *et al.*, 1997).

- Magnitud de descarga: cantidad de agua que pasa en un punto fijo por unidad de tiempo. Las magnitudes máximas y mínimas de las descargas varían con el clima y el tamaño de la cuenca.
- Frecuencia de ocurrencia: se refiere a la recurrencia con que se presenta un flujo de cierta magnitud en un intervalo de tiempo específico. Es, en general, inversamente proporcional a la magnitud
- Duración: es el periodo de tiempo asociado con las condiciones específicas de flujo.
- Periodicidad: es la regularidad de ocurrencia con que se presenta una magnitud definida, referida a diferentes escalas de tiempo.
- Grado de cambio: se refiere a la rapidez con que el flujo cambia de una magnitud a otra.

Los procesos hidrológicos de la cuenca de los cuales depende el caudal natural incluye la interceptación, infiltración, flujo de derrame, interflujo, percolación, evapotranspiración, flujo del manto freático y área de escorrentía variable. Los flujos de derrame y el interflujo son de particular importancia para los humedales de la planicie de inundación que bordea a los ríos. Cuando la precipitación excede las tasas de infiltración del suelo, el exceso de lluvia corre sobre la superficie del suelo, creando un escurrimiento superficial, denominado flujo de derrame que inunda la planicie de inundación. El interflujo es el flujo somero lateral, subsuperficial, que se mueve casi de manera paralela a la superficie del suelo sobre un horizonte rocoso o un suelo que

impide el paso del agua. El interflujo, durante o inmediatamente después de la lluvia, es análogo al flujo de derrame, ya que se produce cuando un evento de precipitación produce agua que fluye a través de un horizonte del suelo más rápidamente de lo que el siguiente horizonte de suelo puede aceptar. Las tasas de infiltración de agua también son importantes, sobre todo en los paisajes que rodean a los humedales y sistemas acuáticos, ya que pueden tener efectos significativos en dirigir el agua hacia los humedales (Batzer y Sharitz, 2006).

El volumen del caudal y su temporalidad también están correlacionados con características fisicoquímicas del río como son la temperatura del agua y la geomorfología del cauce y, con ello, la diversidad de hábitats que, a su vez, da lugar al aumento o disminución de la biodiversidad. Estas variaciones del flujo o caudal, mencionados en la literatura de humedales como hidropatrón cuando se conoce su periodicidad, es el operador dominante de su ecología. Las diferentes frecuencias de aparición temporal se permitirá la presencia de estructuras comunitarias diferentes (King *et al.*, 1996; Brooks, 2000; Acosta y Perry, 2001; Boix *et al.*, 2001) La figura 5 muestra los diferentes procesos geomorfológicos y ecológicos que se generan como consecuencia de las diferencias en nivel del caudal y su temporalidad .

Es importante mencionar que la mayor riqueza de anfibios y macroinvertebrados se localiza en humedales con hidropatrones de inundación larga, pero no permanente (Whiles y Goldowitz, 2005; Paton y Crouch, 2002). Los hidropatrones afectan las comunidades de plantas mediante la duración del periodo de inundación, así como también a través de la profundidad que alcanzan (David, 1996; Newman *et al.*, 1996; Baldwin *et al.*, 2001; Steven y Toner, 2004). Actúan como un filtro de selección de las especies que se pueden establecer y afectan procesos como la reproducción de especie animales y vegetales, y la dispersión de propágulos (Infante y Moreno-Casasola, 2005), al mismo tiempo influyen de manera importante en la tasa de descomposición del material orgánico (Battle y Golladay, 2001).

Por otra parte los procesos físicos, especialmente el movimiento del agua y sedimento dentro del canal y entre éste y la planicie de inundación, definen el tipo de estructura física del cauce y con ello los tipos de hábitat o hidrohábitats como son: rápidos (secciones de gran turbulencia y poca profundidad), pozas (áreas profundas con velocidad relativamente baja) y corredores (áreas con movimiento rápido de agua pero cuya superficie es tranquila), cascadas, meandros y planicies de inundación.

El sedimento, también llamado caudal sólido, es uno de los aspectos de mayor importancia para los sistemas acuáticos, por dos razones. En primer lugar, por su aporte de nutrientes y, en segundo lugar, como conformadores de geoformas y

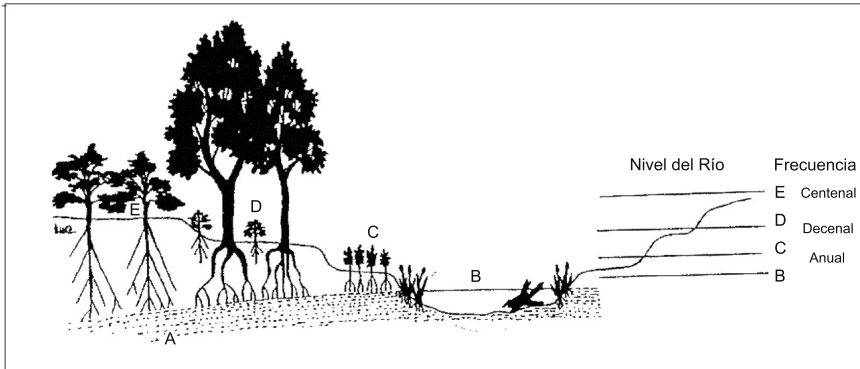


Figura 5. Procesos geomorfológicos y ecológicos generados por los diferentes niveles de caudal y sus frecuencias de aparición en el tiempo: A) región hiporreica, ecotono alimentado por el manto freático y cauce inundado, B) flujos de temporalidad y tamaño variable, mantienen la diversidad riparia y hábitats acuáticos, C) flujos de tamaño intermedio, influye sobre niveles bajos de planicie de inundación, importantes para la acumulación de materia orgánica, D) flujos mayores de aparición decenal inundan las terrazas y E) flujos muy grandes con periodicidades mayores modifican la vegetación riparia, generalmente impactando las raíces y arrastrando las grandes (tomado y modificado de Poff *et. al.*, 1997).

estructuradores del cauce (Pinay y Climent, 2002; Nilsson y Svedmark, 2002). En la zona costera los sedimentos arrastrados contribuyen a elevar el nivel de suelo del humedal. La historia del río Mississippi es un claro ejemplo de los efectos que se provocan al alterar el ingreso del caudal sólido. Desde principios del siglo XX, se construyeron diques a los lados para evitar inundaciones. Al no derramarse sobre los humedales, dejó de movilizar sedimentos hacia el delta. Los humedales costeros que forman el delta del río comenzaron a desaparecer al quedar sumergidos bajo agua y el mar le fue ganando espacios a la tierra (Day *et al.*, 1999); así, se perdieron los servicios ambientales de protección costera que prestaban estos humedales. Ello colocó a la ciudad de Nueva Orleans en una situación de mayor vulnerabilidad, como pudo verse con el paso del huracán *Katrina*. Esta función cobra importancia hoy en día bajo los escenarios de cambio climático y elevación del nivel del mar.

Criterios ecológicos para el cálculo de caudal ambiental

Para entender y dimensionar las causas que dan origen a la biodiversidad, productividad y sustentabilidad de un ecosistema fluvial y de los humedales asociados, es necesario entender y valorar el papel central que juegan los patrones de variabilidad natural del sistema hidrológico o hidropatrones. Éstos se reconocen como la variable fundamental que mantiene y conserva la diversidad y la integridad ecológica en ríos y ecosistemas dependientes de dicho sistema (Nilsson y Svedmark, 2002). Este hidropatrón es determinante

para el tipo de hábitats y comunidades que se establecen y se le reconoce como la firma de cada sistema acuático en particular (Mitsch y Gosselink, 2000; Batzer y Sharitz, 2006). Por lo tanto, los fundamentos teóricos sobre los cuales se deben basar la conservación y manejo de los sistemas acuáticos, así como la dirección de metodologías de cálculo de caudal ambiental o ecológico son los siguientes:

- La biota de un río se asocia con las variaciones hidrológicas naturales (aumento y disminución del caudal). Esta característica apunta a que los organismos que habitan el río están adaptados por completo a las características naturales, sin importar que tan extremo, variable o poco predecible pueda parecer y, por ello, son dependientes de esta variación. Así, el control y liberación de caudales con comportamientos que guardan poca similitud con el natural, pueden constituirse en disturbios o factores de impacto para todo el sistema fluvial.
- La biota de un humedal asociado depende de los flujos que permiten la inundación de la planicie; las diferencias en la magnitud del flujo y en la topografía determinan el tipo de humedal y su extensión (Flores-Verdugo *et al.*, 2007). Asimismo, determinan comportamientos fenológicos de las especies como, por ejemplo, la época de germinación y establecimiento de especies (Middleton, 1999; Infante y Moreno-Casasola, 2005), al igual que en el punto anterior.
- La identificación de los componentes más importantes del régimen del flujo natural y su incorporación, como parte del régimen de flujo modificado, permitirá el mantenimiento de la biota natural y de los procesos que le dan estabilidad y resiliencia al sistema río-planicie de inundación. El régimen del flujo de agua es particular a cada sistema.
- Ciertas magnitudes de flujo influyen en la geomorfología del canal más que otras. La identificación de estos flujos y su incorporación dentro de un régimen de flujo modificado podría dar mantenimiento a la estructura del canal y, con ello, a la diversidad de los hidrohábitats o biotopos creados por la variación de la corriente, así como la de los humedales asociados.
- El mantenimiento de los patrones naturales de conectividad longitudinal y lateral es esencial para la viabilidad de las poblaciones de muchas especies, así como la conservación de la estructura, biodiversidad y servicios ambientales que proporcionan estos sistemas.
- La invasión y el éxito de especies exóticas e introducidas en los ríos y humedales, se ve facilitada por la alteración de los regímenes de flujo (López-Rosas *et al.*, 2006).

Es importante también considerar que las condiciones extremas, como las grandes avenidas estacionales, brindan la oportunidad de acarreo de sedimento y liberación de espacios intersticiales dentro del sustrato rocoso que permite la ovoposición de muchas especies de macroinvertebrados y peces. A su vez,

las desecaciones temporales de muchos sistemas, generalmente en regiones áridas, dan lugar a la presencia de organismos con adaptaciones fisiológicas que requieren de estrés hídrico para completar sus ciclos de vida. La figura 6 muestra la dependencia entre el régimen hidrológico natural y su temporalidad, con patrones biológicos básicos como son historias de vida de especies acuáticas, mantenimiento del canal y con ello diversos hábitats y alta biodiversidad; Estos procesos mantienen el equilibrio y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos y evitan la entrada de especies invasoras o exóticas.

Por tanto, la integridad de un ecosistema depende de una gran cantidad de factores que se encuentran interrelacionados de manera compleja. Sin embargo, un sistema sujeto a disturbios externos puede conservar su integridad, siempre y cuando preserve la mayoría de sus componentes (biodiversidad), así como las relaciones funcionales entre éstos.

Consecuencias de la modificación del caudal

La manera en la que las comunidades ecológicas acuáticas y los humedales asociados se ven afectados por el manejo y modificación del caudal provocados por acciones como represamiento, derivación, canalización entre otros,

Biodiversidad acuática y régimen de flujos naturales

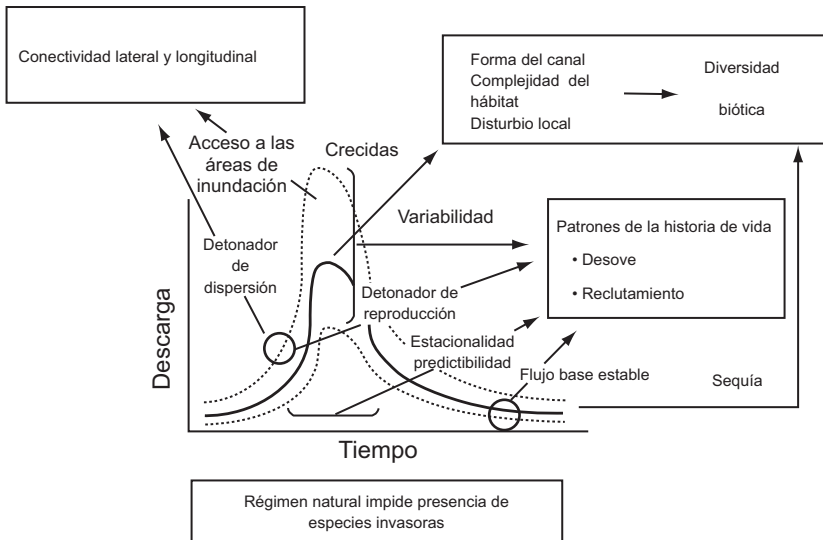


Figura 6. Esquematación de la influencia del régimen de flujo natural sobre los procesos geomorfológicos y biológicos de la diversidad acuática (tomado y modificado de Bunn y Arthington, 2002).

dependerá de una compleja interrelación de factores que incluyen: extensión, duración y rapidez de la variación hídrica; la estación del año, la morfometría y el estatus trófico del cuerpo de agua, así como del clima de la región (Richter *et al.*, 1996, 1997), mientras que las temperaturas extremas y la desecación afectan directamente a la biota que queda atrapa en la zona expuesta (Ward, 1987).

Los trabajos enfocados a evaluar el impacto causado por las alteraciones al flujo hídrico se basan principalmente en las afectaciones causadas por la construcción y manejo de presas. Datan de treinta años atrás, por lo que a la fecha se cuenta con gran número de estudios que constatan cómo la alteración del flujo natural impacta de manera drástica los ecosistemas acuáticos (Fisher y LaVoy, 1972; Sklar y Conner, 1979; Bradley y Smith, 1986; Rood y Heinze-Milne, 1989; Copp, 1990; Nilsson *et al.*, 1991; Smith *et al.*, 1991; ICOLD, 1997; Alonso-EguíaLis, 2004) y constantemente está siendo actualizada. Entre los impactos más importantes provocados por las presas están: rompimiento de las rutas de migración de especies animales acuáticas, fragmentación de hábitat, aislamiento de poblaciones, mortalidad de larvas y juveniles, cambio en las rutas preferentes del flujo de energía y en el ciclo de nutrientes, alteración del régimen de temperatura y química del agua, transformación del régimen de flujo de agua en los humedales cuenca abajo y su reducción en superficie y, finalmente, la declinación de la biodiversidad en el sistema (Ligon, *et al.*, 1995), como lo muestran los trabajos de Fisher y La Voy (1972), Ward (1976), Winston *et al.* (1991), Dynesius y Nilsson (1994) y Power *et al.* (1996).

De manera similar, el factor tiempo es esencial cuando consideramos algunos impactos que pudieran ser irreversibles, tales como la acumulación de sedimentos tóxicos en un reservorio. La escala espacial también es importante, ya que algunos impactos son percibidos mucho más adelante del sitio de ubicación de la presa. Por ejemplo, si la presa reduce la cantidad de ingreso de detritus (materia orgánica biodisponible) en el caudal, esto puede afectar la producción pesquera dentro del estuario. Otro ejemplo es la reducción del aporte de sedimentos a la costa, lo cual se refleja en la carencia de arena para realimentar las playas después de las tormentas invernales, siendo ésta la principal causa de erosión de playas en el mundo (Bird, 1996). A su vez, los efectos acumulativos de muchas presas de una misma cuenca también pueden ser diferentes de la suma de los impactos de cada estructura individual, lo que refuerza la necesidad de las evaluaciones de impactos a escalas espaciales (Berkamp *et al.*, 2000).

Impacto sobre la comunidad de macroinvertebrados

Las variaciones máximas y mínimas naturales (picos, inundaciones y sequías) son las variables determinantes de la dinámica espacio-temporal de las

comunidades bentónicas de macroinvertebrados de ambientes lóticos (Resh *et al.*, 1988). Ríos con sustrato inestable tienden a estar caracterizados por una diversidad baja y la biota presente, por lo común, presenta historias de vida o comportamientos característicos de ambientes con disturbios con frecuencia alta (Cobb *et al.*, 1992; Alonso-EguíaLis 2004). Los ríos regulados por las presas hidroeléctricas, con patrones de flujo totalmente erráticos, frecuencias altas y sin ninguna similitud a las variaciones naturales de periodo corto, presentan comunidades de macroinvertebrados con una pobreza de especies muy marcada (Munn y Brusven, 1991; Alonso-EguíaLis, 2004, 2007). La figura 7 muestra el impacto provocado por la construcción de una hidroeléctrica sobre la comunidad de invertebrados en el río Connecticut (USA), en donde se evaluó el grado de alteración ecológica sobre factores de la comunidad como son la riqueza, diversidad, biomasa y densidad de ciertos macroinvertebrados debido al tiempo de exposición o desecación provocado por el manejo y liberación del caudal. Los resultados revelan que las comunidades de invertebrados en áreas periódicamente expuestas fueron marcadamente menores en diversidad y densidad, que en aquellas comunidades pertenecientes a las áreas donde la exposición fue muy poca o nula. Sin embargo también se puede observar que mientras que las grandes reducciones en la diversidad y en biomasa ocurren en áreas expuestas a un 70% y 40% del tiempo, se observa poca diferencia entre áreas siempre sumergidas y aquellas expuestas 13% del tiempo, indicando con esto que la fauna béntica puede tolerar breves periodos de exposición.

A su vez, las modificaciones en la periodicidad natural de cambio de flujo provocan alteraciones en la temperatura del agua afectando, de manera directa, los ciclos de vida de los organismos y, de manera indirecta, al reducir o eliminar las plantas acuáticas, las cuales son de gran importancia para las comunidades de macroinvertebrados, y transformar las condiciones químicas e incrementar la erosión, alterando con ello el sustrato y la turbidez del agua (Ward, 1992).

Impacto en la vegetación riparia y humedales de la planicie de inundación

Los ecosistemas riparios son usualmente complejos y dinámicos. Incluyen una variedad de comunidades que van, desde bosques de coníferas en zonas periódicamente congeladas, a planicies de inundación con bosques y selvas deciduos y sustrato herbáceo heterogéneo, así como deltas con zonación marcada. Algunas planicies de inundación llegan a ser tan extensas que alcanzan a cubrir miles de kilómetros cuadrados (Welcomme, 1979; Petts, 1984). De acuerdo con Nilsson y Svedmark (2002), hay tres principios que determinan la presencia y función de la vegetación riparia: a) el régimen de flujo determina los procesos ecológicos y los cambios sucesionales, b) la zona riparia funciona como ruta importante en la redistribución de materia orgánica e inorgánica a lo largo del río, y c) el sistema ripario es una zona de transición entre el

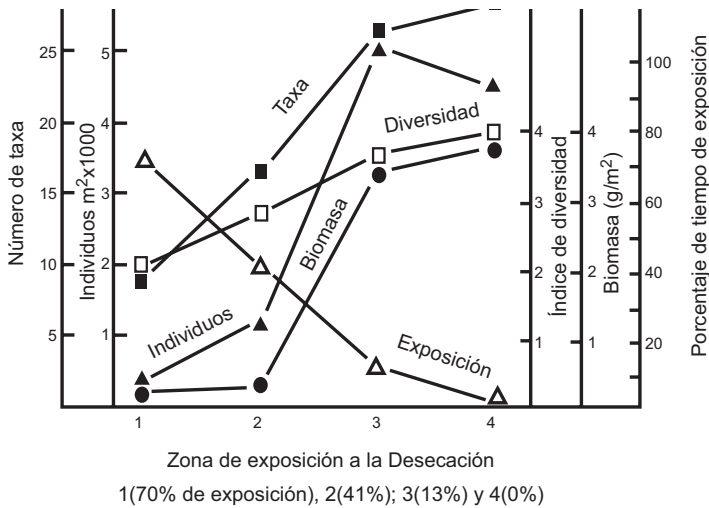


Figura 7. Distribución de los macroinvertebrados benthicos a lo largo de un transecto vertical en el río Connecticut, USA, posterior a una hidroeléctrica (tomado y modificado de Fisher y La Voy, 1972).

ecosistema terrestre y acuático, y es desproporcionadamente rico en especies, en comparación con los ecosistemas que lo rodean.

Estos principios se encuentran gobernados por procesos biogeográficos, geomorfológicos y climáticos que se relacionan, principalmente, en cómo el flujo, en especial crecidas máximas, determinan las comunidades riparias. Caudales de diferentes magnitudes y frecuencias afectan diferentes componentes de las planicies de inundación, por tanto, la jerarquía espacio-temporal es muy importante para entender la estabilidad de los ecosistemas riparios y humedales asociados (Brinson, 1990; Hughes, 1997). Inundaciones de magnitudes de caudal máximo influyen en las características geomorfológicas, tales como deltas o formación de canales, que pueden permanecer por cientos de años. Inundaciones de flujo intermedio determinan componentes de los ecosistemas a nivel de características y dinámicas de las comunidades de plantas. Inundaciones menores muestran efectos a nivel de especies de plantas (Hughes, 1997). Sin embargo, no todas las plantas son dependientes de la disponibilidad del flujo superficial; algunos árboles son freatofíticos, es decir, dependen del agua del subsuelo (Dawson y Ehlinger, 1991).

La eliminación de inundaciones o reducción del caudal natural son las principales causas de declinación de los bosques riparios (Pettit y Froend, 2000), además de

la tala. Se produce una reducción en la tasa de descomposición (Ellis *et al.*, 1999) y, con ello, una actividad biológica generalmente menor. Por su parte, las macrófitas acuáticas típicamente presentan distribuciones discontinuas como resultado de la variación espacial de la frecuencia e intensidad del disturbio, generando también cambios en la capacidad de colonización y tasa de crecimiento (Sand-Jensen y Madsen, 1992; Rea y Ganf, 1994). También se producen cambios en las características del suelo, principalmente en su capacidad de retención de agua (Travieso-Bello *et al.*, 2005).

Impacto sobre la fauna íctica

Las poblaciones de peces son altamente dependientes de las características de su hábitat acuático, ya que determina sus requerimientos biológicos. Muchas especies presentan requerimientos de agua altamente oxigenada, con corriente y con sustratos de grava y roca (Contreras, 1975; Contreras y Lozano, 1994), mientras otras requieren de características físicas típicas de ambientes lénticos como pueden ser sustratos arcillosos y gran abundancia de macrófitos. Las variaciones o cambios el régimen de caudal natural provocan alteraciones importantes en la fisicoquímica del agua y con ello modificación de los ciclos de vida de las especies o bien cambio en la estructura de la comunidad completa.

En el territorio nacional, los peces continentales ascienden a alrededor de 500 especies (Miller, 1986; Contreras y Almada, 1981). Las zonas áridas y semiáridas están habitadas por alrededor de 200 especies, actualmente 135 de ellas bajo algún estatus de protección y 15 extintas (Contreras *et al.*, 1991). En las zonas desérticas de México como es en la región del Desierto de Chihuahua, las comunidades de peces se ven afectadas no nada más por los efectos de presas, el incremento en la demanda de agua en zonas áridas aunado al estrés natural en épocas de secas, genera una baja muy importante en la cantidad y con ello la calidad del agua, incremento en la temperatura y reducción en la cantidad de oxígeno disuelto. A su vez la sobreexplotación de agua subterránea ha provocado que en algunas regiones haya intrusión de agua marina y con ello la salinización en ríos y suelos y de pozos agrícolas. La salinización del bajo Río Bravo ha provocado un cambio en la comunidad de peces, de 32 especies nativas dulceacuícolas registradas, actualmente han sido sustituidas a 54 especies principalmente marinas o con alta tolerancia a la salinidad, penetrando inclusive hasta 400 km arriba (Contreras y Lozano, 1994).

Por otra parte, los peces migratorios requieren ambientes diferentes para cada uno de los distintos periodos de su ciclo de vida: reproducción, crecimiento de juveniles y maduración sexual. El ciclo de vida de las especies diádromas se da parte en el agua dulce y parte en el mar; la reproducción de los anádromos se da en el agua dulce, mientras que los catádromos migran al océano para

reproducirse y regresan al agua dulce para completar su ciclo de vida. Finalmente, las especies potadromicas desarrollan su ciclo de vida completamente dentro del sistema fluvial.

La alteración de los niveles de flujo estacional y el represamiento de los ríos y su interrupción física son los principales factores de la desaparición de una gran cantidad de especies de peces (Contreras y Lozano, 1994). Berkamp *et al.* (2000) proporcionan una estimación global de impacto sobre el 30% de las especies.

Conclusiones

No hay duda de que el régimen de flujo natural tiene una influencia profunda en la estabilidad y biodiversidad de los ríos y sus áreas de inundación. Existen claramente diferentes mecanismos causales interrelacionados, operando a diferentes escalas espacio-temporales y no solamente una característica del flujo es la responsable del control y mantenimiento del sistema. El primer paso hacia una incorporación de un manejo a través de los caudales ambientales en el manejo de los sistemas acuáticos, es reconocer que la alteración de los regímenes naturales provocados por el manejo humano ha resultado en importantes afectaciones geomorfológicas y ecológicas de estos ecosistemas, perdiendo su habilidad natural para soportar procesos causados por disturbios naturales y presentando pérdida importante de sus especies nativas y de los servicios ambientales que proporcionan.

De tal manera que para proteger los sistemas acuáticos es necesario preservar los ciclos hidrológicos naturales. Es fundamental entonces, que el manejo del caudal del río considere y reconozca la variabilidad natural en sus cinco componentes principales: magnitud, frecuencia, duración, periodicidad y tasa de cambio. Cualquier tipo de manejo debe considerar imitar en lo más posible las variaciones naturales y sus efectos físicos y biológicos. Esta visión debe prevalecer sobre aquellas metodologías de cálculo de caudal ambiental, y técnicas de restauración, las cuales se enfocan en establecer o restablecer flujos mínimos, o bien, en el mantenimiento de algunas especies particulares.

Es importante reconocer que aún hay muchas limitaciones de conocimiento para delimitar con precisión los regímenes de caudal para sitios específicos. Para ello, sugerimos hacer uso de la información que se tenga al alcance y considerar registros de máxima amplitud temporal posible, que permita conocer el comportamiento del flujo hidrológico natural como una guía de inicio. Sin embargo, la necesidad de contar con información real sobre los distintos sistemas es apremiante, por lo que deben definirse a la brevedad programas de medición de caudales y monitoreo en todos nuestros ríos.

Es importante también mencionar que, como se puede observar en esta revisión, hoy por hoy, en la literatura abundan los trabajos que abordan la problemática del manejo de caudales ambientales o ecológicos, pero estos esfuerzos han sido dirigidos particularmente a cuerpos de agua pertenecientes a la región norte de los continentes, donde la mayoría de los ríos son permanentes. En cambio, los sistemas de zonas tropicales, semitropicales y semidesérticos, todos presentes en México, muestran un comportamiento estacional que los mantiene bajo condiciones de respuesta diferente, siendo aún poco estudiados y entendidos. Estos ríos se encuentran en escenarios totalmente distintos de biodiversidad, niveles de evaporación, uso del agua y sistemas de riego, entre otros.

En México, todavía existen ríos no controlados o con bajos niveles de control, de los cuales dependen grandes extensiones de humedales de agua dulce y manglares, sobre todo en las planicies costeras, por ejemplo, los humedales del Papaloapan. Para estos ríos es necesario establecer políticas de manejo que aseguren que los humedales costeros contarán con suficiente agua superficial y subsuperficial, así como con un régimen de flujo que mantenga las características del original.

La disciplina de la ecología acuática aún tiene grandes retos por resolver y es de gran importancia establecer líneas de investigación centrada en entender la relación entre los procesos hidrológicos y sus respuestas ecológicas en sistemas regionales. Para ello, la todavía incipiente investigación sobre sistemas acuáticos y de humedales en México debe dirigirse hacia una fase experimental y tratar de encontrar las respuestas ecológicas a las variaciones del flujo.

En México, de manera particular, debido a lo heterogéneo de su topografía, tipo de suelo, vegetación y, por ende, gran variabilidad climática, se presenta una diversidad amplia de tipos de sistemas fluviales o características hidrológicas por cuenca, generando con ello desde sistemas permanentes, como los que se presentan en el sur de la república, o semipermanentes y con eventos anuales de gran flujo, como los ríos de la costa del Pacífico, las zonas desérticas y semidesérticas de la región centro-norte, hasta llegar a aquellos sistemas regidos por climas mediterráneos, como es en Baja California. Esta heterogeneidad hidrológica obliga a pensar que en nuestro país debemos ser muy cautelosos en el establecimiento de un criterio para definir el caudal ambiental y, de manera determinante nunca establecer un flujo continuo anual como opción de manejo. Al mismo tiempo, es importante mencionar que el trabajar con promedios anuales de flujo hídrico, como lo establecen muchos de los llamados métodos hidrológicos e hidráulicos, reduce a su mínima expresión aquellas variables que, como hemos venido diciendo a lo largo de este trabajo, dan integridad a los sistemas acuáticos epicontinentales, que son los que conforman su variabilidad hidrológica.

El uso del agua en nuestro país representa una necesidad cada vez más apremiante, tanto a nivel urbano como agrícola e industrial. Es un recurso que requiere enfocarse bajo una visión integral y de sustentabilidad. Por ello, la definición y aplicación del caudal ambiental o ecológico representa una necesidad de igual importancia que el uso del agua. El caudal ambiental es particular para cada sistema río-planicie de inundación y debe calcularse bajo una visión que permita abarcar conocimientos multidisciplinarios involucrando información hidrológica, hidráulica, ecológica, social y económica, tal y como sugieren las llamadas metodologías holísticas de cálculo de caudal ambiental.

Literatura citada

- Acosta, C.A. y S.A. Perry. 2001. Impact of hydroperiod disturbance on crayfish population dynamics and in seasonal wetlands of Everglades National Park. *Aquatic Conservation* 11 (1):45-47.
- Allan, J.D. 1995. *Stream ecology. Structure and Function of Running Water*. Chapman & Hall. Londres. 388 pp.
- Alonso-Eguía Lis, P.E. 2004. *Ecología de la asociación de Odonata en el área de influencia de las microcuencas afectadas por la presa Zimapán, Querétaro e Hidalgo, México*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Querétaro. México.
- Alonso-Eguía Lis, P.E. 2007. Importancia del estudio de la entomofauna acuática para la conservación y manejo sustentable de sistemas dulceacuícolas de México. Pp. 51-62. En Novelo-Gutiérrez R. y P. Alonso-Eguía Lis (eds). *Simposio Internacional Entomología Acuática Mexicana: Estado Actual de Conocimiento y Aplicación*. IMTA-SME. México, 105 pp.
- Baldwin, A.H.; M.S. Egnotovich y E. Clarke. 2001. Hydrological change and vegetation of tidal freshwater marshes: Field, greenhouse and seedbank experiments. *Wetlands* 21: 519-31.
- Battle, J.M. y S.W. Golladay. 2001. Hydroperiod influence on breakdown of leaf litter in cypress-gum wetlands. *American Midland Naturalist* 146: 128-145.
- Batzer, D.P.; B.J. Palik y R. Buech. 2004. Relationships between environmental characteristics and macroinvertebrate communities in seasonal woodland ponds of Minnesota. *Journal of the North American Benthological Society* 23: 50-68.
- Batzer, D.P. y R.R. Sharitz. 2006. *Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*. Univ. of California Press. Berkeley. 568 pp.
- Berkamp, G.; M. McCartney, P. Dugan, J., McNeely y M. Acreman. 2000. *Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration Thematic Review II.1*. World Commission on Dams. 200 pp.
- Bird, E.C. 1996. *Beach Management*. John Wiley & Sons. Nueva York. 281 pp.
- Boix, D.; J. Sala y R. Moreno-Amich. 2001. The faunal composition of Espola pond (NE Iberian Peninsula): the neglected biodiversity of temporary waters. *Wetlands* 21: 577-92.

- Boulton, A.; S. Frindlay, P. Marmonier, E. Stanley y M. Valett. 1998. The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annual Review of Ecology and Systematic* 29: 59-81.
- Boulton, A. 2000. River ecosystem health down under: assessing ecological condition in rivering groundwater zones in Australia. *Ecosystem Health* 6(2): 108-118.
- Bradley, C. y Smith D.G. 1986. Plains cottonwood recruitment and survival on a prairie meandering river floodplain, Milk River, southern Alberta and northern Montana. *Canadian Journal Botany* 86: 1433-1442.
- Brinson, M. 1990. Riverine Forest. Pp. 87-141. En: Lugo, A.E., Brown, S. y Brinson, M. (eds.). *Ecosystems of the World 15. Forested Wetlands*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Brooks, R.T. 2000. Annual and seasonal variation and the effects of hydroperiod on benthic macroinvertebrates of season forest ("vernal") ponds in central Massachusetts, USA. *Wetlands* 20: 707-715.
- Bunn, S.E. y A.H. Arthington. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30(4): 492-507.
- Cobb, D.G.; T.D. Galloway y J.F. Flannagan, 1992. Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 49: 1788-1795.
- Contreras-Balderas, S. 1975. Cambios de composición de especies en comunidades de peces en zonas semiáridas. *Pub. Biol. Inst. de Invest. en Ciencias, UANL*. 1(7): 181-194.
- Contreras-Balderas, S., and P. Almada-Villela 1991. Fish biodiversity, water availability and regional planning. Proceeding of the Annual Meeting of the American Society of Ichthyologist and Herpetologists, New Cork.
- Contreras-Balderas, S., P. Almada-Villela and D.A. Hendrickson. 1991. Peces amenazados de agua dulce de México. Abstract XI Congreso Nacional de Zoología, Mérida, México
- Contreras-Balderas S. y Lozano V.M. 1994. Water, endangered fishes, and development perspectives in arid lands of Mexico. *Conservation Biology* 8(2): 379-387.
- Copp, G.H. 1990. Effects of regulation on fish recruitment in the Great Ouse, a lowland river. *Regulated Rivers* 5: 251-263.
- Cowardin, L.M.; V. Carter, F.C. Golet y E.T. LaRoe. 1979. *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. FWS/OBS-79/31, U.S. fish and Wildlife Service. Washington D.C. 103 pp.
- David, P.G. 1996. Changes in plant communities relative to hydrological conditions in the Florida Everglades. *Wetlands* 16: 15-23.
- Dawson, T.E. y J.R. Ehleringer. 1991. Streamside trees that do not use stream water. *Nature* 350: 335-337.
- Day, J.; G.P. Schaffer, L.D. Britsch, D.J. Reed, S.R. Hawes y D. Cahoon. 1999. Pattern and process of land loss in the Louisiana coastal zone: an analysis of spatial and temporal patterns of wetland habitat change. Pp. 193-202. En: L.P. Rozas *et al.* (eds.). *Symposium on Recent Research in Coastal Louisiana: Natural System Function and Response to Human Influence*. Louisiana Sea Grant Program.

- Dodds, W.K. 2002. *Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications*. Academic Press. Nueva York. 569 pp.
- Dynesius, M. y C. Nilsson. 1994. Fragmentation and flow regulation of river system in the northern third of the world. *Science* 266: 753-762.
- Ellis, L.M.; M.C. Moelles y S.C. Crawford. 1999. Influence of experimental flooding in litter dynamics in a Rio Grande riparian forest, New México. *Restoration Ecology* 7: 193-204.
- Fisher, S.G. y A. La Voy. 1972. Differences in littoral fauna to fluctuating water levels in a hydroelectric dam. *Journal Fisheries Research Board of Canada* 29 (10): 1472-1476.
- Flores-Verdugo; F., P. Moreno-Casasola, C.M. Agraz-Hernández, H. López Rosas, D. Benítez Pardo y A.C. Travieso Bello. 2007. La topografía y el hidroperiodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín Sociedad Botánica de México* 80 (Suplemento): 33-4.
- Frissell, C.A.; W.J. Liss, C.E. Warren y M.D. Hurley. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. *Environmental Management* 10: 199-214.
- García Rodríguez E.; R. González-Villela, P. Martínez-Austria, J. Athala-Molano y G. Paz-Soldán. 1999. *Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudales de reserva ecológicos en México*. CNA-IMTA. México. 190 pp.
- Groombridge, Brian y Jenkins, Martin D. 1998. *Freshwater Biodiversity: A Preliminary Global Assessment*. WCMC Biodiversity Series No 8, WCMC/UNEP, Cambridge. Londres. 104 pp.
- Holling, C.S. y G.K. Meffe. 1996. Command and control and the pathology of natural resources management. *Conservation Biology* 10: 328-337.
- Hughes, F.M. 1994. Environmental change, disturbance, and regeneration in semi-arid floodplain forest. Pp. 321-345. En: A.C. Millington y K. Pye (eds.). *Environmental Change in Drylands: Biogeographical and Geomorphological Perspectives*. John Wiley & Sons. Nueva York. 472 pp.
- Hughes, F.M.R. 1997. Floodplain biogeomorphology. *Progress in Physical Geography* 21: 501-529.
- Hupp, C.R. 2000. Hydrology, geomorphology and vegetation of Coastal Plain rivers in the south-eastern USA. *Hydrological Processes* 14 (16-17): 2991-3010.
- ICOLD (International Commission on Large Dams). 1997. Position Paper on Dams and Environment. <http://genepi.louis-jean.com/cigb/chartean.html>
- Infante, D.M. y P. Moreno-Casasola. 2005. Effect of *in situ* storage, light, and moisture on the germination behavior of two wetland trees: *Annona glabra* (Annonaceae) and *Pachira aquatica* (Bombacaceae). *Aquatic Botany* (83) 3: 206-218.
- Junk, W.J.; P.B. Bayley y R.E. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Science* 106: 110-127.
- Keddy, P. 2000. *Wetland Ecology. Principles and Conservation*. Cambridge University Press. 614 pp.
- King, J.L.; M.A. Simovich y R.C. Brusca. 1996. Species richness, endemism and ecology of crustacean assemblages in northern California vernal pools. *Hydrobiologia* 328: 85-116.

- Leigh, D.S.; P. Srivastava y G.A. Brook. 2004. Late Pleistocene braided rivers of the Atlantic Coastal Plain, USA. *Quaternary Science Reviews* 23: 65-84.
- Leopold y Maddock Jr., 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *U.S. Geological Survey's Professional Paper* 252: 1-57 p.
- Ligon, F.K.; W.E. Dietrich y W.J. Trush. 1995. Downstream ecological effects of dams: a geomorphic perspective. *BioScience* 45:183-192.
- López-Rosas, H.; P. Moreno-Casasola y I. Mendelssohn. 2005. Effects of an african grass invasion on vegetation, soil and interstitial water characteristics in a tropical freshwater marsh in La Mancha, Veracruz (Mexico). *Journal of Plant Interactions* 1 (3): 187-195.
- McAllister, D.E.; A.L. Hamilton y B. Harvey. 1997. Global freshwater biodiversity: striving for the integrity of freshwater ecosystems. *Special Edition of Sea Wind-Bulletin of Ocean Voice International* 11(3):1-140.
- Middleton, B. 1999. Wetland Restoration. *Flood Pulsing and Disturbance Dynamics*. John Wiley & Sons. Nueva York. 288 pp.
- Millenium Ecosystem Assessment. 2005. www.MAweb.org
- Miller, R. R. 1986. Composition and derivation of the freshwater fish fauna of México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México* 30: 121-153
- Mitsch, W.J. y J.G. Gosselink. 2000. Wetlands, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold. Nueva York. 919 pp.
- Munn, M.D. y M.A. Brusven. 1991. Benthic invertebrate communities in nonregulated and regulated waters of the Clearwater River, Idaho, USA. *Regulated River: Research and Management* 6: 1-11.
- Newman, S.; J.B. Grace y J.W. Koebel. 1996. Effects of nutrient and hydroperiod on *Typha*, *Cladium* and *Eleocharis*: Implications for Everglades restoration. *Ecological Applications* 6: 774-83.
- Nilsson, C.; A. Eckblad, M. Gardfjell y B. Calberg. 1991. Long-term effects on river regulation on river margin vegetation. *Journal of Applied Ecology* 28: 963-987.
- Nilsson, C. y M. Svedmark. 2002. Basic principles and ecological consequences of changing water regimens: riparian plant communities. *Environmental Management* 30 (4): 468-480.
- Paton, P.W. y W.B. Crouch. 2002. Using the phenology of pond breeding amphibians to develop conservation practices. *Conservation Biology* 16: 194-204.
- Pettit, N.E. y R.H. Froend. 2000. Variability in flood disturbancy and impact on riparian tree recruitment in two contrasting river systems. *Wetlands Ecology and Management* 9:13-25.
- Petts, G.E. 1984. Impounded Rivers: Perspectives for Ecological Management, Chichester, John Willey and Sons. Londres. 285 pp.
- Pickett, S.T.; V.T. Parker y P.L. Fiedler. 1992. The new paradigm in ecology: implication for conservation biology above the species level. Pp 66-88. En: P.L. Fiedler y S.K. Jain (eds.). *Conservation Biology*. Chapman & Hall. Nueva York.
- Pinay, G. y J.C. Clément. 2002. Basic principles and ecological consequences of changing water regimes on nitrogen cycling in fluvial systems. *Environmental Management* 30 (4): 481-491.

- Poff, N.J y J.V. Ward. 1989. Implications of streamflow variability and predictability for lotic communities structure: a regional analysis streamflow patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 46:1805-1818.
- Poff, N.J.; J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestgaard, B.D. Richter, R.E. Sparks y J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47 (11): 769-784.
- Power, M.E.; W.E. Dietrich y J.C. Finlay. 1996. Dams and downstream aquatic biodiversity: potencial food web consequences of hydrologic and geomorphic change. *Environmental Management* 20: 887-895.
- Rea, N. y G. Ganf. 1994. The role of sexual reproduction and water regime in shaping the distribution patterns of clonal emergent aquatic plants. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 45:1469-1479.
- Resh, V.H.; A.V. Brown, A.P. Covich, M.E. Gurtz, H.W. Li, G.W. Minshall, S.R. Reice, A.L. Sheldon, J.B. Wallace y R.C. Wismaar. 1988. The role of disturbance in stream ecology. *Journal of North American Benthological Society* 7:433-455.
- Richter B.D.; J.V. Baumgartner, J. Powell y D.P. Braun. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10: 1163-1174.
- Richter, B.D.; J.V. Baumgartner, R. Wigington y D.P. Braun. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- Rood, S.B. y S. Heinze-Milne. 1989. Abrupt downstream forest decline following river damming in southern Alberta. *Canadian Journal of Botany* 67:1744-1749.
- Sand-Jensen, K. y T.V. Madsen. 1992. Patch dynamics of stream macrophytes. *Callitriche cophocarpa*. *Freshwater Biology* 27:277-282.
- Shiklomanov, I.A. 1999. World Water Resources: *Modern Assessment and Outlook for the 21st Century*. Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Environmental Monitoring: State Hydrological Institute. IHP-UNESCO. 51pp.
- Sklar, F.H. y W.H. Conner. 1979. Effects of altered hydrology on primary production and aquatic animal population in a Louisiana swamp forest. Pp. 191-208. En: J.W. Day, Jr (ed.). *Third Coastal Marsh and Estuary Management Symposium*.
- Smith, S.D.; A.B. Wellington, J.L. Nachlinger y C.A. Fox. 1991. Functional responses of riparian vegetation to streamflow diversion in the Eastern Sierra Nevada. *Ecological Applications* 1:89-97.
- Stanford, A. y J.V. Ward. 1988. The hyporheic habitat of river ecosystem. *Nature* 335: 64-66.
- Stanford, A. y J.V. Ward. 1993. An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and hyporeic corridor. *Journal of North American Benthological Society* 12: 48-60.
- Stanford, A.; J.V. Ward y B.K. Ellis. 1994. Ecology of the alluvial aquifers of the Flathead River, Montana. Pp. 367-390. En: J. Gilbert, D.L. Danielopol y J.A. Stanford (eds.). *Groundwater Ecology*. Academic Press. San Diego, CA. 571 pp.
- Stanford, J.A.; J.V. Ward, W.J. Liss, C.A. Frissell, R.N. Williams, J.A. Lichatowich y C.C. Coutant. 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers: Research and Management* 1: 391-414.
- Statzner, B. y B. Higler. 1986. Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology* 16:127-139.

- Steven, D.D. y M.M. Toner. 2004. Vegetation of upper Coastal Plain depressional wetlands: Environmental templates and wetland dynamics within a landscape framework. *Wetlands* 24: 23-42.
- Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resource. *Proceedings on Stream Flow Needs Symposium*. Billings, Montana. USA. Pp. 359-373.
- Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment; emerging trends in the development and application of environmental flow methodology. *River Research Application* 19: 397-441.
- Travieso-Bello; A.C., P. Moreno-Casasola y A. Campos. 2005. Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. *Interciencia* 30 (1):12-18.
- Van der Valk, A.G. 2006. *The biology of freshwater wetlands. Biology of Habitats*. Oxford University Press. Oxford. 173 pp.
- Vannote, R. L.; G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell y C.E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 103-137.
- Walker, K.F.; F. Sheldon y J.T. Puckridge. 1995. A perspective on dryland river ecosystems. *Regulated Rivers: Research and Management* 11:85-104.
- Ward, J.V. 1976. Effects of flow patterns below large dams on stream benthos: A Review. En J. F. Osborn y C.H. Allman (eds.) *Instream Flow Needs Symposium* (2) : 235-253. American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Ward, J.V. 1987. The ecology of regulated stream: past accomplishments and directions for future research. Pp. 391-409. En J.F., Craig y J. Kemper (eds). *Regulated Streams: Advances in Ecology*, Plenum Press. Nueva York.
- Ward, J.V. 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystem. *Journal of North America Benthological Society* 8: 2-8.
- Ward, J.V. 1992. *Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and Habitat*. J. Wiley & Sons, Inc. Nueva York. 438 pp.
- Welcomme, R.L. 1979. *Fisheries Ecology of Floodplain Rivers*. Longman, Londres. 317 pp.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Academic Press. USA. 1006 pp.
- Whiles, M.R. y B.S. Goldowitz. 2001. Hydrologic influences on insect emergence production from central Platte River wetlands. *Ecological Applications* 11: 1829-42.
- Winston, M.R.; C.M. Taylor, and J. Pigg. 1991. Upstream extirpation of four minnow species due to damming of a prairie stream. *Transactions of the American Fisheries Society* 120:98-105.
- Yetter, J.C. 2004. *Hydrology and geochemistry of freshwater wetlands on the Gulf coast of Veracruz, Mexico*. Tesis Master of Science in Earth Sciences. Waterloo, Ontario, Canada.

ASPECTOS HIDROLÓGICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS: ESTUDIO DE CASO EN CUENCAS CERRADAS

J.Marcelo Gaviño Novillo¹, Alfonso Gutiérrez-López^{2,3}, Jesús López de la Cruz³

¹ Departamento de Hidráulica, Universidad Nacional de La Plata
Calle 47 N 200, C.P. 1900, La Plata, Buenos Aires, Argentina
marcelogavino@yahoo.com.ar

²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA
Paseo Cuauhnáhuac 8532 C.P. 62780, Jiutepec, Morelos, México
agutierrez@tlaloc.imta.mx

³Universidad Nacional Autónoma de México
División de estudios de posgrado, Campus Morelos, México
jesus_lop79@hotmail.com.mx

Resumen

En el presente trabajo se muestra la descripción de los aspectos hidrológicos para la determinación de caudales ecológicos, así como la aplicación de un método de regionalización para la obtención de un gasto de conservación en cuencas cerradas. En él se utiliza la distribución Gumbel debido a que las propiedades estadísticas de los eventos de precipitación pueden relacionarse fácilmente con los parámetros de esta distribución. Para la estimación de sus parámetros, se plantea una ecuación de transferencia de información hidrológica cuyos coeficientes se encuentran con el método de correlación múltiple. Estos coeficientes están en función de las características fisiográficas de la cuenca como son la longitud, latitud, área de la cuenca y precipitación media de la cuenca.

Abstract

This paper presents a description of the hydrological aspects for determining ecological flows, as well as the implementation of a regionalization method for obtaining a conservation flow in closed watersheds. The Gumbel distribution is used because the statistical properties of precipitation events can be easily related to the parameters of this distribution. For the estimation of its parameters, a hydrological information transfer equation was used, whose coefficients were estimated by the multiple correlation method. These coefficients are in function of the physiographic characteristics of the watershed, such as longitude, latitude, area, and mean precipitation.

Introducción

El uso intensivo del agua por el hombre, a fin de promover el desarrollo y el mejoramiento de la calidad de vida de la población, ha originado en zonas

con oferta limitada de este recurso, tanto en el tiempo como en el espacio, una afectación de los regímenes fluviales naturales, llegándose en ciertos casos inclusive a contar con regulaciones artificiales de los caudales como resultado de la construcción y operación de obras hidráulicas, derivación y trasvase de las aguas, etc. Estos cambios, debidos a las fluctuaciones de caudales y niveles de agua, alteran sensiblemente la fenología natural de los ecosistemas fluviales y el desarrollo socioeconómico de las poblaciones aguas abajo.

Toda iniciativa que busca superar un conflicto con participación social se desenvuelve mediante un instrumento técnico (proyecto, programa) en una primera dimensión, en la cual intervienen especialistas; pero su implementación tiene lugar en un contexto socio-económico-cultural-político determinado (segunda dimensión), motivo por el cual cada situación es distinta de otra y requiere un diseño específico.

Cuando se habla de manejo de cuencas, sin embargo, hay confusión en los enfoques; no es que ellos sean erróneos, sino que dependen del punto de vista, especialidad, disciplina o "ventana" por la cual cada quien ha entrado al tema. Ha habido valiosos esfuerzos por dar claridad en este asunto, siendo los más notables los efectuados por FAO y la CEPAL. Esta última, por ejemplo, considera varios estadios, desde la gestión sectorial del agua hasta la gestión ambiental (Dourojeanni, 2000).

Un obstáculo que frecuentemente se confronta desde el punto de vista operativo se refiere a lograr una situación ideal de lo que debe ser una cuenca "bien manejada", en perfecta armonía. En la realidad, es muy difícil conseguir ese óptimo. Frecuentemente en una cuenca hay diferentes intereses del estado, personas y grupos, y la máxima aspiración es al logro de un "óptimo con restricciones". Es decir, a una situación concertada donde la solución de conflictos juega un papel importante. En el fondo, podría decirse que manejo de cuencas es un medio de solucionar conflictos, sobre todo en lo que al manejo del agua se refiere. Es un medio de enfrentar, de manera concertada, los desafíos que se presentan con relación a los recursos hídricos, a los problemas socioeconómicos, a los riesgos naturales y a la degradación ambiental.

La gestión integrada de cuencas se basa en la aplicación de instrumentos, entre los cuales se encuentra la determinación de caudales ecológicos o ambientales, que buscan establecer umbrales o presupuestos mínimos capaces de mantener los ecosistemas fluviales en los tramos de río regulados o modificados artificialmente por el hombre, entendiendo que las obras hidráulicas son tan abundantes en la actualidad que, inclusive, son pocos los ríos cuyos regímenes no están regulados artificialmente. Por ello, la gestión integrada de los

recursos hídricos y los recursos biológicos debe enfrentarse con frecuencia a la problemática que estas obras originan.

Caudales, caudales ecológicos y ambientales

El escurrimiento es la componente del ciclo hidrológico que transfiere el agua desde la superficie del terreno hasta los océanos, agua que inicialmente cayó como lluvia, granizo o nieve en la cuenca (OMM, 1974). El escurrimiento se puede definir como el caudal o descarga, comúnmente expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s), que fluye a través de un cauce natural o definido (Mosley y McKerchar, 1993).

El escurrimiento tiene varios sinónimos, como son caudal o caudal de un cauce, descarga de una corriente, rendimiento de la cuenca y aportación líquida; estas designaciones comúnmente usan algunas de las tres unidades siguientes: como caudal, en volumen por unidad de tiempo, en m^3/s , o millones de m^3 por año; como caudal unitario, en $m^3/s/km^2$ y $Mm^3/km^2/año$, y como lámina o tirante de agua sobre la cuenca, en milímetros por día, mes o año (Campos, 2007).

Dentro de los diferentes conceptos de caudales, se encuentran aquellos que describen el comportamiento de un río a través del tiempo o con respecto a la estabilidad del mismo. Por ejemplo, se tiene los caudales ecológicos o ambientales y caudales formativos.

El caudal ecológico se define como el volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema, de acuerdo a las especificaciones técnica que fije la autoridad competente (Copeland *et al.*, 2000). En tanto que el caudal formativo es el escurrimiento representativo del régimen hidrológico que actúa en un cauce natural, y que por sus características de calidad, magnitud y recurrencia es el responsable de la mayor parte del proceso gradual de conservación o modificación de las fronteras sólidas del canal natural a lo largo del tiempo (Ramírez, 2002).

Se tiene, por otro lado, que los caudales que son fundamentales en el dimensionamiento de cualquier tipo de obra de ingeniería, y dependiendo del tipo de obra se emplean los registros de caudal para su diseño; es por ello que existe registro con diferentes intervalos de medición.

Se halla dentro de éstos el caudal instantáneo, el cual es, como su nombre lo dice, el caudal que se mide en un determinado instante. Su determinación se

hace de forma indirecta, determinando el nivel del agua en el río, e interpolando el caudal en la curva calibrada de la sección determinada precedentemente.

Cuando se refiere al caudal máximo, es el mayor caudal que se presentó durante un cierto periodo; este periodo puede ser de un día, un mes o un año. El máximo anual es muy importante y es utilizado para determinar la capacidad de escurrimiento en obras hidráulicas que no deben ser sobrepasadas, puesto que ese hecho acarrearía daños importantes.

Otro tipo de concepto que se maneja es el de caudales medios, los cuales no son más que la media de los caudales instantáneos a lo largo de un día o un mes. Si la sección de control es del tipo limnimétrico, normalmente se hacen dos lecturas diarias de nivel, cada doce horas. Si la sección es del tipo limnigráfico convencional, es decir, que está equipada con un registrador sobre cinta de papel, el hidrólogo decide, con base en la velocidad de variación del nivel del agua, el número de observaciones que considerará en el día.

Criterios para el establecimiento de caudales ecológicos

Todos los elementos que caracterizan un régimen fluvial influyen de alguna manera en los ecosistemas fluviales, por lo que si la sociedad desea mantenerlos en su estado natural, el régimen del mismo debe ser natural. En los sistemas fluviales que han sido alterados en diferente grado, se acepta que el agua sea usada para diversos usos (abastecimiento de agua, riego, procesos industriales, hidroenergía, recreación, otros) para la subsistencia y el desarrollo del hombre. Por ello, la asignación de un caudal ecológico para un río es en esencia una opción establecida por la sociedad, con base en recomendaciones técnicas que provienen de la ciencia en términos de qué tipo de ecosistema fluvial se desea, lo cual puede definirse a partir de diversos escenarios de régimen de caudales. La condición finalmente establecida debe traducirse en un marco normativo o reglamentario, sustentada en el consenso que se logre mediante transacciones entre los diversos actores. Otras aproximaciones consideran a aquel caudal que sea capaz de mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial.

En la bibliografía se encuentra con frecuencia el nombre de caudales ecológicos y caudales ambientales. La cuantificación del caudal ecológico debe buscar un umbral que fije los valores por encima de los cuales la especie sensible se recupera de las perturbaciones ocasionadas por la falta de escorrentía, es decir, que los cambios originados en ella dejan de ser irreversibles. Depende de la duración de los mismos y de la resiliencia ecológica de la especie. Por su parte, un caudal ambiental es entendido como aquel que es definido por encima del establecido por el caudal ecológico, y que fija un mínimo destinado a la

satisfacción de las necesidades establecidas de manera ad-hoc por la sociedad (Gaviño Novillo, 2004). Esto también puede aplicarse a las aguas subterráneas estableciendo umbrales por debajo de los cuales la extracción del agua sería mayor a la tasa de recarga del acuífero, tornando insustentable la gestión del agua subterránea. En estos casos, también se establece por encima de este umbral crítico un nuevo umbral de protección equivalente a la recarga, pero que debe ser objeto de una regulación (figura 1).

Un ejemplo para definir estos umbrales surge, por ejemplo, de la nueva directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de octubre de 2000, entrada en vigencia el 22 de diciembre de dicho año, mediante la cual se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Obliga en la práctica a todos los países miembros a restablecer el estado de los ríos a una condición denominada "buena", lo cual implica lograr un funcionamiento de los ecosistemas fluviales en condiciones muy parecidas a las originales. Un "buen" estado implica un "buen estado químico" y un "buen estado ecológico"; este último es definido cuantitativamente e incluye normalmente umbrales para poblaciones y comunidades de peces, macroinvertebrados, macrófitas, bentos y plancton. También incluye elementos de soporte que afectan otras comunidades como aves, y también la morfología fluvial, la profundidad del agua y el régimen de caudales. Sin duda esto es una meta a largo plazo, pero de alguna manera se ha asumido el compromiso de alcanzarla.

La determinación de los caudales ecológicos según la práctica internacional con base en diversos tipos de criterios:

- Análisis de los regímenes de caudales históricos.
- Análisis de la variación del hábitat con los caudales circulantes.

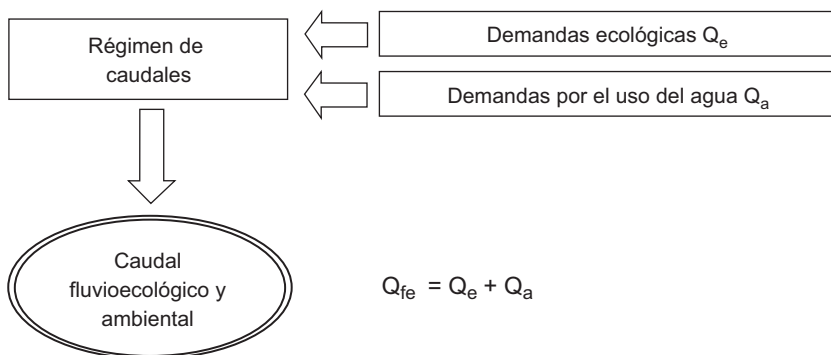


Figura 1. Criterios para el establecimiento de un caudal ecológico y uso ambiental.

- Métodos basados en el análisis de escenarios.
- Otros.

El primer criterio estudia en especial los estiajes naturales de los ríos con la idea de que las comunidades fluviales han evolucionado sometidas a determinados tipos de regímenes de caudales y, por tanto, sus ciclos biológicos y requerimientos ecológicos están adaptados a las variaciones estacionales propias de dicho régimen. Asimismo, están adaptadas a tolerar unos caudales mínimos durante un estiaje más o menos largo, e incluso pueden tolerar caudales muy exigüos durante uno o varios días, que obviamente no pueden mantener durante periodos largos a los que no estén adaptadas. En este caso, una variante del criterio surge del método desarrollado en Suiza a fin de establecer el caudal ambiental. Dos ejemplos de este tipo se analizan posteriormente.

El segundo criterio se basa en la metodología IFIM-PHABSIM (o similares), cuya aplicación se ha generalizado en todo el mundo. Este criterio considera las exigencias de hábitat de las especies fluviales con las variaciones de las características de éste en función de los caudales circulantes. La base conceptual de esta metodología reside en conocer los requerimientos de caudal circulante de algunas especies o de determinadas comunidades, y de su distribución en el tiempo, para poder evaluar las necesidades de caudal con objeto de mantener sus poblaciones.

Los dos criterios permiten obtener caudales ecológicos básicos que reciben diversas denominaciones (mínimos, aconsejables, óptimos, de mantenimiento), según el método utilizado para su cálculo o su nivel de exigencia ecológica. Estos caudales básicos representan estimaciones de las condiciones límites de tolerancia a la escasez de caudal, o los umbrales de la resiliencia de la comunidad.

Otros criterios más avanzados, más allá de la perspectiva ecológica, incluyen aspectos económico-sociales resultantes de consultas y encuestas que derivan en el establecimiento de caudales ambientales, que además de la perspectiva ecológica comprenda otras dimensiones para su determinación.

Los métodos holísticos como el denominado "respuesta aguas debajo de una transformación impuesta de caudales" (*Downstream response to imposed flow transformation-DRIFT*), se sustentan en la definición de escenarios a proveer a los tomadores de decisión basados en la definición de diversas opciones de regímenes de caudales, en función de un objetivo explícito. A ello se agrega el análisis de los impactos que resultan de la vulnerabilidad social de aquellos sectores que se ven afectados por la carencia de dichos caudales. Ello implica definir un sistema soporte de decisiones que permita establecer diversas opciones posibles.

Métodos basados en el análisis de los regímenes de caudales históricos

Ley de Aguas de Francia

Establece que toda obra de construcción en el lecho de un curso de agua debe incluir dispositivos que mantengan un caudal mínimo que garantice la vida, la circulación y la reproducción de las especies que habitan las aguas en el momento de su instalación. También indica que el caudal mínimo no debe ser inferior a la décima parte del caudal medio interanual, evaluado a partir de las informaciones disponibles en un periodo mínimo de cinco años. Al mismo tiempo, autoriza al Consejo de Estado francés a emitir decretos para que, en cualquier caso, para cursos fluviales o tramos de cursos fluviales en los que el caudal medio anual sea superior a 80 m³/s, se pueda fijar un caudal mínimo inferior al antes mencionado sin llegar a ser menor que la vigésima parte del caudal medio anual.

El 10% del caudal medio interanual para el cálculo del Caudal de Reserva Ecológico, indicado por esta ley, tiene coincidencia con el caudal mínimo recomendado por el método de Montana (García *et al.*, 1996).

Método suizo

Este método fue desarrollado para el cálculo de caudales mínimos convenientes en ríos de Suiza. Ha sido aplicado en ríos de Cataluña, España, para la determinación de caudales de reserva en tramos afectados por la construcción de minicentrales hidroeléctricas, y en el Principado de Asturias, España adecuándolo para la conservación de los salmónidos. El cálculo del caudal de reserva ecológico se basa en caudales de estiaje; de aquí que proponga la utilización del Q₃₄₇ para el cálculo de los caudales de reserva ecológicos, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Q_{RE} = \frac{15Q_{347}}{[\ln Q_{347}]^2} \quad [1]$$

donde Q_{347} es el caudal calculado a partir de diez años de caudales medios diarios, y que es igualado-excedido 347 días por año.

Entre sus características podemos encontrar que los caudales de reserva ecológica son proporcionalmente mayores para ríos cuyo Q_{347} es menor; con esto se pretende proteger a los ríos con caudales menores pues son los que presentan un equilibrio ecológico más vulnerable (García *et al.*, 1996).

Caso de estudio

La estrecha relación entre la distribución exponencial y Gumbel puede ser utilizada para describir patrones espaciales de precipitación. En estas distribuciones se demuestra que los parámetros de ambas están relacionados a través de un factor de reducción de varianza, el cual está en función de la estructura de correlación espacial de la precipitación y del área de captación de una cuenca hidrológica. Suponiendo que la lámina media por evento de precipitación sigue una distribución exponencial, el parámetro de escala ajustado a partir de la serie de lluvia diaria adquiere el mismo valor del parámetro de escala de la distribución de valores extremos tipo Gumbel, ajustando los valores máximos de lluvia mensual (Sivapalan y Blöschl, 1998; Gutiérrez-López, 2003).

Dentro de las principales aplicaciones en forma conjunta, se pueden mencionar los estudios que relacionan la precipitación con el relieve. Se considera que la precipitación sigue una tendencia exponencial de decrecimiento con la altitud y de esta forma, con las características topográficas del relieve, un análisis de componentes principales (de un modelo digital en elevación) proporciona un conjunto de variables que describen el ambiente topográfico ligado con los parámetros de la distribución Gumbel y a la intensidad de precipitación (Singh y Kumar, 1997; Wotling, *et al.*, 2000). Asimismo, la distribución Gumbel se utiliza como una aproximación a la distribución de probabilidad de los extremos del modelo bivariado exponencial (Baldassare *et al.*, 1994). En general, puede decirse que la distribución Gumbel es empleada en el análisis de lluvias extremas, pues las propiedades estadísticas de los eventos de precipitación pueden relacionarse fácilmente con los parámetros de esta distribución, incluyendo la lámina y la duración de las tormentas (Loukas, 2002).

En el campo del análisis de caudales máximos, sin duda la distribución de Gumbel lleva la delantera en cuanto a su empleo en el campo de la hidrología operacional. Para la estimación de sus parámetros la técnica más ampliamente usada es el método de máxima verosimilitud, en general por su simplicidad y exactitud (Fiorentino y Gabriela, 1984; Koch, 1991). En un estudio comparativo de los métodos de estimación de parámetros del modelo *power-form*, que expresa el cuantil de inundación en función del área de la cuenca. En este sentido se puede mencionar que, de acuerdo a un estudio realizado por la *US Interagency Work Group on Flood Frequency Estimation at Unngaged Sites*, se encontró que los métodos de regionalización de inundaciones basados en regresión y en los parámetros de la distribución de Gumbel son los más consistentes y de fácil aplicación para la estimación de cuantiles de inundación en sitios de donde no se tiene registros. En dicho estudio, se concluyó que la exactitud de los estadísticos de la corriente depende del tipo de modelo seleccionado y del método de estimación de parámetros.

Al igual que las técnicas de análisis regional de frecuencias se relacionan las características fisiográficas e hidrológicas de una región, teniendo las ventajas siguientes: no se requiere de la selección de una distribución para los caudales máximos —gran ventaja sobre el método de la Avenida Índice—, y varios de estos procedimientos se pueden emplear para transferir información entre estaciones adyacentes con un gran diferencial de longitud de registros o para el estudio del efecto de parámetros físicos; asimismo, como para el análisis de eventos extremos. De esta forma, por medio de los modelos de regresión múltiple es posible considerar en los análisis regionales un número mucho mayor de características individuales; estudios comparativos han demostrado que las características más importantes son el área y la precipitación media anual (Raudkivi, 1979).

Por el otro lado, las mayores ventajas de los modelos de regresión regionales son: relativamente fáciles de emplear, proporcionan un estimador de la precisión del índice de avenidas e incorporan variables descriptivas que reflejan la única característica física de la cuenca de estudio (ASCE, 1996). En general, estas relaciones toman la forma siguiente, según Raudkivi (1979) y Kite (1988):

$$QT = f(A^a, B^b, C^c, \dots, Z^z) \quad [2]$$

donde A,B,C,...Z son las variables independientes y las constantes a,b,c...z son obtenidas del análisis de regresión múltiple. Algunas de las técnicas para obtener estas constantes son la regresión lineal simple, regresión lineal múltiple, procedimientos de retraso, paso a paso o hacia delante. También son bastante empleados el método ordinario de mínimos cuadrados (OLS) y el método de mínimos cuadrados generalizado (GLS) planteado por Stedinger y Tasker (1986). Tales procedimientos son satisfactorios cuando la longitud de los registros de avenidas son lo suficientemente grandes (ASCE, 1996). De la misma forma en que la correlación múltiple utiliza las características fisiográficas y meteorológicas, la correlación canónica ha sido empleada en la determinación de pronósticos mensuales de precipitación en costas y escurrimientos estacionales de nieve, pronósticos de lluvias de gran duración y estudios regionales de avenidas, entre otras aplicaciones. En especial, se ha encontrado que los estudios regionales apoyados en el análisis canónico arrojan buenos resultados, según el GREHYS (1996). Recientes investigaciones realizadas por Ouarda *et al.* (2001), sobre la correlación canónica, permitieron establecer el número óptimo de estaciones en una región, así como la identificación de cuáles variables fisiográficas y meteorológicas resultan más adecuadas para el pronóstico hidrológico. Los resultados prueban que la metodología desarrollada de la unión de técnicas regionales de distribución de frecuencias, como el método de la avenida índice y el análisis de correlación canónica, es estable y robusta en cuanto a la configuración de la red hidrométrica.

Aprovechando la sencillez en la estimación de los parámetros de la distribución de Gumbel y el análisis de correlación múltiple, se propone un procedimiento regional para estimar caudales ecológicos en cuencas cerradas en donde, en la actualidad, pocos autores han estudiado el comportamiento de los escurrimientos en cuencas que descargan principalmente a un cuerpo de agua.

Descripción de la zona en estudio

Las cuencas cerradas de Sayula pertenecen a la Región Hidrológica 12 Lerma-Chapala-Santiago. Está ubicada al sur de la ciudad de Guadalajara, México (figura 2). Al noreste se encuentra limitada con la cuenca de Santa Rosa, Región Hidrológica 12 Río Santiago; al este con la cuenca del lago de Chapala, Región Hidrológica 12 Lerma-Chapala; al sureste con la cuenca del río Coahuayana, Región Hidrológica 16 A; al suroeste con la cuenca del río Armería, Región Hidrológica 16 B y, finalmente al noroeste, con la cuenca del río Ameca, Región Hidrológica 14. Está comprendida totalmente en el estado de Jalisco, con una superficie total de 3,298 kilómetros cuadrados.

Disponibilidad de aguas superficiales

Se realizó un estudio de disponibilidad para cada una de las cuencas de esta región conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-O11-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, en la que la disponibilidad media anual de agua superficial en una cuenca hidrológica se determina en el cauce principal en la descarga de la cuenca hidrológica y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca (D)} = \text{Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo (Ab)} - \text{Volumen anual actual comprometido aguas abajo (Rxy)}$$

El volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo de su salida se determina, a su vez, con la expresión siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo (Ab)} = \text{Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba (Ar)} + \text{Volumen medio anual de escurrimiento natural (Cp)} + \text{Volumen anual de retornos (R)} \\ & + \text{Volumen anual de importaciones (Im)} - \text{Volumen anual de exportaciones (Ex)} - \text{Volumen anual de extracción de agua superficial (Uc)} \end{aligned}$$

Considerando la aplicación de la ecuación para el cálculo de Ab en cada cuenca, así como las conexiones entre ellas para determinar el volumen medio anual de escurrimiento, desde la cuenca aguas arriba (Ar) de las cuencas secuenciales.

El remanente (Ab) de los recursos propios de la cuenca "X" (Cp y R), además de los recursos que le son aportados por otras cuencas (Ar e Im) una vez satisfechas las demandas (Uc , Ex), representan los escurrimientos hacia agua abajo (Ab) de esta cuenca. Resulta evidente que este escurrimiento se convierte en el término (Ar) de la cuenca "Y"; y que dependiendo de su propia oferta, parte o toda esta aportación (Rxy) será necesaria para satisfacer sus propias demandas. De esta manera, la disponibilidad no comprometida (D) de la cuenca "X" estaría dada por

$$D = Ab - Rxy$$

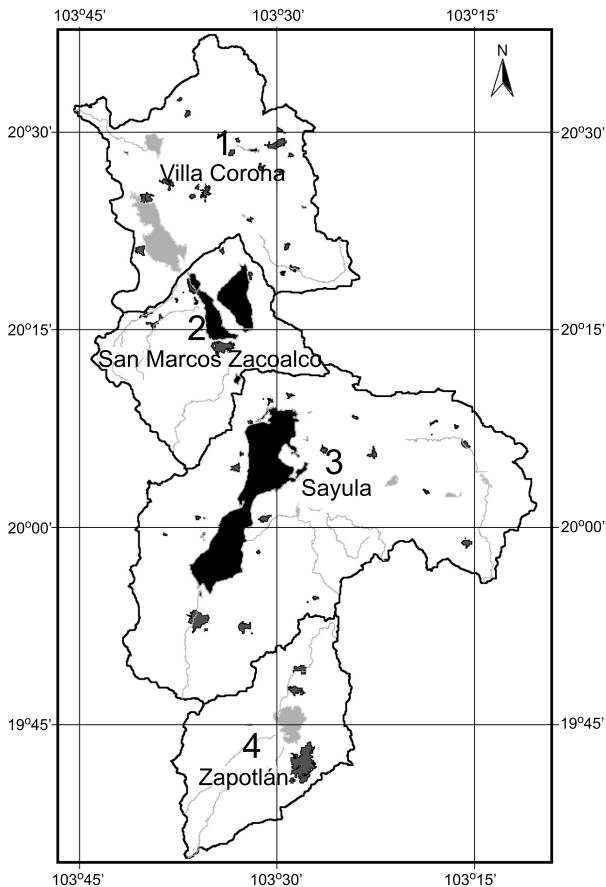


Figura 2. Región hidrológica 12, cuencas cerradas de Sayula.

Es evidente que si Ab es menor que los compromisos aguas abajo R_{xy} , matemáticamente D sería negativo, pero en términos reales se puede decir que no existe disponibilidad hacia aguas abajo de la cuenca en estudio. Así, la condición de una cuenca para establecer nuevos aprovechamientos depende de si D es mayor o igual a cero. Conforme a esto, en todos los tramos o cuencas si D es igual a cero, no es posible realizar aprovechamientos de agua adicional sin afectar los usos ya existentes. Por otro lado, si D es mayor que cero, es posible establecer nuevos aprovechamientos.

Distribución Gumbel

La distribución de valores extremos tipo I o distribución Gumbel nace con Fisher y Tippett, en los años veintes, con la Teoría de Valores Extremos. En los años treinta, Gumbel realiza aplicaciones prácticas usando los estadísticos de valores extremos de distribuciones del tiempo de duración de la vida humana y, en 1941, publica algunos artículos con respecto a sus aplicaciones en el análisis de frecuencias de caudales máximos y mínimos. Sus expresiones básicas son las siguientes:

Función de densidad de probabilidad

$$f(x) = \frac{1}{b} \exp \left[-\frac{(x-a)}{b} - \exp \left[-\frac{(x-a)}{b} \right] \right] \quad [3]$$

Función de distribución acumulada

$$F(x) = \exp \left\{ -\exp \left[-\frac{(x-a)}{b} \right] \right\} \quad [4]$$

Función de densidad inversa (de probabilidad a)

$$a - b \ln \ln \left[\frac{1}{\alpha} \right] \quad [5]$$

Regionalización hidrológica

Para llevar a cabo la transferencia de información hidrológica, se utilizó un procedimiento regional en donde se correlacionaron las características fisiográficas de la cuenca con los parámetros de la distribución de Gumbel de los

caudales medios diarios en las estaciones hidrométricas vecinas (figura 3). Las características de las cuencas que se tomaron en cuenta son: latitud, longitud, área y lámina de precipitación (figura 4). De esta forma con ayuda de una regresión, con estas características y tomando uno de los parámetros de cada distribución se encontraron los coeficientes de la ecuación de transferencia de información hidrológica. Las ecuaciones para los parámetros de la función de distribución Gumbel son las siguientes.

$$\mu = -10.550LAT - 2.033LONG + 0.047AREA + 0.002hp \quad [6]$$

$$\alpha = 3.096LAT + 0.534LONG + 0.004AREA - 0.004hp \quad [7]$$

donde

LAT es la latitud de la cuenca en estudio, expresada en grados decimales
 LONG. es la longitud de la cuenca en estudio, expresada en grados decimales
 AREA es el área de la cuenca en estudio, en km²
 Hp es la lluvia media anual, en mm

Los parámetros encontrados con estas expresiones se sustituyen en la función de distribución de probabilidad Gumbel inversa y, con ésta, se obtiene la magnitud del caudal para el periodo de retorno de 2.33 años ($Q_{2.33}$). Este caudal transformado a millones de metros cúbicos al año, corresponde al caudal medio de la cuenca. Así, el caudal ecológico se obtiene con el 10% del $Q_{2.33}$, sin embargo, este valor representa el caudal ecológico para un tramo de río en particular y no para cuerpos de agua en cuencas cerradas. De esta forma, se propone afectar dicho valor por un *coeficiente de cuenca* formado a partir de la relación lluvia laguna-lluvia cuenca.

Dicha relación debe expresar la proporción entre el volumen escurrido por cuenca propia y el volumen llovido, sin considerar cuerpos de agua en la cuenca. Adicionalmente, este factor debe contener un coeficiente de escurrimiento inversamente proporcional al caudal ecológico (Cervantes *et al.*, 2006). De esta forma, el caudal de conservación en cuerpos de agua para cuencas cerradas se estima como:

$$\begin{aligned} Q_{\text{conservación}} &= Q_{\text{ecológico}} \cdot k \cdot \frac{d}{dCe} \arcsin \frac{s}{Ce} \\ &= Q_{\text{ecológico}} \cdot k \cdot \frac{1}{\sqrt{Ce}} \end{aligned} \quad [8]$$

donde

$Q_{conservación}$ caudal que debe conservarse con el objeto de preservar la condición de medio ambiente en los cuerpos de agua de una cuenca cerrada (en $hm^3/año$).

$Q_{ecológico}$ caudal que se recomienda extraer para provocar cambios mínimos en el ecosistema de la cuenca (en $hm^3/año$).

$k = \frac{Cp}{Vol.llovido}$ coeficiente de cuenca, relación del volumen de escurrimiento en la cuenca y volumen de precipitación (adimensional).

Cp escurrimiento por cuenca propia, estimado según la normativa vigente de Conagua (en $hm^3/año$).

$Vol.llovido$ volumen llovido en la cuenca sin considerar cuerpos de agua (en $hm^3/año$).

$\frac{d}{dCe} \arcsin \frac{s}{Ce}$ coeficiente de rapidez de escurrimiento obtenido a través de la relación de la pendiente s del cauce y su coeficiente de escurrimiento Ce . Al derivar esta función obtenemos la constante $\frac{1}{\sqrt{Ce}}$

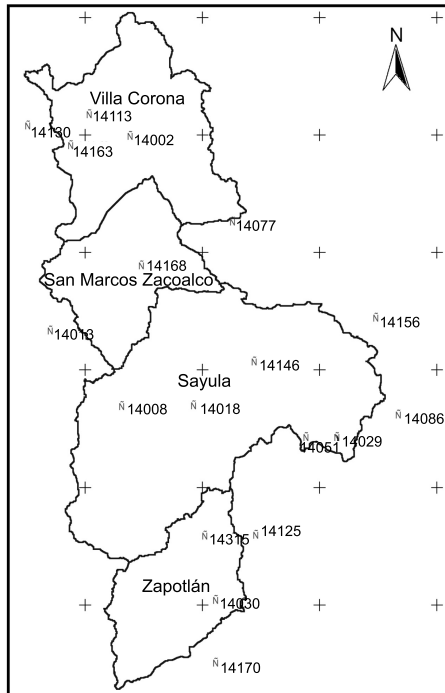


Figura 3. Estaciones climatológicas de la región hidrológica 12, cuencas cerradas de Sayula.

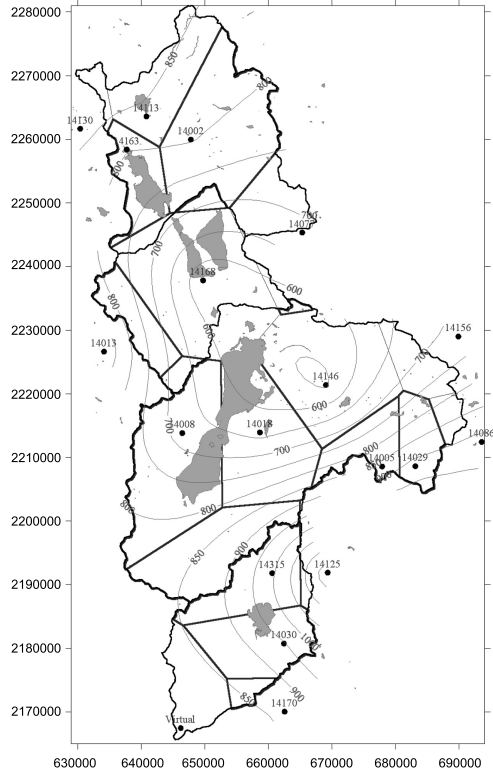


Figura 4. Isoyetas medias anuales de la Región Hidrológica 12, cuencas cerradas de Sayula.

Resultados de la correlación múltiple

Con el procedimiento anteriormente descrito se obtiene el caudal ecológico y, con la última expresión, se obtienen los correspondientes caudales de conservación para las lagunas de la Región Hidrológica 12. Estos caudales de conservación presentados en el cuadro 1, deben incluirse en la ecuación de balance para estimar la disponibilidad en la cuenca de estudio. De esta forma, los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Nombre de la cuenca	Caudal ecológico (hm ³)	Caudal de conservación (hm ³)
Villa Corona	151.80	61.16
San Marcos	93.40	35.08
Sayula	305.20	115.85
Zapotlán	113.20	45.54

Cuadro 1. Caudales de conservación resultantes.

Conclusiones

Un simple procedimiento regional permitió utilizar los parámetros de la distribución Gumbel para transferir información hidrológica en sitios sin registros hidrométricos, como es el caso de las cuencas cerradas de Sayula. Un coeficiente de cuenca y una relación empírica entre la pendiente de la cuenca y la rapidez de variación entre el cambio o propagación del coeficiente de escurrimiento, permitieron estimar un caudal ecológico y un caudal de conservación en las cuencas cerradas en estudio. Por su sencillez, se propone esta expresión empírica para estimar los caudales ecológicos en cuencas cerradas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las maestras Jacqueline Lafragua Contreras, Yolanda Solís Alvarado y Delia González Rojas la información básica proporcionada para la realización del presente estudio, así como a las autoridades de la Comisión Nacional del Agua, en Jalisco.

Literatura citada

- ASCE. American Society of Civil Engineers, 1996. *Task commite on Hydrology Handbook*, 2a edición. New York, EU 1996.
- Bacch Baldassare, Becciu Gianfranco y Kottogoda Nath. T. 1994. Bivariate exponential model applied to intensities y durations of extreme rainfall . *Journal of Hydrology*, 155(1-2):225-236.
- Campos A. D. F. 2007. *Estimación y aprovechamiento del escurrimiento*. San Luis Potosí, México.
- Cervantes C. 2006. *Análisis de frecuencias en hidrología*. Tesis de licenciatura Universidad La Salle Cuernavaca, México.
- Copeland R. R., Biedenharn D. S. y Fischernich R. E. 2000. Chanel – Forming – Discharge. Technical Note US Army Corps of Engineers.
- Dourojeanni, A. 2000. *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable*. Serie Manuales No. 10. CEPAL, United Nations, Santiago, Chile, 371 pp.
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J., (Eds), 2003 *Flow, The essentials of environmental flows*, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 118 pp.
- Fiorentino M. y Gabriela S. 1984. A correction for the bias of maximum-likelihood estimators of Gumbel parameters . *Journal of Hydrology*, 73 (1-2): 39-49.
- García. E., Martínez P., Aguilera.C. y Aguilar A. 1996. *Determinación del caudal de reserva ecológico en los ríos Tonto y Santo Domingo*. Informe final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Gaviño Novillo, J.M. 2004. *Determinación del caudal fluvioecológico en los bañados del río Atuel*. Propuesta metodológica. Convenio Facultad de Ciencias Exactas y

- Naturales, Universidad Nacional de La Pampa y Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa, Informe final.
- GREHYS (Groupe De Recherche En Hydrologie Statistique). 1996. Inter-comparison of regional flood frequency procedures for Canadian rivers. *Journal of hydrology*, 186 (1-4): 85-103.
- González del Tánago, M. y García de Jalón, D. 1995. Principios básicos para la restauración de ríos y riberas, *Ecología* 9: 47-64.
- Gutiérrez-López M.A. 2003. *Modélisation stochastique des régimes pluviométriques a l'échelle régionale pour la prévision des crues au Nord-Mexique*. Tesis doctoral. Institute National Polytechnique de Grenoble, Francia.
- Kite, G. 1988. *Frequency and risk analyses in hydrology*, Water Resources Publications, Littleton Colorado, USA.
- Koch S. P. 1991. Bias error in maximum likelihood estimation. *Journal of Hydrology*, 122 (1-4): 289-300.
- Loukas Athanasios. 2002. Flood frequency estimation by a derived distribution procedure. *Journal of Hydrology*, 255 (1-4): 69-89.
- Mosley M. P. and McKerchar A. I. 1993. *Handbook of Hydrology*. David R. Maidment (Ed). McGraw Hill, Inc. New York. U.S.A.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 1974. *Glosario Hidrológico Internacional*. WMO/OMM/BMO. Secretaría de la OMM. Ginebra, Suiza.
- Ouarda, T., Girard, C., Cavadias, G. y Bobee, B. 2001. Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. 254 (1-4): 157-173.
- Ramírez M. J. C. 2002. *Caudal formativo de cauces naturales, criterios y aplicación a cuatro corrientes aluviales del Golfo de México*. Tesis de maestría. DEPEFI Campus, Jiutepec, Morelos.
- Raudkivi, A. 1979. *Hydrology. An advanced introduction to hydrological processes and modeling*. Pergamon Press, 1979, New Zealand, pp. 271-307.
- Sivapalan Murugesu y Blöschl Günter. 1998. Transformation of point rainfall to areal rainfall: Intensity-duration-frequency curves. *Journal of Hydrology*, 204(1-4): 150-167.
- Singh Pratap y Kumar Narres. 1997. Effect of orography on precipitation in the western Himalayan region. *Journal of Hydrology*, 199(1-2): 183-206.
- Stedinger, J.R., and Tasker, G. 1986. Regional hydrologic analysis, 2, Model-error estimation of sigma and log pearson type 3 distribution. *Water resources Res.* 22(10):1487-1499.
- Wotling G., Bouvier Ch., Danloux J. y. Fritsch J. M., 2000. Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment. *Journal of Hydrology*, 233(1-4): 86-101.

FACTORES SOCIALES DE RELEVANCIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN MÉXICO

Jorge Martínez Ruiz, Daniel Murillo Licea y Marco A. Sánchez Izquierdo

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso Jiutepec, Morelos, México, jorgemartinez@tlaloc.imta.mx, dmurillo@tlaloc.imta.mx, masanchez@tlaloc.imta.mx

Resumen

En este capítulo se presenta el resultado de los análisis y discusiones sostenidos en el Foro Nacional para la Determinación del Uso Ambiental o Caudal Ecológico en México, en torno a los aspectos sociales asociados con la posibilidad de establecer el régimen de caudal ambiental en las cuencas de México. En primer término, se hace una consideración general acerca de la influencia de las actividades humanas en la degradación ecológica, en seguida se identifican las carencias que obstaculizan el establecimiento de este régimen e, inmediatamente, se muestra un conjunto de propuestas. Finalmente se arriba a las siguientes conclusiones: el concepto de caudal ecológico debe incluirse como parte de una estrategia más amplia de desarrollo sustentable; hay que generar diagnósticos y estrategias diferenciadas, adecuadas a las especificidades étnicas, sociales, ecológicas y económicas; debe partirse del reconocimiento y respeto de los derechos de propiedad y uso del territorio de los pueblos indios; es preciso rescatar experiencias, prácticas adecuadas, iniciativas y avances en el manejo sustentable de los recursos naturales; los diferentes actores sociales involucrados en la definición de un caudal ecológico requieren de información técnica sobre el estado de sus ecosistemas, cuencas o microcuencas; se requiere construir acuerdos básicos, desde la comunidad y el municipio, hasta los usuarios urbanos y a las instituciones en los distintos ámbitos de gobierno.

Abstract

This chapter presents the results of the analyses and discussions held at the National Forum on Environmental Use or Ecological Flows in Mexico that hinge around the social aspects related to the possibility of establishing an environmental flow regime in the watersheds of Mexico. First, a general consideration of the human activities that have a negative impact on the ecology is made. Next, the deficiencies that hinder the implementation of such a regime are identified, and then, a set of proposals is offered. Finally, the following conclusions are drawn: the concept of ecological flow must be included as part of a broader strategy for attaining sustainable development; diagnoses and strategies should be differentiated and adequate to any ethnical, social, ecological, and economic specificities; acknowledgement and respect should be paid to the property rights and territory use of indigenous peoples; it is essential that all experiences, adequate practices, initiatives, and advances in the sustainable management of natural

resources be accounted for; the different social actors involved in the definition of an ecological flow that also require technical information on the conditions of their ecosystems, watersheds or microwatersheds; basic agreements need to be reached, from communities and municipalities to urban users and institutions at all government levels.

Introducción

El enfoque de gestión integrada de cuencas encuentra caminos de cruce con el del caudal ecológico, simplemente al reconocer que las cuencas y microcuencas son unidades de recorte hidrológico, espacial y social donde confluyen tanto los usos consuntivos como los no consuntivos del agua: "Una característica fundamental de las cuencas, es que en sus territorios se produce la interrelación e interdependencia entre los sistemas físicos y bióticos, y el sistema socioeconómico, formado por los usuarios de las cuencas, sean habitantes o interventores externos de la misma" (Dourojeanni *et al.*, 2002). Es por ello que el caudal ecológico puede ser definido en términos de cuenca.

La identificación y preservación del mínimo caudal que debe asegurarse para que en cada cuenca se sostengan las condiciones de reproducción de los sistemas vivos, supone la consideración de múltiples dimensiones. En esa consideración salta a la vista la importancia de incluir los aspectos sociales ya que a menudo, por no decir siempre, es la intervención humana la causa de la degradación ecológica. En ese sentido, no se trata tan sólo de lograr que la ciudadanía se interese en el tema, sino que es necesario encontrar caminos para que se involucren en el conocimiento del problema y tomen decisiones que les permitan cambiar sus prácticas y actitudes en todos los órdenes de su existencia, en relación con el medio ambiente.

El abuso en la utilización de los recursos naturales, en particular el agua, está sin duda asociada con las actividades productivas modernas pero también a la pobreza, ya que con frecuencia los estratos más pobres de la población se ven obligados a abusar de la naturaleza ante la ausencia de opciones de sustento. Existe, pues, una relación indisoluble entre la posibilidad de alcanzar la sustentabilidad ambiental y el combate a la pobreza. Mientras no se encuentren soluciones a la pobreza, no se logrará la sustentabilidad y el desarrollo.

Partimos de considerar que en nuestro país los aspectos sociales, aunque de manera insuficiente, ya se contemplan en el marco jurídico además de que se dispone de experiencias en las que se ha logrado el respeto por el caudal ecológico. En ese orden de ideas, si bien es un significativo paso adelante que la Ley de Aguas Nacionales (LAN) se refiera explícitamente al caudal ecológico, las normas al respecto deben clarificarse y precisarse. Ahora, hay que dirigir la discusión hacia dos orientaciones: cuáles son las carencias y deficiencias a

resolver para la definición de caudal ecológico en México, y qué actitudes o conductas, y de quiénes, hay que cambiar para implementarlo. Nuestra tarea consiste en bordar respuestas a las interrogantes desde la óptica de las ciencias sociales.

A continuación, se aborda el ejercicio de identificar, por un lado, las carencias, insuficiencias y deficiencias para determinar e implementar el caudal ecológico y, por el otro, identificar las percepciones, actitudes y conductas que hay que cambiar para implementarlo como base en la elaboración de las propuestas concretas.

Marco legal y aspectos sociales

Como parte de la estrategia de aplicación del caudal ecológico en México, debe desarrollarse un marco legal adecuado que integre las leyes, normas, programas, procedimientos y necesidades para su cálculo e implementación en México. Sabemos, por experiencia desarrollada en varios proyectos y a través de varios lustros, que las leyes mexicanas en teoría son adecuadas y congruentes, pero el marco regulatorio y de aplicación concreta en la realidad es lo que encuentra fallas importantes. Una carencia lo es la reglamentación específica para el caudal ecológico, tarea que debe retomarse por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Comisión Nacional del Agua, para otorgar y restringir las dotaciones y asignaciones de agua.

Sin embargo, no basta, como hemos dicho, con un marco legal adecuado o con las normas ecológicas concretas y difundidas ampliamente, sino que hay que tomar en cuenta la compatibilidad y complementariedad sectorial para el soporte del caudal ecológico. Con esto nos referimos a los mecanismos interinstitucionales y de coordinación de niveles de gobierno para que las normas, leyes y reglamentos tengan una aplicación expedita y clara, comenzando por el papel que juega cada ente federal en el diseño y aplicación de las normas del caudal ecológico. En este mismo sentido es de gran importancia articular los programas de desarrollo sustentable y de tecnificación agropecuaria gubernamentales, con la planeación y determinación del caudal ecológico.

La participación ciudadana es otro elemento que aparece como imprescindible tanto en la definición de la norma específica para asignar y definir caudales ecológicos como en la aplicación específica a casos concretos. Algún mecanismo jurídico debe incluir la participación social como elemento que apoye no sólo la labor institucional, el cuidado y preservación del medio ambiente, sino que propicie la disseminación del conocimiento en torno a los asuntos relacionados con el medio ambiente y con la observancia de las leyes existentes de parte de usuarios y de quienes deben hacerlas respetar.

Se trata, en todos sentidos, de definir un marco jurídico aplicable a las condiciones reales ambientales, mediante el apoyo, conocimiento, vigilancia y mecanismos de corresponsabilidad social, por parte de las instituciones involucradas, los organismos federales, estatales y municipales y la sociedad en su conjunto. El tema de este artículo no está centrado sobre los problemas legales, pero es imprescindible que lo jurídico esté relacionado íntimamente con los aspectos sociales para lograr un conocimiento y una aplicación adecuada del concepto de caudal ecológico.

Identificación de aspectos sociales y visión integral

El concepto de caudal ecológico lleva implícito el tomar en cuenta a las poblaciones locales y a los distintos grupos sociales. Las distintas metodologías utilizadas mundialmente para medir el gasto ecológico no han utilizado con la suficiente atención este parámetro en sus análisis. Estos métodos son, a saber: el denominado cuadros de consulta, análisis por computadora, análisis funcional y el modelo de hábitats (Dyson *et al.*, 2003).

Los métodos de cuadros de consulta, análisis por computadora y análisis funcional determinan el flujo ecológico con base en datos hidrológicos y mediciones hídricas. Algunas veces se incorporan datos sobre el medio ambiente, sobre todo basándose en datos de flora y fauna, pero sólo en el método de hábitats puede incorporarse una mirada más integral que permita incorporar no sólo los datos hidrológicos y ecológicos, sino otro tipo de parámetros, como los aspectos antropogénicos (como la construcción de infraestructura, por ejemplo) y datos sociales. En este artículo no buscamos determinar el mejor método para medir el caudal ecológico, porque sólo a través de una visión integral estamos convencidos de que puede alcanzarse no sólo la definición sino la aplicación efectiva del flujo ambiental.

En este marco, reconocemos que el mejor enfoque es uno que llamaremos integral, no sólo porque parecería que es un enfoque que toma en cuenta aspectos hidrológicos, ambientales, sociales y económicos, sino que debería basarse en un acercamiento entre los conocimientos técnicos (a través de expertos) y los conocimientos locales y sociales.

Dentro de la definición y aplicación del concepto de caudal ecológico faltaría incluir el conocimiento local tradicional sobre ecosistemas y sobre sistemas sociales. Esto permitiría tener un entendimiento acerca de los diversos usos del agua (no usos generalizados, sino localmente adoptados), el nivel de participación y organización de los usuarios y el desarrollo de un programa de concientización sobre valores y servicios de caudal ecológico y necesidades de implementación, que vaya a la par con los procesos de planeación. En este

nivel, pero sobre todo en la implementación de los mecanismos específicos de caudal ecológico, hay que tomar en cuenta dos aspectos sustanciales: que los parámetros de medición del caudal ambiental deben ser adecuados a cada región (según el sistema ambiental e hidrológico), pero también adecuarse a las condiciones sociales, económicas y culturales de la población; sólo así podrá salvarse el obstáculo de una inadecuada valoración social e institucional de los servicios ambientales que brindan los ríos.

Aunado a lo anterior, durante la fase de diseño, pero también de implementación, haría falta instrumentar mecanismos de comunicación e información para que la sociedad civil se apropie culturalmente del concepto de caudal ecológico, en el sentido de generar y diseminar materiales informativos y de conocimiento. Ello permitirá a los usuarios del caudal ecológico: a) tomar decisiones a partir de conocimientos objetivos, y b) tener actitudes favorables y positivas en torno al cuidado y preservación de los caudales.

Partir de un diagnóstico integral significa también superar el escollo de la falta de conocimiento acerca de los grupos sociales involucrados en el manejo del concepto principal de este artículo. En cuanto a los mecanismos de gestión participativa de los recursos naturales, habría que reconocer las formas y maneras en que la sociedad, comunidades, grupos sociales e individuos interactúan y tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) La atención al fortalecimiento de la organización comunitaria, particularmente en el caso de los ejidos mestizos (no indígenas).
- b) El escaso interés de autoridades municipales para regular el uso y manejo de los recursos naturales, incluidos los cuerpos de agua.
- c) La baja efectividad de los espacios de participación existentes para la toma de decisión sobre el uso sustentable de los recursos naturales.
- d) El inadecuado desarrollo de métodos y herramientas para la determinación e instrumentación del caudal ecológico, de manera participativa.
- e) Los esquemas incluyentes de representación de intereses.

El método denominado como “respuesta río abajo”, llevado a cabo en Lesoto, África (Dyson *et al.*, 2003), incluye, dentro de los componentes de diseño y aplicación, un “módulo” de condiciones socioeconómicas, que caracteriza los usos ambientales por parte de los usuarios, su producción asociada y perfiles de salud. Este es un avance sustancial para encontrar un punto de equilibrio entre los aspectos hidrológicos y ambientales con los socioeconómicos, pero nos parece de relevancia incluir, además, los aspectos de conocimiento tradicional y local, así como los aspectos culturales en relación con los recursos naturales y, en particular, con el agua.

Casos especiales son las regiones indígenas en México, ya que los grupos sociales que habitan en estos lugares han desarrollado una relación con los recursos naturales, que va íntimamente ligada con creencias, usos, mitos, tradiciones y costumbres, que en el lenguaje antropológico solemos llamar “cosmovisión”. Los indígenas otomíes, por ejemplo, guardan creencias acerca de las aguas que fluyen en los ríos y la diferenciación con el agua de manantiales:

Por lo común, el agua de los pozos (y la de manantial) es la utilizada para beber, cocinar y lavar. Se tiene por agua limpia y fasta. El agua que va siendo ocupada, corre hacia el arroyo y de ahí hacia el río. Se entiende entonces que el agua de los arroyos y ríos es sucia, y por lo tanto, nefasta. La gente es sumamente precavida al cruzar un río, así sea un riachuelo insignificante: un resbalón y corren el peligro de que su sombra (su esencia vital) quede atrapada en el agua. Los ríos son lugares de muertos y ahogados, que claman por compañía, de manera que aprovechan cualquier descuido para derribar a cualquier víctima potencial. De ahí que los ríos y arroyos sean espacios que se ven con mucho miedo, o al menos, con precaución (Lazcarro, 2007).

La insuficiencia en el conocimiento de los rasgos culturales (históricamente construidos) asociados con el territorio (conocimiento, uso, adaptación y transformación) en zonas delimitadas, es de capital importancia para aplicar las medidas relativas al caudal y, aunado a ello, el desarrollo de un protocolo para la sistematización de experiencias en manejo de cuencas, incorporando la determinación y protección del caudal ecológico a nivel de cuenca y de microcuenca. Se trata no sólo de saber de qué recursos dependen las comunidades y grupos sociales asentados en una cuenca, sino de tener la capacidad de saber qué prácticas y percepciones tienen esos grupos y cuál es su relación integral con el medio ambiente.

Es necesario, entonces, considerar en forma prioritaria la pluralidad y diversidad ecológica, biológica, social, étnica y cultural de México, en el diseño y aplicación de metodologías para el diagnóstico y conservación del caudal ecológico.

Se trata, en consecuencia, de aplicar programas y políticas públicas con una clara definición metodológica participativa y con ello garantizar no sólo su aplicabilidad, sino su *sustentabilidad* en términos de corresponsabilidad social. Para ello, desde las fases de planeación, hay que tener claro que el concepto del caudal ecológico, su regulación, las políticas específicas y sus programas derivados deben centrarse en una conceptualización hacia la sustentabilidad, lo que significa:

...garantizar que el programa ha de tener éxito y que se pueda incidir paulatinamente en la recuperación ambiental de la zona, equivale a considerar válidas las relaciones sociales existentes en las comunidades

que se piense intervenir; pues aun cuando existan esfuerzos organizativos en ellas, si el programa no reconoce las dinámicas propias de las comunidades, los procesos de autogestión o si sólo se enfoca a atender o resolver ciertos temas, desconociendo las redes existentes y los liderazgos positivos de la región, no será posible lograr avances sustanciales en las acciones emprendidas (López y Durston, 2006).

El reconocimiento de las dimensiones sociales en la definición del caudal ecológico debe estar centrada sobre los elementos mencionados. El enfoque delimitado sobre las poblaciones y los recursos naturales utilizados (flora, fauna, tierra y agua) obedece a modelos de evaluación y gestión de recursos ambientales, que ven limitada su visión, según opinamos, debido a que la atención se centra en la necesidad de los grupos sociales en relación con ciertos elementos del medio ambiente. De esta forma la definición de “gestión” de recursos naturales se realiza en relación directa sobre el uso productivo de recursos, más que en valoraciones sociales o culturales y centrando la atención sólo en las prácticas que afectan esta relación reducida a producto-productor y su interrelación estrecha sólo en este marco.

Aunado a lo anterior, y para lograr resultados positivos y alcanzar la sustentabilidad en la aplicación de normas sobre el caudal ecológico, se deben tomar en cuenta algunos factores que suelen obstaculizar los proyectos de desarrollo rural. Dichos factores son: la pobre planeación y programación; la inadecuada localización de los recursos de los proyectos; la percepción negativa de los habitantes rurales acerca de sus capacidades y organización; la promoción de tecnología inadecuada; la inadecuada promoción; metodologías inefectivas de capacitación; y la falta de políticas públicas (Anyaeibunam *et al.*, 2004).

Para desarrollar una propuesta metodológica que atienda las carencias a las que hemos hecho referencia líneas arriba, es necesario incluir una serie de fases, que van de la planeación hasta la evaluación, partiendo de un enfoque integral y participativo.

Como parte de un diagnóstico inicial es necesario caracterizar las percepciones y posiciones de los distintos sectores de la sociedad acerca del caudal ecológico, bajo el supuesto inicial de la vinculación de la salud del sistema ambiental o hídrico con su calidad de vida. Esta caracterización presupone el conocimiento de prácticas y de actitudes detrás de estas prácticas. Es imperativo conocer, mediante un trabajo de evaluación y monitoreo, las acciones realizadas por los diversos sectores sociales en relación con el medio ambiente. Junto a estas actividades, debe existir el reconocimiento al saber tradicional y evitar la “erosión” del caudal ecológico evitando la “erosión” cultural; esto es, rescatar el capital cultural existente en el conocimiento tradicional en los campos tecnológico y

social, que se tome como base para la propuesta de normas de conservación del caudal ecológico.

Aunado a ello, es deseable identificar a los diversos actores sociales, civiles, políticos, científicos y otros para construir espacios plurales de diálogo, tanto a nivel local como regional, desde la etapa de definición del caudal o de planeación. Una situación semejante a la mencionada más arriba acerca del marco legal. Partiendo de este hecho y de la replicabilidad del conocimiento acerca del caudal ecológico, el diagnóstico debe incluir una segmentación más fina de los integrantes de la sociedad para llevar a cabo procesos de comunicación y de educación más eficaces. Lo anterior con el objetivo de construir y fortalecer una conciencia social nacional acerca de la importancia del caudal ecológico, que reconozca las particularidades locales y regionales a través de diagnósticos específicos, en la fase de planeación, y de campañas educativas, informativas y propositivas, en su ejecución.

Los retos a afrontar para la definición y aplicación del concepto (entiéndase también políticas públicas y programas derivados) de caudal ecológico tienen que ver con la generación de una serie de congruencias que faciliten su reconocimiento y su aplicación. Especial cuidado hay que tomar para generar la congruencia necesaria dentro del ejercicio institucional que faculte la integración del concepto de caudal ecológico y manejo de cuencas como criterios. Aunado a ello, generar capacidades de monitoreo y control local y regional del estado del caudal ecológico, para potenciar la participación y la acción colectiva sobre la gestión del mismo.

La aplicación del caudal ecológico conlleva, también, desde las dimensiones sociales, la generación de un cambio en las relaciones entre lo urbano y lo rural, entre la posición que enfatiza la importancia de la producción frente a la que privilegia la defensa del ambiente.

Desde la mirada centrada sobre el ámbito rural, habría que desarrollar y aplicar modelos o propuestas que permitan fortalecer la cohesión y actitud de trabajo colectivo en comunidades y ejidos, con particular énfasis en aquellos que han perdido su cohesión. El concepto de capital social puede ser de gran ayuda en este sentido, tomando en cuenta que:

Quienes se han apoyado en los postulados teóricos del capital social, y han utilizado este concepto como un instrumento para impulsar los programas de desarrollo comunitario o de combate contra la pobreza, sostienen que éste presenta dos dimensiones mediante las cuales los grupos o las comunidades pueden alcanzar sus objetivos comunes: i) la capacidad específica de movilización de determinados recursos por parte de un grupo, y ii) la disponibilidad de redes de relaciones sociales (López y Durston, 2006).

En conjunción con esta propuesta de apoyo a la organización social es necesario consensuar con las poblaciones locales usuarias de los recursos las estrategias a utilizar para la generación de caudales ecológicos, mediante el desarrollo de una estrategia de educación ambiental y de comunicación para difundir el concepto y cambiar actitudes hacia un paradigma que apunte a la conceptualización del agua como recurso vulnerable, finito y escaso. Al respecto del acceso a la información y la rendición de cuentas, se ha dicho que la circulación de información sobre el agua, por otro lado, apoya los procesos de gobernabilidad y relación entre sociedad e instituciones:

En general, se advierten muchos problemas con relación a la disponibilidad, calidad, acceso y difusión de la información necesaria no sólo para la toma de decisiones sino para la elaboración de proyectos de investigación, así como para los procesos de participación, y ello redundando en falta de confianza en la autoridad (UNAM, 2006).

Esta estrategia de educación y comunicación debe apuntalar las bases para incidir en que los usuarios del agua (para fines productivos y de consumo) tomen conciencia de la necesidad de proteger los cuerpos de agua en cantidad y calidad, y realicen las acciones concretas para ello, ya sea la adecuación de prácticas inadecuadas o la adopción de nuevas prácticas, mediante un proceso paulatino que permita, desde las comunidades, asimilar las nuevas condiciones de acción y cambio de actitudes (o adecuaciones, en su caso).

Por otro lado, esta estrategia debería reflejar hacia el grupo de funcionarios y personas que intervienen en el desarrollo local la adopción de actitudes modestas y respetuosas de los usos y costumbres, así como de los derechos de los pobladores de los territorios, para que integren las experiencias, iniciativas y propuestas de los mismos en el ámbito de aplicación y formulación de políticas y programas públicos.

En repetidas ocasiones en el presente texto hemos mencionado el concepto de corresponsabilidad social. Este enfoque (que conlleva un acto de conocimiento, prácticas, percepciones y compromiso ético) debería estar a la par de la estrategia mencionada sobre instituciones y funcionarios, pero desde el otro polo: la sociedad civil. La corresponsabilidad social es una estrategia que permite modificar la visión y la percepción de que las sociedades humanas existen desvinculadas del entorno de los ecosistemas y adquirir una conciencia de que el medio ambiente es afectado no por los otros, sino por las acciones propias. En este sentido, la corresponsabilidad social pretende que los individuos y las poblaciones sean conscientes de que sus propias acciones ayudan a preservar el medio ambiente o lo perjudican. En el ámbito de la corresponsabilidad social es imprescindible que la sociedad civil reconozca que el ciclo hidrológico no es independiente de la actividad humana.

En este sentido habría que realizar una labor intensa de comunicación y diálogo para incidir en el entendimiento del significado del caudal ecológico y su relación con la vida diaria de las comunidades y, con ello, buscar el establecimiento de esquemas de prácticas adecuadas que soporten el mantenimiento del caudal ecológico, al tiempo de ampliar las actividades productivas de la población y analizar la viabilidad de su diversificación.

De las consideraciones a las propuestas

Varios de los elementos que revisaremos a continuación, como parte de la estrategia de aplicación y puesta en marcha del concepto de caudal ecológico, parten del supuesto de considerar a las microcuencas y subcuencas como unidades de planeación. En los procesos de planeación es necesario partir de la conceptualización de que el caudal ecológico no como un usuario más, sino como una condición para que exista la distribución del agua entre todos los demás usuarios. Este supuesto permite plantear al caudal ecológico como uno de los temas de planeación de los programas de desarrollo rural, y estar presente en la agenda institucional como un eje transversal. De esta forma, e incluyendo una visión integral, la planeación debe tomar en cuenta las particularidades ecológicas, sociales, culturales y económicas de las distintas regiones de México, en la formulación de las normas mexicanas sobre caudal ecológico y, por último, aprovechar la posibilidad de sinergia de caudal ecológico con otros temas ya incluidos en las agendas internacional y nacional; entre ellos: desertificación y cambio climático o el cruce entre grupos sociales de atención específica, como jóvenes, mujeres y pueblos indígenas.

Con el objetivo de contar con apreciaciones que orienten hacia la formulación de políticas y programas específicos para la aplicación del concepto de caudal ecológico en cuencas de México, hay que partir de un diagnóstico general. Por supuesto, este diagnóstico debe contener los diversos sistemas en relación, es decir, el ambiental, el social, el tecnológico y el cultural. La propuesta de realizar un diagnóstico general y por cuencas para la implementación del concepto del que hemos venido hablando, tiene varios puntos a tomar en cuenta, sobre todo si buscamos ser congruentes con el enfoque integral que suscribimos. Sin embargo, hay aspectos que han sido mencionados en el apartado anterior y que debemos hacer énfasis. En un diagnóstico, desde la parte social, hay elementos que deben tomarse en cuenta y que forman puntos críticos de conocimiento sobre el caudal. En primera instancia, *la identificación de los actores sociales involucrados en el uso y manejo de los recursos naturales en las cuencas*; esto incluye los actores que, por su acción específica y no tanto por su posición espacial o territorial, afectan de determinada forma a los recursos naturales de las cuencas. La caracterización de las acciones y prácticas específicas de estos actores sociales, así como los tipos de intereses que

representan y el potencial de conflicto entre los distintos usos del agua. Estos son elementos clave que cercarán la aplicabilidad del concepto de caudal ecológico o limitarán su adopción si recordamos que un punto neurálgico es reconocer y rescatar los conocimientos tradicionales de uso, manejo y conservación del agua por parte de grupos sociales, así como las condiciones de vida de sectores marginados.

Un segundo punto crítico es *el monitoreo de la calidad del agua a lo largo de las cuencas para conocer no sólo su disponibilidad, sino su calidad antes y después de pasar por sitios que reciben descargas y sus relaciones entre la salud de las poblaciones*. Si obtenemos un mapa de actores, prácticas, intereses y conflictos potenciales con la información derivada del punto crítico del párrafo anterior y sobreponemos la información de calidad del agua, puntos de descarga y salud de las poblaciones, estamos perfilando un conocimiento espacial no sólo de las acciones contaminantes, sino del comportamiento de la calidad del agua en una zona o cuenca determinada. Ello permite crear criterios de comparabilidad entre prácticas y contaminación, lo que puede derivar en la identificación de estrategias sociales específicas para aminorar fuentes de contaminación o evitar puntos contaminantes y, en consecuencia, la validación, adecuación o cambio de esas prácticas en el contexto del cuidado ambiental.

Un tercer punto crítico en la realización de diagnósticos, y en conjunción con el punto anterior, es *el establecimiento de los niveles de deterioro que pueden sufrir las cuencas sin que los ecosistemas pierdan su capacidad de resiliencia*. En este nivel de análisis, además, se incorpora la dimensión ambiental para definir, en un primero momento, el deterioro del caudal en las cuencas; en un segundo momento se puede definir la aplicabilidad de las normas y programas derivados de caudal ecológico y, en un tercer momento, las acciones correctivas antes de o después de implantar y poner en funcionamiento este concepto.

A partir de este punto, las acciones de diagnóstico se entrelazan con las actividades específicas de intervención, cuya meta siguiente es lograr el consenso entre los actores sociales locales sobre las alternativas para que no se traspasen los umbrales de deterioro permisibles en las cuencas. Esto puede alcanzarse mediante un trabajo intenso de educación ambiental, información, comunicación, divulgación y diálogo con diferentes sectores de usuarios llevaría, con procesos dirigidos hacia la adopción de la corresponsabilidad social, a sensibilizar a los actores sociales que viven a lo largo de los ríos y en los territorios de las cuencas sobre la importancia del caudal ecológico. Cuando hablamos de esto nos referimos también a activar la participación social *activa* en las acciones para el cuidado del medio ambiente, pero no sólo a realizar acciones concretas y puntuales sobre lo que se ha denominado como procesos de consulta pública o procesos de participación pública, donde se somete a

opinión de diversos grupos sociales una propuesta o proyecto, pero no se les toma en cuenta como sujetos activos de procesos de desarrollo sustentable o de procesos de cuidado del medio ambiente. Nuestra visión es distinta: los sujetos que habitan en una cuenca son los actores principales en la definición, seguimiento y evaluación de los procesos que conlleva la aplicación del caudal ecológico.

Medidas específicas para lograr una participación social activa se basan en tres vertientes principales: la de las Tecnologías de Información y Comunicación, la de educación formal y educación no formal.

En lo referente a las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), se pueden crear módulos de información sobre temas relevantes (como la cantidad y calidad del agua para partes críticas de la cuenca), con lenguaje sencillo y accesible a los usuarios del agua. Las TIC han mostrado ser una poderosa herramienta y tener un alto potencial en el establecimiento de programas de desarrollo sustentable en comunidades rurales y la apropiación de éstas por parte de los diferentes usuarios crea perspectivas de atención local a problemas socioambientales e influye en procesos de diálogo intracomunitario, a la apropiación de responsabilidades sobre el ambiente y propicia la aparición de nuevos conocimientos:

En la medida en que los proyectos de telecentros y las TIC sean reconocidos por su contribución y utilidad para las estrategias y proyectos de desarrollo local, las comunidades entrarán en un proceso de apropiación tanto de las herramientas tecnológicas, como de los centros digitales, integrándolos a sus propias formas y medios de comunicación, y se incorporarán a las estructuras sociales y formas propias de organización convirtiéndose en espacios comunitarios de encuentro y comunicación que promuevan iniciativas locales para el mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades (Medellín y Huerta, 2007).

Esta vertiente se ve impulsada desde el ámbito de la generación de una estrategia que permita incidir en la política educativa, con el fin de que la educación ambiental sea un tema obligatorio en las escuelas, e incluir el concepto de caudal ecológico en la currícula educativa. Esta estrategia educativa ambiental debe ser lo suficientemente amplia, para que permee no sólo en el ámbito escolarizado, sino en la educación no formal, de tal suerte que se trabaje el tema de caudal ecológico con diferentes públicos y espacios; entre ellos, los organismos operadores del agua, espacios de cultura del agua y museos. Las estrategias deben tener un carácter heterogéneo para ser acordes con las especificidades ecológicas, culturales y socioeconómicas de las diferentes regiones del país y la aplicabilidad específica del caudal ecológico. Dentro de esta estrategia ambiental se sugiere la aplicación de mecanismos de

comunicación para el desarrollo, tomando en cuenta que, según el documento *Consenso de Roma*, un requerimiento estratégico de programas de desarrollo sustentable es:

El proceso de diálogo, debate e involucramiento que establece políticas públicas relevantes, útiles, y que tienen grupos de electores comprometidos que están dispuestos a implementarlas – por ejemplo, respuestas con respecto a la preservación del medio ambiente (Congreso Mundial sobre Comunicación para el Desarrollo, 2006).

Estas acciones de educación ambiental, información, comunicación, divulgación y diálogo pretenden, entonces, generar un proceso de conocimiento encaminado a cambiar percepciones, actitudes y prácticas relativas con el uso, manejo y conservación de los recursos hídricos y ecosistemas asociados. Aunque la orientación particular de estos mecanismos de contacto con la sociedad es la movilización de información y del conocimiento, esto no excluye otros ámbitos de aplicación, como el apoyo acerca del uso de tecnologías que promuevan un manejo eficiente del agua en sus diferentes usos, como alternativas que contribuyan en el establecimiento de caudales ecológicos. La cosecha de agua de lluvia, biofiltros para tratamiento de aguas grises, baños secos, entre otras, son alternativas apropiables desde los referentes sociocultural, económico y ecológico de los pobladores de las cuencas, de acuerdo con sus condiciones de vida y recurriendo a esquemas de definición de tecnologías tomando en cuenta la diversidad de culturas, pobladores, regiones y necesidades socioambientales.

La activación de procesos sociales como los descritos (a través de las vertientes relacionadas con la información y la comunicación, ya antes mencionadas) conlleva también repercusiones en otros ámbitos, como en la participación social y la organización de usuarios. Incluye este proceso el fortalecimiento de los espacios de representatividad de los usuarios del agua a nivel micro, ya sea subcuenca o microcuenca, a través de comités o de otro tipo de agrupaciones cuyo fin sea la atención al medio ambiente. De especial relevancia es la priorización en la aplicación de las metodologías sobre caudal ecológico, en las regiones con ordenamiento territorial comunitario, pues en ellas coinciden las principales zonas de captación de agua con la presencia de población indígena.

Por último, pero no de menor importancia, lo representa un sistema de seguimiento de acciones y evaluación social de las mismas. Entenderemos por evaluación no una calificación sobre las condiciones específicas de una zona o de proyectos realizados, sino el *conocimiento* de cómo se han dado esas condiciones en interrelación con acciones emprendidas, acciones en

marcha y aplicación de políticas y programas. Así, la evaluación social se entenderá como la aplicación de metodologías sociales e instrumentos para conocer la aplicación de los criterios del caudal ecológico en zonas determinadas. Esta evaluación debe distinguirse, pero integrarse con la hidrológica o ambiental del propio caudal, medición que debe llevarse a cabo desde la etapa de planeación de proyectos o programas de asignación y de forma periódica. Se distinguen dos tipos de evaluación social: la correctiva, que es una intervención directa en el desarrollo de proyectos y programas; permite readecuar acciones o redirigir estrategias, según las condiciones observadas, el tipo de participación social alcanzado o las necesidades socioambientales, elementos emergentes o situaciones no previstas. La segunda evaluación es la sumativa, que generalmente se aplica cuando un programa ha concluido y quiere conocerse su impacto. Para ello, también se utiliza la participación comunitaria o de los destinatarios de los procesos. Los impactos socioambientales no pueden medirse de inmediato, por lo que se consideran como “impactos preliminares” o “primeros impactos”.

La medición del caudal ecológico y su seguimiento debe tomar en cuenta las dimensiones sociales que permitan redimensionar, ajustar, discutir y negociar las visiones, la información y las acciones emprendidas, el conocimiento de los costos-beneficio y los arreglos sociales, la situación ambiental precisa, el monitoreo constante de la calidad del agua y de la salud de los pobladores, el uso de tecnologías, el estado de la infraestructura, los balances hídricos. La aplicación del concepto de caudal ecológico debe, necesariamente, recoger una mirada no sólo multisocial, sino multidisciplinaria. Es, en este reconocimiento, que los caudales ecológicos pueden ser definidos y se pueden plantear escenarios, a través de mapas de sensibilidad ambiental y estudios específicos. Y es imprescindible que toda esta información circule entre los interesados, las instituciones y los pobladores para mejorar el conocimiento acerca del medio ambiente y se incentiven acciones a favor de su cuidado y conservación. Es una tarea, en verdad, compleja, pero no imposible.

Conclusiones

El concepto de caudal ecológico debe incluirse como parte de una estrategia más amplia de desarrollo sustentable. Si se trata de aplicar de manera aislada no tendrá el impacto deseado para la conservación y restauración de los ecosistemas, ni tampoco para la mejoría de la calidad de vida de la población.

La realidad mexicana se caracteriza por la diversidad ambiental, sociocultural y económica. En estos términos, hay que generar diagnósticos y estrategias diferenciadas, adecuadas a las especificidades étnicas, sociales, ecológicas y económicas.

La definición de una política de caudal ecológico debe partir del reconocimiento y respeto del conocimiento, los derechos de propiedad y uso del territorio de los pueblos indios. Debe rescatar experiencias, prácticas adecuadas, iniciativas y avances en el manejo sustentable de los recursos naturales.

Las estructuras de gestión hídrica contempladas en la *Ley de Aguas Nacionales* requieren ser ajustadas y aplicadas, ya que su avance es diverso e insuficiente en muchos casos. Los consejos de cuenca tienen acción limitada debido a que abarcan un territorio demasiado extenso, por lo que pierden efectividad y representatividad. Los comités de microcuenca, unidad de gestión más cercana a la población, prácticamente no han sido impulsados, aun cuando se encuentran contemplados en la *Ley de Desarrollo Rural Sustentable*.

Para lograr los objetivos de definición de caudal ecológico es preciso superar la desinformación acerca del concepto. Ello implica que los diferentes actores sociales involucrados en la definición de un caudal ecológico requieren de información técnica sobre el estado de sus ecosistemas, cuencas o microcuencas. Dicha información debe ser técnicamente precisa y comprensible, desde el horizonte cultural de todos los involucrados, cualquiera que sea su nivel educativo. Por lo tanto, se requiere una política pública orientada a la instrumentación de estrategias y de acciones sistemáticas de educación ambiental, comunicación, divulgación y diálogo.

La participación real de los actores en la implementación del caudal ecológico requiere construir acuerdos básicos en los distintos niveles, desde la comunidad, pasando por el municipio, hasta involucrar a los usuarios urbanos y a las instituciones en los distintos ámbitos de gobierno. Sobre la base de estos acuerdos, tomados desde abajo, es como se podrán afianzar espacios de participación que funcionen de manera democrática, que persistan en el tiempo, se adapten a los cambios naturales y socio-políticos y se liberen de las ataduras de politización de las políticas públicas.

Literatura citada

- Anyaegbunam, Chike; Mefalopulos, Paolo y Moetsabi, Titus. 2004. *Participatory Rural Communication Appraisal. Starting with the people*. SADC, FAO, Roma.
- Congreso Mundial sobre Comunicación para el Desarrollo. 2006. *Consenso de Roma*, Italia, octubre 27.
- Dourojeanni, Axel; Jouravlev, Andrei y Chávez, Guillermo. 2002. *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL, Chile.
- Dyson, Megan; Bergkamp, Ger y Scanlon, John (eds.). 2003. *Caudal, elementos esenciales de caudales ambientales*, UICN, Costa Rica.

- Lazcarro, Israel. 2007. "Pueblos indígenas de México y agua: Otomíes de La Huasteca", *Atlas de culturas del agua en América Latina y El Caribe*, UNESCO-IMTA-Conamexphi, (en imprenta).
- López, Eduardo y Durston, John. 2006. "Capital social y gestión participativa en la cuenca de Pátzcuaro", *Revista de la CEPAL*, núm. 90, diciembre.
- Medellín Urquiaga, Sofía y Huerta, Erick. 2007. "La Promoción de las TIC para el Desarrollo y los Pueblos Indígenas: ¿Extensión o Comunicación?". *The Journal of Community Informatics*. Centre for Community Informatics Research. Training and Development Vancouver. Canadá. vol. 3, núm. 3.
- UNAM. 2006. *Encuentro Universitario del Agua*, UNAM, México.

ASPECTOS JURÍDICOS RELEVANTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN MÉXICO

Luis E. Ramos Bustillos,¹ Gustavo A. Ortiz Rendón² y Alejandra Serrano Pavón³

¹ Ramos Hoek S.C., Carretera Chapala-Jocotepec 268-4 Plaza Las Flores, Ajijic, Chapala, Jalisco, 45920, leagua@gmail.com . ² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Mor., 62550, gortiz@tlaloc.imta.mx . ³ Centro Mexicano de Derecho Ambiental, Atlixco-138, Colonia Condesa, Deleg. Cuauhtémoc, 06140, México, D.F., aserranop@cemda.org.mx.

Resumen

Este artículo trata sobre las principales deficiencias y oportunidades en la regulación del caudal ecológico en la Legislación Mexicana, particularmente en la Ley de Aguas Nacionales. Aborda temas como las lagunas y contradicciones en la definición del concepto, su vinculación a otros aspectos como el de la gestión integrada de los recursos hídricos así como en el régimen de otorgamiento de derechos de agua en México, elaborando propuestas concretas de posible reforma legal.

Executive Summary

This article addresses the main shortcomings and opportunities regarding the regulation of environmental flows in Mexican legislation, particularly in the National Water Law. It deals with the gaps and contradictions concerning the definition of the term, the links with aspects such as integrated water resources management or the ties with the system of water rights in Mexico, making specific proposals for a legal reform.

Introducción

La inclusión del concepto “caudal ecológico” en las recientes reformas a la Ley de Aguas Nacionales en 2004, abre la posibilidad de una amplia regulación sobre dicho concepto. Sin embargo, la propia Ley maneja diversas acepciones y referencias directas e indirectas al tema en cuestión. Esta situación ha creado confusión respecto al contenido y alcance de cada uno de los conceptos manejados. En estas circunstancias, para hacer una regulación adecuada, se debe definir correctamente el término: ¿Uso ambiental? ¿Caudal ecológico? ¿Uso para conservación ecológica? ¿Flujo ambiental? o ¿Gasto ecológico?

El punto fundamental es aclarar si se debe considerar al uso ambiental como un usuario más con otorgamiento específico de derechos, o si bien debe evitarse

circunscribirlo como tal y ubicarlo más bien como el flujo ambiental necesario para la sustentabilidad de un cuerpo de agua.

Este capítulo concluye que sería mejor utilizar el término “caudal” y no “uso” para evitar confrontación del ambiente con otros usos; ello, independientemente de que puedan reservarse determinados derechos de agua para el mantenimiento de dicho caudal mediante la figura jurídica de “reserva de aguas” prevista en la Ley de Aguas Nacionales.

Sin embargo, la inclusión del concepto, por sí misma, ha significado poco en la práctica. Se requiere la formulación de programas específicos por parte de las autoridades del agua y, para tal efecto, es importante contar con parámetros para la medición apropiada de caudales en los que se tomen en consideración las particularidades de las distintas cuencas del país. Para definir dichos parámetros, sería necesario contar con una Norma Oficial Mexicana.

Otros aspectos relevantes, objeto de análisis en este artículo, son la interrelación del caudal ecológico con diversos temas de la política hídrica, particularmente su vinculación con el régimen de otorgamiento de derechos de agua, así como su lazo con la gestión integrada de los recursos hídricos.

En el presente capítulo se encontrarán algunas de las claves y puntos importantes para mejorar la regulación del caudal ecológico en la legislación mexicana, e impulsar en la práctica un mejor desarrollo de los recursos hídricos del país.

Fundamento legal del caudal ecológico en la legislación mexicana: antecedentes y regulación actual

En México, el caudal ecológico está contemplado en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) como uso ambiental o uso para conservación ecológica, la cual lo define como el *caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.*¹

Esta definición fue introducida al ser reformada extensivamente la LAN en el año 2004,² sin embargo, el concepto se encontraba previamente definido en el Reglamento de dicha Ley, de 1994.³ La inclusión del concepto en la LAN es un paso importante para su implementación, ya que abre la posibilidad para una regulación apropiada cuyo origen debe ser la LAN y no sólo, como antes, su Reglamento.

Es importante resaltar que, a diferencia de otros usos, como el urbano o el agrícola, el uso ambiental solamente es esbozado en este Título Primero de la LAN, y referido en forma dispersa y desarticulada en otros pocos artículos de la propia Ley.

Un ejemplo de la regulación del caudal ecológico en la LAN es el capítulo correspondiente a la programación hídrica, en el cual se establece que ésta deberá *respetar el uso ambiental o de conservación ecológica*, la cuota natural de renovación de las aguas, la sustentabilidad de las cuencas hidrológicas y de ecosistemas vitales.⁴

La afectación del caudal mínimo ecológico es una de las causas previstas en la LAN para establecer restricciones con intención de que la autoridad del agua niegue el otorgamiento de concesiones, asignaciones o permisos de descarga;⁵ es, asimismo, causa para decretar la reserva total o parcial de las aguas nacionales.⁶

Por su parte, este ordenamiento legal establece que la promoción de la reserva ecológica es principio básico para la preservación de humedales.⁷

El uso para la conservación ecológica o uso ambiental se encuentra contemplado en el artículo Décimo Quinto Transitorio de la LAN, que lo establece en el quinto lugar en el orden de prelación para el otorgamiento de concesiones o asignaciones de agua.⁸ El establecimiento del uso ambiental dentro de este orden de prelación genera problemas que serán discutidos en el artículo, más adelante.

A pesar de no hacer referencia directa al caudal ecológico o uso ambiental, se puede concluir que el fundamento constitucional de éste se encuentra en los artículos 4 y 27 de la Constitución Federal. El primero de ellos establece el derecho al medio ambiente adecuado de los gobernados, lo cual genera una obligación para el Estado de procurar la consecución de dicho derecho. Este derecho fundamental se encuentra vinculado con el derecho a la protección de la salud, ya que algunos aspectos de ésta se relacionan directa o indirectamente con las condiciones medioambientales.

En materia constitucional, el artículo 27 establece como principios básicos el de la propiedad privada y la posibilidad de imponer a la misma las modalidades que dicte el interés público, entre otras: *regular en beneficio social el aprovechamiento de los recursos naturales*, a fin de lograr una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. El citado artículo dispone que la autoridad dictará las medidas necesarias para

ordenar los asentamientos humanos y *establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos* de tierras, *aguas* y bosques para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y evitar la destrucción de los elementos naturales.

El caudal ecológico se encuentra regulado también en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente,⁹ la cual establece que para el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos se tomarán como criterios, entre otros, la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas, así como el mantenimiento de caudales básicos de corrientes de agua y la capacidad de recarga de los acuíferos.

Existen múltiples disposiciones legales que, si bien no mencionan expresamente el uso ambiental o caudal ecológico, están vinculadas con el mismo, ya sea porque constituyan la base, o bien, por ser elementos importantes para su aplicación. Es importante tomarlas en cuenta, ya que forman parte del fundamento legal al cual será necesario referirse al implementar el caudal ecológico. Por las limitaciones de espacio de este artículo, se mencionan sólo algunas de éstas, contenidas en la Ley de Aguas Nacionales:

- a) La protección, mejoramiento, conservación y restauración de cuencas y acuíferos como causa de utilidad pública y, además, como principio básico de la política hídrica y asunto de seguridad nacional (7, I y 14 bis 5, IX).
- b) El reestablecimiento del equilibrio ecológico de los ecosistemas vitales vinculados con el agua, como causa de utilidad pública (7, V).
- c) La incorporación plena de la variable ambiental, la valoración económica y social de las aguas nacionales en las políticas, programas y acciones en materia de gestión de los recursos hídricos, como causa de interés público (7 bis, VIII).
- d) La facultad y obligación de la Comisión Nacional del Agua (Conagua)¹⁰, de promover en el ámbito nacional el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico (9, XXVI), así como de mejorar y difundir permanentemente el conocimiento sobre la ocurrencia del agua, el ciclo hidrológico y elaborar inventarios de agua (9, XLVI).
- e) El reconocimiento de que el agua proporciona servicios ambientales que deben reconocerse, cuantificarse y pagarse, establecido como principio básico de la política hídrica nacional (14 bis 5, XI).
- f) La obligación de construir una cultura del agua con base en los principios de la política hídrica nacional (14 bis 5, XXI).

Principales deficiencias y retos en la regulación del caudal ecológico en México

Problema de la definición y sus implicaciones jurídicas

Uno de los problemas fundamentales para la implementación del caudal ecológico, y quizá una de las razones del por qué ha carecido de vigencia

práctica, es la utilización de diversos términos y la confusión con respecto al contenido y alcance de cada uno de ellos.

Así, por ejemplo, la LAN utiliza el término *uso ambiental* o *uso para conservación ecológica*.¹¹ Por otra parte, lo define como *caudal mínimo ecológico*,¹² así como también *flujos mínimos para protección ecológica*.¹³ Al referirse a los humedales refiere a la *reserva ecológica* necesaria para su preservación.¹⁴

La pregunta fundamental a formular es con relación al término apropiado para consignar en la regulación: ¿Uso ambiental? ¿Uso para conservación ecológica? ¿Caudal mínimo necesario? ¿Flujo ambiental? ¿Gasto ecológico?

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), utiliza el término de caudal o flujo ambiental y lo define como el régimen del agua de un río, humedal o zona costera necesario para mantener los ecosistemas y sus beneficios cuando existen diferentes usos competitivos del agua y los caudales han sido regulados (Dyson *et al.*, 2003).

En tanto, la Ley de Aguas de Sudáfrica la denomina como *reserva*, lo cual incluye el agua necesaria para satisfacer las necesidades básicas humanas y la reserva ecológica.¹⁵ Por su parte, la Ley de Aguas de Victoria, en Australia, la define como la *reserva de agua ambiental*, entendida ésta como el agua que se reserva para el ambiente, ya sea mediante una asignación específica de derechos o mediante la imposición de condiciones sobre otras licencias y permisos concedidos por la autoridad al amparo de éste u otros ordenamientos.¹⁶ Estos son sólo dos ejemplos de legislaciones que han regulado de manera directa el caudal ecológico. Los límites del presente análisis constriñen a limitarnos a estos dos ejemplos.

No obstante, cabe resaltar que en México el caudal ecológico se encuentra apenas en fase de conocimiento. La literatura existente prácticamente es omisa en analizar este concepto y sus implicaciones jurídicas, lo cual es entendible si se toma en consideración que su introducción en la LAN es relativamente reciente, en 2004, y que aún falta claridad en cuanto al significado y alcances de este concepto. Existe literatura sobre regulación de derechos, pero todavía hoy se carece de la vinculación entre dicha regulación y el caudal ecológico.¹⁷

A nivel práctico, se ha podido constatar que, salvo excepciones, existe confusión y desconocimiento del uso ambiental o uso para la conservación ecológica contenidos en la LAN, por una buena parte del personal de los organismos de cuenca de la Comisión Nacional del Agua.¹⁸

El problema de la definición legal del caudal ecológico amerita un estudio de fondo para resaltar ventajas y desventajas, y ofrecer pautas mínimas para su elaboración.

Los límites de este artículo constriñen a resaltar que es importante clarificar el concepto y determinar cuáles son las características esenciales del mismo.

El punto fundamental a aclarar es si debe regularse al ambiente como un usuario más con otorgamiento específico de derechos o, si bien, debe evitarse circunscribirlo como tal y ubicarlo más bien como el flujo ambiental necesario para la sustentabilidad de un cuerpo de agua.

Para algunos autores, el conceder derechos específicos directos para el medio ambiente en un contexto de usuarios concurrentes no obsta para que subsistan otras medidas de protección indirecta concurrentes, tales como el tomar en cuenta la cantidad de agua y las exigencias de la conservación del recurso hídrico y su vinculación para el otorgamiento de concesiones para otros usos (Iza, 2004). De acuerdo con este autor, puede hablarse del caudal ecológico donde, a la vez, el ambiente es considerado como usuario específico.

Aunque en la base ambos términos refieren a un caudal o volumen mínimo requerido en cuerpos receptores, necesario para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema, en la práctica al definirlo como un usuario más tiene un impacto en la forma jurídica de obtener y garantizar ese caudal mínimo. Así, por ejemplo, como antes se expuso, la LAN establece un orden de prelación para el otorgamiento de derechos de agua que ubica al uso ambiental o para la conservación ecológica en el quinto lugar, después del uso doméstico, público urbano, pecuario y agrícola.¹⁹ En este mismo tenor, el proyecto de Reglamento de la LAN establece que los usuarios que representen al uso ambiental, cuando hayan adquirido derechos con base en la transmisión de volúmenes a su favor, renuncias u otro tipo de actos reconocidos por la Ley, tendrán derecho a designar representantes en el consejo de cuenca.²⁰

La ventaja de considerar al ambiente como un usuario, de acuerdo con los promotores del manejo del tema como un uso, se centra en la certeza de que los volúmenes concesionados no podrían otorgarse nuevamente y que existirían instancias específicas, además de la propia autoridad, que mirarían por el cumplimiento de este derecho; es decir, dichas instancias estarían dotadas de interés jurídico para defender el agua para el ambiente.

Consideramos, no obstante, que sería mejor utilizar el término caudal y no uso, para evitar la confrontación del ambiente con otros usos; ello, independientemente que puedan reservarse determinados derechos de agua para el mantenimiento de dicho caudal. Esto es así, pues su definición como *uso* genera confusión, misma que se ve reflejada en la LAN, la que incluso ubica al *uso ambiental* en el quinto lugar de prelación para el otorgamiento de concesiones.

Indudablemente, existe un uso competitivo por el agua. Sin embargo, es importante concebir el caudal ecológico como la base necesaria para la viabilidad de los cuerpos de agua, así como de los ecosistemas asociados. Ambos son aspectos que deben tomarse en cuenta en la formulación de la política hídrica, por ejemplo, para vincularlos con la posibilidad o imposibilidad de otorgar derechos de agua, pero ello no debe someter al ambiente a un orden de prelación rígido como el establecido en la LAN, ya que el caudal ecológico es base y principio para que los otros usos puedan efectuarse tanto en el presente como en el futuro, sin afectar la fuente ni dañar los ecosistemas asociados.

En la práctica, resultará difícil asegurar que, salvo el propio Estado o alguna persona u organización filantrópica, un usuario decida adquirir derechos de agua para la conservación ecológica de un caudal. Para tal efecto, existe la figura jurídica de la *reserva de aguas*, misma que podría utilizarse para garantizar los flujos mínimos para la protección ecológica.²¹

En un país como México, donde parte del problema son la sobreconcesión de derechos y la extracción de agua por encima de los volúmenes autorizados en los títulos, así como las explotaciones, usos y aprovechamientos clandestinos, resulta insuficiente sólo contar con un título que ampare derechos de uso para conservación ecológica si no existe el entramado institucional necesario para un efectivo cumplimiento de la Ley.

En el estudio sobre el término apropiado, habría que revisar si debe denominarsele como *caudal o flujo ambiental*, a fin de considerar no solamente la cantidad del líquido, sino también su calidad (Iza, 2005; Gaviño, 2007).²²

Otro elemento fundamental a analizar es con relación a la restricción del término vigente en la Ley, como el volumen o caudal *mínimo* necesario. Para algunos autores, es correcta la determinación de un caudal como mínimo más que natural (Martín-Retortillo, 1997). Sin embargo, la utilización del concepto *mínimo* como parte de la definición, puede verse traducido en la práctica a la aceptación tácita de rangos mínimos, lo cual tiene impactos importantes al momento de negociar y establecer acuerdos con los usuarios con respecto al caudal ecológico, cuando en realidad hubiese bastado con que se mencionase como el volumen o caudal necesario y omitir el término *mínimo*. Por ello, consideramos que sería conveniente simplemente establecerlo como el caudal *necesario*.

Falta de armonización en la legislación

La regulación del caudal ecológico se encuentra desarticulada en la LAN. Lo anterior ha tenido, entre otras consecuencias, una falta de claridad respecto

al alcance del término y, por ende, su implementación fáctica en las políticas públicas del agua.

Por citar un ejemplo, el caudal ecológico se establece como un principio que debe respetarse para la programación hídrica, pero no es considerado como uno de los principios básicos de la política hídrica nacional.

Posteriormente, se menciona como una causa de restricción para el otorgamiento de concesiones, así como para decretar la reserva de aguas. Sin embargo, en la práctica no se ha vinculado apropiadamente dentro de una política hídrica que respete y tome en cuenta el caudal ecológico. Con anterioridad, ya se advirtió la contradicción que existe con el artículo Décimo Quinto Transitorio que establece el uso ambiental en un orden de prelación rígido, lo cual contraviene las normas que buscan su implementación como el caudal necesario para preservar las condiciones ambientales y el equilibrio de los ecosistemas.

La referencia a la conservación del caudal para la preservación de humedales da muestra de la dispersión normativa que existe en la LAN con referencia, no sólo al caudal ecológico, sino también a los humedales, ya que la regulación de estos cuerpos de agua se hace en el Título de Prevención y Control de la Contaminación, cuando los problemas y retos de éstos requieren de normas que rebasan el ámbito del control y la prevención, y se ubican dentro de un esquema que requiere de un tratamiento integral en el ámbito de la gestión.

La claridad en la normatividad permitiría que tanto autoridades como usuarios entiendan el significado y alcances de la política en materia de caudal ecológico. Por otra parte, ayudaría a vincular de mejor manera estos programas y acciones con relación a otras áreas relacionadas, como por ejemplo: las áreas naturales protegidas; las zonas de veda, reglamentadas y de reserva de aguas; la integración con el manejo costero integral; la colaboración entre autoridades para la preservación de aguas de particular valor, tal como el ecosistema manglar o su vinculación con los ordenamientos ecológicos del territorio y de los asentamientos humanos, así como con la política agrícola.

Para ello, se recomienda establecer un capítulo específico referido al caudal ecológico en el marco de la Ley de Aguas Nacionales.

Conveniencia de revisar el régimen de otorgamiento de derechos en México y su vinculación al caudal ecológico

El otorgamiento de derechos de agua en México parte del principio "Primero en tiempo, primero en derecho".²³ Sin embargo, hay excepciones a la regla, como son los casos de distintos solicitantes que concurren simultáneamente

o la reserva de ciertas aguas para ser concesionadas por vía de concurso.²⁴ En caso de simultaneidad, la autoridad puede seleccionar la solicitud que ofrezca mejores términos y condiciones que garanticen el uso racional, reutilización y restauración del recurso hídrico pero, desafortunadamente, estos son requisitos que no se toman en cuenta ordinariamente, pues se atiende como principio básico para el otorgamiento la prelación en la presentación de la solicitud de concesión.

El principio de “Primero en tiempo, primero en derecho” responde a concepciones de derecho privado fundadas, sobre todo, en aspectos que rigen la propiedad, pero que es limitativo tratándose de un recurso natural como el agua, cuyo uso, explotación y aprovechamiento están regidos por reglas que atañen al dominio público y donde deberían incluirse otros parámetros más allá del factor de temporalidad en la presentación de la solicitud.²⁵

Lo anterior tiene una relevancia particular para la implementación del caudal ecológico en México, ya que una de las causas fundamentales de afectación de los caudales mínimos es derivada de las concesiones, asignaciones y permisos de descarga otorgados, sin que hasta la fecha exista en México una vinculación apropiada entre el otorgamiento de derechos de agua y el caudal ecológico.

La LAN somete el otorgamiento de la concesión a la *disponibilidad media anual del agua*,²⁶ lo cual es ya un avance importante, pero hacen falta provisiones legales para establecer como parte de las *obligaciones* de los concesionarios que sus derechos están limitados y constreñidos a la existencia del caudal ecológico en cantidad y calidad, dentro de esquemas de participación de éstos para la preservación del caudal y no solamente enfocarse en el uso, explotación o aprovechamiento del recurso.

Debido a lo anterior, resulta conveniente insertar el caudal ecológico en la base del régimen de otorgamiento de derechos de agua con las obligaciones correlativas de los usuarios con relación al medio ambiente, situación que en la actualidad sólo se encuentra en forma marginal y desconectada. En este contexto, se recomienda que los factores de reutilización del agua, uso eficiente y rehabilitación se incluyan como elementos determinantes para el otorgamiento de toda concesión y no solamente en caso de simultaneidad de solicitudes.

Así, por ejemplo, la Ley de Aguas de España vincula los derechos de agua al caudal ecológico al establecer limitaciones medioambientales a las autorizaciones y concesiones y determinando que: “Los Organismos de cuenca, en las concesiones y autorizaciones que otorguen, adoptarán las medidas necesarias para hacer compatible el aprovechamiento con el respeto del medio ambiente

y garantizar los caudales ecológicos o demandas ambientales previstas en la planificación hidrológica...²⁷ (Ley de Aguas, 2006).

En el caso de México, consideramos necesario no sólo compatibilizar el régimen de otorgamiento de derechos con el aseguramiento del caudal ecológico, sino que se requeriría replantear cuáles son otros factores importantes a tomar en cuenta para el otorgamiento de concesiones, asignaciones y permisos de descarga, modificando el esquema actual de "Primero en tiempo, primero en derecho".

Esto debe vincularse a la política, concesiones y demás autorizaciones y permisos para la construcción de presas.

Por otra parte, el reconocimiento del derecho al agua como un derecho fundamental en la Constitución, contribuiría en la definición de los elementos primordiales a tomar en consideración en materia de derechos y constituiría una base jurídica importante, asimismo, para la implementación del caudal ecológico.

Falta de un Título referido a la gestión integrada de los recursos hídricos: condición para implementación efectiva del caudal ecológico

La falta de armonización en la legislación para su adecuada aplicación no sólo se da en lo referente a la regulación del caudal ecológico, es un problema que encontramos en la LAN, en general, ya que preceptos fundamentales carecen de regulación posterior o sus normas se encuentran dispersas, desvinculadas unas de otras. Uno de estos conceptos es el referido a la *gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)*. Éste se define en la LAN y es considerado de utilidad pública y principio básico de la política hídrica.²⁸ No obstante lo anterior, las disposiciones referidas a la gestión integrada de los recursos hídricos están dispersas en la LAN lo cual, en la práctica, produce confusión y ha propiciado que existan diversas interpretaciones respecto al significado de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Tanto en las autoridades del agua como de los usuarios y particulares existen visiones que ubican a la GIRH como la interacción entre los tres niveles de gobierno, o bien, definiéndola como el trabajo conjunto entre las distintas dependencias del Gobierno Federal, o también, la inclusión de participación social. Y, ciertamente, su implementación requiere la intervención de los tres niveles de gobierno, así como de éstos con el sector privado, social y de usuarios, pues su efectividad depende en una parte importante en el grado

de legitimidad y aceptación que la propuesta tenga, pero la GIRH va mucho más allá de coordinación, delegación y trabajo conjunto. Para comprenderla de mejor manera, es preciso atender a la propia definición de la GIRH en la LAN, que la define como el *proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.*

La implementación de la GIRH requiere contar con una plataforma que vaya más allá de los aspectos básicos de administración del agua y se pueda centrar en temas clave como la forma de implementación de nuevos arreglos institucionales; maneras de dotar a instancias del agua de facultades para medir, vigilar, investigar y ejecutar determinados actos en materia de gestión de programas y proyectos, entre otros, aquellos referidos al caudal ecológico; formas de dar intervención a estados y municipios en estos aspectos, e incentivar la participación de los usuarios.

Sin embargo, a pesar de que la LAN considera a la GIRH como de utilidad pública y uno de los principios básicos de la política hídrica en México, la regulación existente es insuficiente y se encuentra dispersa, lo cual ha propiciado que exista poco entendimiento respecto al significado y alcances de este concepto. Es por ello que se requeriría un Título específico en la LAN para la GIRH, lo cual permitiría que el marco jurídico estructurara capítulos o secciones a contenerse en el propio Título; entre ellos, el ya propuesto en materia de caudal ecológico.

Un tema vital que requeriría incluirse en la LAN es el de la gestión de las aguas subterráneas. En este sentido, un capítulo referido a su gestión podría incluir las propuestas identificadas por Carabias y Landa (2005) en esta materia, como son la elaboración de estudios integrales sobre los acuíferos, incluidos los decretos de veda, la posibilidad de un ordenamiento rector para su uso y la medición periódica.

Inclusión de competencias específicas a las autoridades del agua en materia de caudal ecológico

Las autoridades del agua tienen competencias importantes vinculadas al caudal ecológico. Algunas de estas facultades son directas y otras indirectas, sin embargo, es importante apuntarlas. Así, por ejemplo, tienen facultad para controlar la cantidad y calidad del agua, promover su uso eficiente y conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, formular inventarios y balances hídricos, y realizar estudios con relación a la valoración económica y financiera del agua.

No obstante, hace falta incluir expresamente como facultad-obligación la implementación y evaluación de esquemas y acciones para la inclusión del caudal ecológico en todos los planes, programas, acciones y otorgamiento de derechos en materia hídrica. Asimismo, sería necesario revisar el Reglamento Interior de la Conagua para establecer como facultad/obligación de una Dirección o Gerencia específica la ejecución de programas en materia de caudal ecológico.

Esto ofrecería un mejor marco institucional para su implementación. Un ejemplo de ello lo constituye la Comisión de Cuenca de los Ríos Murray y Darling, Australia, donde existe un registro central como parte de esta Comisión que, entre otras cosas, contiene información relativa a las medidas para la recuperación de agua, información previa y necesaria para determinar inversiones e implementación de programas, entre las que se incluyen requerimientos sobre la factibilidad de las medidas propuestas, el plan de negocios y la satisfacción de requisitos de elegibilidad de proyectos (Murray-Darling Basin Commission, 2006).

Intervención de estados y municipios en la gestión del agua

Debido a la importancia de la adecuada implementación, control y evaluación, el caudal ecológico requiere de la participación de los tres niveles de gobierno, ya que los recursos financieros y humanos de las dependencias federales resultan insuficientes para tal efecto. La LAN establece como principio básico de la política hídrica la participación de los estados y municipios en la gestión de los recursos hídricos²⁹ e, incluso, establece la posibilidad de delegar la ejecución de cierto tipo de actos administrativos por parte de la Federación a los estados, por ejemplo, en materia de control y prevención de la contaminación.³⁰

Sin embargo, falta ampliar la visión de los gobiernos estatales y municipales respecto a su rol en el marco de la gestión. En materia de caudal ecológico, la intervención de estos dos niveles de gobierno es clave en cuerpos de agua ubicados en zonas urbanas y para la gestión de acuíferos, así como para la vigilancia y el monitoreo de los cuerpos de agua ubicados dentro de sus límites, por citar algunos ejemplos.

Esta falta de visión se ve reflejada en las legislaciones estatales de agua, que están enfocadas, en su mayoría, a la prestación del servicio público y a las aguas de jurisdicción estatal, lo cual resulta limitativo de los problemas y retos con relación a los recursos hídricos. A la fecha hay estados, como Chihuahua o Baja California, que no cuentan con Ley de Aguas; o bien, la mayoría de los estados tienen leyes que versan exclusivamente sobre la prestación del servicio público urbano (Ramos, 2007).

Sería recomendable que la legislación de aguas de los estados y los reglamentos municipales regulen la participación de cada una de estas instancias de gobierno en materia de gestión hídrica.

La medición y el conocimiento del ciclo hidrológico

Un aspecto esencial para la implementación efectiva del caudal ecológico está en el conocimiento del ciclo hidrológico y, para ello, se requiere medición apropiada. Por esto, la instalación de dispositivos necesarios para medir, en cantidad y calidad las aguas nacionales, así como la medición en general del ciclo hidrológico, son consideradas de utilidad pública por la LAN.³¹ Este ordenamiento contiene un capítulo específico referido al conocimiento de las aguas nacionales³² y otorga facultades a las autoridades del agua, entre otras cosas, para la formulación de inventarios, estudios de disponibilidad y el conocimiento sobre la ocurrencia del agua, así como para el monitoreo sistemático y permanente de la calidad del agua, coordinado en el Sistema Nacional de Información sobre Cantidad, Calidad, Usos y Conservación del Agua.³³

El tema de la medición va más allá de los límites del presente trabajo. En materia jurídica, se requiere integrar las normas relativas al conocimiento del ciclo hidrológico, la elaboración de inventarios y la medición en un Título específico, a efecto de dar mayor claridad a las propias autoridades como a otros actores respecto a formas de coordinación y delegación, así como incentivos para propiciar una mayor participación de actores claves como las universidades, centros académicos y de investigación.

Además, se requeriría regular las formas, métodos y procedimientos para la determinación del caudal ecológico. Estos rebasan el ámbito de la Ley y, por ello, sería beneficioso contar con una Norma Oficial respectiva. Al interior de la Conagua, se ha elaborado un Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana que establece los procedimientos para la determinación de los caudales para la conservación ecológica en cuencas hidrológicas. Actualmente, este trabajo de elaboración de norma se encuentra suspendido por cambios de administración.³⁴ La promulgación de una Norma Oficial Mexicana en esta materia sería medular para guiar la implementación del caudal ecológico en México.

La participación de los usuarios y de la sociedad: el cumplimiento de la Ley

La determinación e implementación efectiva del caudal ecológico implica necesariamente el reconocimiento de su importancia y la aceptación social. La LAN contiene diversos artículos e, incluso, un capítulo referido a ésta.³⁵ El

espacio natural para la participación social en términos de la LAN es mediante los consejos de cuenca, aunque la participación puede darse en otros aspectos: planeación; toma de decisiones; ejecución, evaluación y vigilancia de la política hídrica nacional.³⁶

Sin embargo, a menudo en México y en América Latina, en general, lo prescrito en la norma y lo que acontece en la práctica son dos historias diferentes. Algunos autores, como parte de la problemática, han detectado: rigidez en la planeación, ausencia de mecanismos para asegurar el equilibrio entre sectores y de éstos con la sociedad civil, existencia de mecanismos formales de participación no funcionales en la práctica, entrega de información fragmentada y ausencia, por lo común, de mecanismos eficientes de participación social (Solanes y Getches, 1998).

Instancias clave para la implementación de los consejos de cuenca han carecido, en la práctica, de herramientas suficientes para desarrollarse y profesionalizarse. Prevalece la falta de funcionalidad, de visión y la incapacidad para generar propuestas específicas. Sería importante fortalecer estas instancias así como a sus organismos auxiliares, entre ellos, las comisiones a nivel de subcuenca y los comités a nivel de microcuenca.³⁷

Para que éstos cobren relevancia, se precisa dotarlos de algunas facultades vinculantes en áreas donde pudieran ser coadyuvantes de las autoridades del agua; por ejemplo, en los temas de medición, inspección, vigilancia, monitoreo de calidad y cantidad de las aguas, así como para la implementación de indicadores, en lo general, y en materia de caudal ecológico y cumplimiento de la ley, en lo particular.

Algunas propuestas concretas para mejorar la regulación del caudal ecológico en México

En este apartado ofrecemos de manera sintética algunas de las líneas generales que, desde nuestro punto de vista, pudieran guiar en el ámbito legal la implementación del caudal ecológico en México. Cada una de ellas requiere, naturalmente, un análisis posterior. Algunas de las principales recomendaciones se detallan a continuación:

- Reconocimiento constitucional del derecho al agua. Puede ser mediante adición en el artículo cuarto.
- Utilizar una sola definición en la LAN para evitar confusión de términos.

El uso racional, la reutilización y la restauración del recurso hídrico deben ser elementos primordiales para el otorgamiento de concesiones y no solamente un criterio definitorio en caso de simultaneidad en la presentación de solicitudes.

- Eliminar el término mínimo como parte de la definición del uso ambiental pues bastaría con señalar el volumen o caudal necesario.
- Extraer el uso ambiental dentro del sistema de prelación de usos establecido en el artículo Décimo Quinto Transitorio de la LAN y definir la naturaleza y alcances de este concepto en términos de caudal o flujo.
- En la definición del caudal, es fundamental considerar elementos referidos no solo a la cantidad sino también a la calidad del agua, frente a lo cual habría que revisar la pertinencia de utilizar el término caudal o flujo ambiental.
- Incluir un Título específico en la LAN para regular la gestión integrada de los recursos hídricos. Dentro de este Título se recomienda incluir un capítulo referente al caudal ecológico.
- Establecer el caudal ecológico como uno de los criterios fundamentales para el otorgamiento de derechos de agua: concesiones, asignaciones y permisos de descarga, con obligaciones expresas de los usuarios de respeto de dicho caudal.

Es necesario encontrar fórmulas para reconocer e insertar el valor ambiental y económico del caudal ecológico para que este principio no se convierta en letra muerta. Entre otros aspectos que deben eliminarse es la exención de los usos agrícolas ya que genera un desincentivo para el uso eficiente

- Las políticas en materia de caudal ecológico deben vincularse a la figura de la reserva de aguas ya prevista por la LAN.
- Reenfocar el objeto de las legislaciones estatales y los reglamentos municipales hacia la gestión del agua, más allá de la prestación del servicio público urbano y de la regulación de las aguas de jurisdicción estatal.
- Aprobación de una NOM específica para la determinación de procedimientos, métodos y formas de implementación del caudal ecológico. El anteproyecto de norma existente debe revisarse y, en su caso, corregirse y complementarse a fin de ser aprobado.
- El fomento de la participación social debe venir acompañado de formas de participación concreta con facultades vinculantes en el marco de un nuevo arreglo institucional.
- Incluir el caudal ecológico como principio básico de la política hídrica nacional en el artículo 14 bis 5 de la LAN y no solo, como ahora, como uno de los elementos a tomarse en consideración para la planeación.
- La implementación efectiva del caudal ecológico requiere vincularse con los ordenamientos ecológicos del territorio así como con los de los asentamientos humanos.

Se requieren unificar criterios para la delimitación de cuencas hidrográficas así como ampliar la cobertura de las áreas naturales protegidas de las cuencas hidrográficas (Carabias y Landa, 2005).

Es importante contar con un ordenamiento rector de las aguas subterráneas (Carabias y Landa, 2005).

Conclusiones

El tema del caudal ecológico en México es relativamente nuevo. La literatura existente en materia jurídica es precaria y se hace necesario recurrir a autores, legislaciones y experiencias de otros países para verificar formas de inclusión legal. Hace falta, por tanto, desarrollar capacidades e investigación en este campo, ya que es importante que las propuestas se adapten a la realidad de la cuenca en la cual se pretenda aplicar.

Tal como se puede apreciar a lo largo del presente trabajo, existen algunos precedentes en materia legislativa en México. Su reconocimiento se efectuó por primera vez en el Reglamento de la LAN de 1994 y no fue, sino hasta el año 2004, en que se incluyeron diversos artículos referentes en dicha Ley. Sin embargo, existen contradicciones en los artículos que regulan el caudal ecológico o uso ambiental en la LAN. Por una parte, se le trata como un uso y usuario más (uso ambiental), sometido incluso a un orden de prelación rígido y, por otra, se le determina como el volumen o caudal mínimo necesario en un cuerpo de agua para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.

Por otro lado, las disposiciones referidas al caudal ecológico se encuentran dispersas en la Ley. Existe confusión respecto al significado y alcances de este concepto. En la práctica, aunque existen acciones que indirectamente atañen al caudal ecológico, como los balances hídricos y las mediciones que efectúa la autoridad, no existen programas expresos ni esquemas definidos para su implementación.

La existencia de un Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana para establecer el procedimiento en la determinación de caudales ecológicos para la conservación ecológica en las cuencas hidrológicas, elaborado al interior de la Conagua, constituye un paso importante. Es básico darle seguimiento hasta lograr la aprobación de la misma. La expedición de una Norma Oficial Mexicana es una herramienta fundamental para guiar el proceso de implementación de cualquier esquema de caudal ecológico.

A la par, resulta importante añadir a la LAN un capítulo específico sobre el caudal ecológico, preferentemente dentro de un Título que también se sugiere agregar, en materia de la gestión integrada de los recursos hídricos.

La forma y procedimientos de implementación de esquemas, programas y acciones de caudal ecológico dependerán en gran medida de la voluntad política y capacidad institucional para su implementación efectiva. Sin embargo, contar con un mejor marco jurídico ayudaría a solventar muchos de los obstáculos y a generar los acuerdos necesarios para tal efecto.

Literatura citada

- Carabias, J.; Landa, R. y colaboradores. 2005. *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. Universidad Nacional Autónoma de México-El Colegio de México- Fundación Gonzalo Río Arronte. México.
- Conagua. 2007^a. *Estadísticas del agua en México*, www.cna.gob.mx
- Conagua. 2006b. *La gestión del agua en México, avances y retos*. <http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>.
- Conagua. 2007c. Subdirección General Técnica. *Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana que establece el procedimiento para la determinación de los caudales para conservación ecológica en cuencas hidrológicas*.
- Dyson, M.; Bergkamp, G. and Scanlon J. (eds.). 2003. *Flow. The essentials of environmental flows*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, xiv, 118 pp.
- Gaviño, M. 2007. Ponencia Magistral, I Foro Nacional sobre la Determinación del Uso Ambiental del Agua o Caudal Ecológico en México. Jiutepec, Morelos. Junio.
- Iza, A. 2004. Conservación de ecosistemas acuáticos. Fundamentos jurídicos para la provisión de caudales ecológicos. En: *Derecho de Aguas*, tomo II. Universidad Externado de Colombia, Colombia. Noviembre 2004. pp. 13-80.
- Ley de Aguas España. 2006. Real Decreto Legislativo. Texto reunido de la Ley de Aguas. En: *Legislación sobre Aguas*. Thomson-Civitas. 12^a edición, actualizada a septiembre 2006.
- Martín-Retortillo, S. 1997. *Derecho de Aguas*. Editorial Civitas. Madrid, España.
- Murray-Darling Basin Commission. 2006. *The Living Murray, Guidelines for proposed water recovery measures in the Living Murray*. Murray-Darling Basin Commission, visible en: http://www.thelivingmurray.mdbc.gov.au/_data/page/1465/Guidelines_for_proposed_water_recovery_measures1.pdf, y *The Living Murray Environmental Watering Plan 2006-2007*, visible en: <http://www.mdbc.gov.au>. Fecha de consulta de ambas publicaciones: 27 mayo, 2007.
- Ramos, L.E. 2007. La falta de funcionalidad de las leyes de aguas de los estados y el nuevo rol de éstos en la gestión de los recursos hídricos. Jurídica. *Anuario*. Departamento de Derecho de la Universidad Iberoamericana. México. Núm. 36:451-461.
- Solanes, M. y Getches D. 1998. *Prácticas recomendables para la elaboración de leyes y regulaciones relacionadas con el recurso hídrico*. Informe de Buenas Prácticas. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, D.C. Febrero. No. ENV-127.

Notas

- ¹ Artículo 3, LIV, Ley de Aguas Nacionales.
- ² Diario Oficial de la Federación, 29 de abril, 2004.
- ³ Artículo 2, XXII.
- ⁴ Artículo 15, X.
- ⁵ Artículo 29 bis 5, III.
- ⁶ Artículo 41, III.

⁷ Artículo 86 bis, I

⁸ Después del doméstico, público-urbano, pecuario y agrícola.

⁹ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, artículo 88, II.

¹⁰ Comisión Nacional del Agua.

¹¹ Artículo 3, LIV, y artículo Décimo Quinto Transitorio.

¹² Artículo 29 bis 5, III.

¹³ Artículo 41, III.

¹⁴ Artículo 86 bis 1, II.

¹⁵ South Africa's National Water Act, 1998.

¹⁶ Water Act No. 80/1989, 4a.

¹⁷ Es importante, sin embargo, atender a lo que se ha escrito en el tema de los derechos de agua. Una buena síntesis de los derechos de agua en la historiografía es la que ofrece Romero Navarrete (2005). Referente al caudal ecológico, ver documento elaborado por WWF/CEMDA (2007).

¹⁸ De acuerdo con la constatación efectuada a través de cuestionarios a personal de diversos organismos de cuenca de la Conagua, durante el curso *Actualización del marco normativo de la Comisión Nacional del Agua*, segundo semestre de 2007.

¹⁹ El orden de prelación completo establecido por este artículo es: 1. Uso doméstico, 2. Uso público urbano, 3. Pecuario, 4. Agrícola, 5. Uso para la conservación ecológica o uso ambiental, 6. Generación de energía eléctrica para servicio público, 7. Industrial, 8. Acuacultura, 9. Generación de energía eléctrica para servicio privado, 10. Lavado y entarquinamiento de terrenos, 11. Uso para turismo, recreación y fines terapéuticos, 12. Uso múltiple y 13. Otros.

²⁰ Artículo 44, I: a) de la propuesta de Reglamento de la LAN visible en la página de la Conagua, www.cna.gob.mx

²¹ Artículo 41, III.

²² En esta línea, M. Gaviño propone como definición de caudal ambiental: *El volumen de agua asignado para alcanzar una condición ambiental determinada, siguiendo un proceso de evaluación ambiental, social y económica en el que se ha logrado establecer un equilibrio aceptable entre las condiciones requeridas por el ecosistema y las necesidades económicas y sociales usos del agua.*

²³ Artículo 22, II.

²⁴ Artículo 22, III.

²⁵ Los derechos de agua se adquieren por vía de concesión, pero cuando la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales sea efectuado por dependencias y organismos descentralizados de la Federación, estados, municipios o el Distrito Federal, el título se denomina "Asignación".

²⁶ Artículo 22.

²⁷ Artículo 98. Este artículo establece también la obligación de presentar un informe preventivo al órgano ambiental competente, cuando la concesión o autorización pueda implicar un efecto nocivo para el medio ambiente, a efecto de que dicha autoridad se pronuncie sobre las medidas correctoras que, a su juicio, deban introducirse, o bien, la conveniencia de iniciar el procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

²⁸ Artículo 3, XXIX; artículo 7, I y 14 bis 5, II.

²⁹ Artículo 14 bis 5, IV.

³⁰ Artículo 85; ver también artículo 14 bis 5, XIII.

³¹ Artículo 7, III.

³² Capítulo I bis, el cual desafortunadamente se colocó en el Título referido a los derechos

de explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, lo que es limitativo de la diversidad de aspectos que implica el conocimiento de éstas; capítulo que además consta de un solo artículo, lo que refleja la falta de regulación posterior de este tema.

³³ Ver, entre otros, los artículos 9, XLVI; 12 bis; 6, XXVIII y 86, XIII.

³⁴ Elaborada por la Subdirección General Técnica.

³⁵ Capítulo V del Título Segundo.

³⁶ Ver artículos 14 bis y 7 bis, X.

³⁷ Artículo 13 bis, I.

ANÁLISIS ECONÓMICO SOBRE LA DETERMINACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DEL CONCEPTO DE CAUDAL ECOLÓGICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Eduardo Donath de la Peña¹ y Enrique Sanjurjo Rivera²

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso Jiutepec, Morelos, México, edonath@tlaloc.imta.mx. ²World Wildlife Fund-México, Blvd. Beltrones Rivera 264, Local 3 Edificio Hacienda Plaza San Carlos, Sonora, México, 85506, esanjurjo@wwfmex.org.

Resumen

El uso y caudal ambiental del agua se definen en la Ley de Aguas Nacionales (LAN). Verlos únicamente como cantidad volumétrica necesaria para reproducir y mantener las condiciones naturales en cuerpos de agua y cuencas, deja de lado la calidad requerida para cumplir las funciones del caudal ecológico, como mantener los elementos y procesos de los ecosistemas acuáticos básicos para la naturaleza y la sociedad, ya que proporcionan bienes y servicios que coadyuvan al desarrollo económico. Recuperar y conservar los equilibrios hidrológicos en cuencas contempla dos grandes tareas: la determinación técnico-científica del caudal ecológico en cuerpos de agua en términos de cantidad y calidad, y su régimen de gestión, manejo, evaluación socioeconómica y su costeo. En este último punto la economía puede contribuir a lograr la implementación y el pago de los costos de mantener el caudal. Diferentes instrumentos económicos incluyendo los de mercado, han contribuido al desarrollo sustentable. El artículo se centra en investigar sobre los instrumentos económicos de mercado y de otro tipo en el contexto de la sustentabilidad ambiental del caudal ecológico y la calidad del agua necesarios para el funcionamiento saludable de los cuerpos de agua, destacando los ríos, por lo que el objetivo significativo en lo que se refiere al mantenimiento del caudal, es determinar y planear la instrumentación del concepto de *caudal ecológico económico* en cuencas hídricas y acuíferos, a partir de la evaluación socioeconómica y el diseño de instrumentos para su implantación. Se presenta el análisis económico y una selección de posibles instrumentos para apoyar los regímenes de caudal ecológico.

Abstract

Environmental water use and flow are defined in the Mexican National Water Law (LAN). Seen only as a necessary volumetric quantity to reproduce and maintain natural conditions in watersheds and water bodies leaves aside the quality requirements to accomplish the functions of ecological flows to maintain basic elements and processes of the ecosystem, which are basic for nature and society, since they supply necessary goods and services for economic development. Recovering and conserving water balances in watersheds involves two major tasks: the technical and scientific determination of the ecological

flow in terms of quantity and quality, its management regime and socioeconomic evaluation, and its funding. Economics can contribute to achieve implementation and cost recovery of maintaining flows. Different economic instruments, including market tools, have contributed to sustainable development. The article focuses on searching for market and non-market economic instruments in an ecological flow environmental sustainability context and the necessary quality for the healthy functioning of water bodies, mainly rivers, such that the main task referring to flows maintenance, is to determine and plan the instrumentation of the concept of economical ecological flow in watersheds and aquifers, according to a socioeconomic evaluation and instrument design for its implementation. An economic analysis is presented, as well as a selection of possible instruments to support ecological flow regimes.

Introducción

Es posible que en el siglo XXI la humanidad enfrente el mayor reto de dimensiones globales que haya experimentado jamás: el daño a la capa de ozono, el calentamiento global, el derretimiento del hielo polar, la desertificación y erosión de grandes extensiones de tierra y bosques en más regiones del mundo, la destrucción de las selvas tropicales, la pérdida de corteza vegetal ambientalmente productiva y la desaparición de especies animales en extinción. Los altos niveles de contaminación de agua, suelos, aire, mares, ríos y acuíferos; la pérdida de ríos y lagos, y la reducción del caudal necesario para preservar la actividad ecológica, han ocasionado que la naturaleza y la civilización enfrenten condiciones dinámicas de deterioro cercanas al punto de “no retorno”, que pronto pueden volverse irreversibles y sujetas a cambios drásticos difíciles de controlar.

Por el lado de la sociedad y la economía, la gran diversidad y crecimiento de las demandas de bienes y servicios, y de recursos naturales de los que dependen, aparejados al incremento poblacional y la urbanización, ejercen una presión cada vez mayor sobre las sociedades, su medio ambiente, y sus sistemas productivos y distributivos. Esta situación causa sobreexplotación de los recursos naturales, materiales y humanos con que cuenta la sociedad, y, siendo esta la moneda corriente de los sistemas económicos actuales, los objetivos de lograr sistemas de desarrollo sustentable y de gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) han fracasado en muchos países (Dourojeanni, 1994).

Ante este panorama dominado por la incertidumbre global, los países desarrollados están resolviendo sus problemas en materia de medio ambiente y sobreexplotación de recursos naturales, usando instrumentos económicos y recursos financieros, técnicos y humanos sin precedente, pero la sumatoria mundial en el tema de la contaminación, la sobreexplotación de los recursos naturales, en particular la de los recursos hídricos, incluyendo la reducción o pérdida de los flujos ecológicos, es claramente deficitaria.

En los países en vías de desarrollo la situación es contradictoria. El interés en atender los problemas ambientales como resultado del avance en el proceso de concienciación ecológica, impulsado por países desarrollados e instituciones ambientalistas, y de desarrollo tecnológico e investigación a nivel mundial, ha dado lugar a un sinnúmero de trabajos científicos sobre diseño de instrumentos de política pública con cuya adopción, a pesar de las limitantes institucionales y financieras, se pretende que los países logren la GIRH basados en instrumentos de "comando y control": permisos negociables o controles regulativos ("licencias para contaminar o imponer cargas mayores de explotación a los recursos hídricos"), y/o en instrumentos e incentivos de mercado: subsidios directos o cruzados, tarifas, cuotas por contaminar en el caso de calidad del agua o la reducción del volumen de agua implicado para mantener el caudal ecológico. Desde hace varios años, la adopción de instrumentos económicos, en particular los de mercado, para obtener resultados ambientales acordes con los conceptos del desarrollo sustentable, el uso eficiente de los recursos y la GIRH, está supliendo otras medidas de control tradicionalmente utilizadas. Los argumentos son, básicamente, que los incentivos económicos constituyen soluciones de más bajo costo a los problemas ambientales y permiten que la toma de decisiones involucre a los usuarios y la sociedad, y dependen críticamente de la participación y decisión individuales, por lo que minimizan los costos que pueden resultar del uso desmedido de actos de autoridad al dirimir los conflictos. Pero los instrumentos económicos poseen además una característica fundamental denominada "doble dividendo", que ha sido muy conveniente para la economía de los países en desarrollo al generar ingresos adicionales para suplir la falta de recursos financieros de los gobiernos, ya que constantemente tropiezan con problemas de corrupción y falta de recursos para financiar sus políticas públicas, al tener sistemas tributarios mal diseñados y administrados, y con bases muy reducidas de recaudación (Russell y Powell, 1996).

En cuanto al problema del caudal, varios puntos se vinculan con el fracaso de sistemas de gestión hídrica que tienen que ver, por un lado, con limitaciones en la capacidad institucional, la generación de sistemas de información técnica necesaria para apoyar la gestión, y el uso de modelos y metodología para la GIRH. Y, por otro, con limitaciones financieras que no permiten desarrollar proyectos, implantar tecnologías apropiadas, ni costear las acciones operativas. Por ello, la pregunta del cómo financiar las políticas de manejo de los flujos adquiere la mayor relevancia, ya que para el caudal ecológico debe determinarse qué financiar, cómo pagar para mantener los servicios ambientales y cómo identificar los agentes específicos o usuarios que deben pagar para lograr los objetivos.

Dentro de los aspectos económicos de los caudales, se ha comprobado que éstos afectan la economía: agricultura, pesca, cría de ganado, actividades industriales,

entre otros, para las que el agua es un insumo básico. El manejo de los caudales en los ríos y lagos, así como su gestión, tiene impactos económicos, sociales y ambientales inmediatos que deben atenderse por la política hídrica para que prevalezcan las condiciones biogeográficas, los usos económicos, los sistemas productivos y la infraestructura, y para aprovechar los servicios ambientales. En este sentido, hay tres preguntas importantes para la evaluación de los servicios del caudal que tratarán de ser abordadas a lo largo de este trabajo:

- ¿Qué servicios hidrológicos deben analizarse como factores para valoración y pago?
- ¿Qué enfoques están disponibles para “internalizar” las “externalidades positivas” (servicios) y cobrar por ellas, y cuáles para “internalizar” las negativas (daños)?
- ¿Qué y cómo evaluar para resolver la “dualidad” de efectos ambientales del caudal?

Discusión sobre aspectos teóricos a considerar en el manejo del caudal ecológico

En México, la problemática por degradación de acuíferos y cuerpos de agua, y mala calidad del agua relacionada con el deterioro hídrico, está bien documentada (CNA, 2004). Pero a esta problemática se suma hoy la pérdida de ríos, corrientes y cuerpos de agua como lagos y lagunas, y la reducción, más allá del límite natural, de los caudales ecológicos, lo que ocasiona que el agua este “migrando” regionalmente o se pierda entre las cuencas.

El antecedente de este capítulo es el Foro Nacional de Determinación del Uso Ambiental del Agua o Caudal Ecológico en México, celebrado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. En él se dijo que el caudal visto únicamente como el “volumen mínimo necesario en cuerpos receptores y corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema” (LAN, 2004), incluyendo las necesidades de regeneración y control bióticos, deja de lado el régimen de variación del flujo y la calidad del agua necesaria para cumplir los objetivos: ambos aspectos, volumen del caudal y niveles de calidad, pueden reducir las condiciones naturales necesarias para mantener las funciones de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la naturaleza y a la sociedad, ya que las asignaciones de agua al medio ambiente ayudan a sustentar la cantidad de agua que requiere el desarrollo.

El Foro aseguró que asignarle agua al ambiente permitiría recuperar el equilibrio hidrológico de las cuencas sobreexplotadas y garantizar dicho equilibrio en las

que, aún, no lo están. Además, significaría “incorporar una visión ecosistémica a la gestión del agua” para garantizar escenarios sustentables que respondan a las diversas amenazas, incluido el cambio climático. Recomendó crear instrumentos económicos que permitan preservar el ambiente al internalizar las externalidades positivas y negativas mediante la evaluación económica y social, y cobrar a los beneficiarios para lograr eficiencia en el uso de agua. Puso en claro que “el proceso de recuperación y conservación de equilibrios hidrológicos en las cuencas del país consiste en dos grandes tareas: 1) la determinación técnica del caudal ecológico en términos de cantidad y calidad, y 2) el régimen de gestión y manejo del caudal en cada cuerpo de agua”. Sin embargo, uno de los problemas principales para la recuperación de caudales es que, a pesar de que la LAN mandata considerar el uso ambiental en la programación hídrica y determinar la disponibilidad del agua a nivel de cuenca, todavía no ha sido posible llevar a la práctica el concepto por diversas razones (técnicas, metodológicas, jurídicas, económicas y sociales), pero, sobre todo, por la falta de capacidad institucional, la ausencia de instrumentos prácticos y la gran complejidad involucrada en su aplicación práctica.

En lo referente a la economía, las conclusiones del Foro fueron las siguientes.

Mesa de análisis económico:

- Dado que la economía estudia cómo asignar los recursos escasos como el agua, al menor costo social posible, para satisfacer necesidades múltiples de índole e importancia diversas, se debe cuidar que al asignar el caudal no se generen disparidades o conflictos ambientales, económicos o sociales. Se consideró que para bienes y servicios sin fallas de mercado, el precio es el mecanismo para lograr el equilibrio, y la asignación y uso más eficientes de los recursos. Si no hay mercados o éstos fallan, situación común en bienes o servicios ambientales, las políticas del estado pueden justificarse, aunque también éstas llegan a fallar (“fallas de estado o política”).
- La determinación del caudal enfrenta fallas de mercado y fallas de Estado. La falla de política más común es la distorsión de precios que generan los subsidios, ya que impide que los agentes económicos perciban la escasez real del bien (caudal) vía precios y al no percibirla utilizan el bien ineficientemente, más allá de su uso óptimo. La distorsión no permite la asignación eficiente, causa sobreexplotación y ocasiona externalidades negativas, mientras que la preservación produce externalidades positivas (Sanjurjo y Carrillo, 2006).

1. Externalidades negativas por el consumo de agua. Se producen cuando el consumidor de un bien no paga todos los costos asociados con su consumo. El uso de agua superficial y subterránea genera costos que el usuario no paga, pero alguien más lo hace. Por ejemplo, costos ambientales por no dejar llegar

agua al río aguas arriba, lo que afecta a los ecosistemas y causa daños a otros usuarios aguas abajo (pesca, agro, etc.).

2. Externalidades positivas en la producción de agua. Se ocasionan cuando la producción de un bien genera beneficios al resto de la sociedad y estos beneficios no son retribuidos. Por ejemplo, los ejidatarios que cuidan los bosques captadores de agua generan un beneficio a la sociedad aguas abajo (más y mejor agua), que al no ser percibido como utilidad, no se paga. Las ganancias que genera para un usuario el agua “extra” captada en el bosque, no se le pagan al ejidatario que *trabaja* en él y lo cuida.

3. Condiciones del caudal ecológico como bien público. La teoría económica ha explicado a cabalidad las condiciones que definen a un bien o servicio como público, económico, privado o social. En diversos trabajos se ha abonado sobre la idea de que el caudal ecológico es un bien público (admirar el correr de un río, la belleza de un lago o una caída de agua o, incluso, cuando antaño se usaba un cuerpo de agua para actividades recreativas como el nado, la pesca o la navegación), y se ha puesto en claro cómo el uso ineficiente lleva a sobreexplotar los recursos, caso particular del agua, al no existir los instrumentos de control ni el pago necesarios para un uso sustentable, ya que “a nadie se le obliga cuidar los bienes públicos, mientras todos los utilizan hasta llegar a su posible agotamiento o sobreexplotación” (paradoja conocida como “tragedia de los comunes”).

En el caso de México, la base económica del agua como bien público se circunscribe a que las aguas son propiedad nacional y su uso o explotación productiva privada requiere de una concesión o asignación, según sea el caso. Ya concesionada, el agua se convierte en un bien económico de uso privado y, en una mercancía con esa característica, cuando se le ha integrado en un producto final como agua embotellada, alimentos, conservas enlatadas y toda la gama de productos con características de bien y mercados definidos.

Distintivamente, la economía define como bienes públicos a los que cumplen dos características básicas: no rivalidad en el consumo y no exclusión en su uso. La primera se refiere a que el consumo del bien de una persona, no impide el de otra. La segunda refiere la imposibilidad de negarle el disfrute del bien a otro usuario. El aire es buen ejemplo de bien público “puro”. Sin embargo, hay bienes públicos “no puros”, como el caudal ecológico: cuando el agua es liberada para usos ecológicos, el ecosistema en general es beneficiado al generarse bienes o servicios como dilución de contaminantes, mayor volumen, protección de biodiversidad, aportación de nutrientes aguas abajo, etc., que benefician a

todos los usuarios (sin exclusión), aunque no hayan aportado nada al caudal o pagado por él. No obstante, la condición de “no rivalidad” es menos precisa.

Si bien existen otras fallas relacionadas con la estructura del mercado (condiciones de monopolio natural) y problemas de asimetrías en información que afectan la asignación eficiente de un caudal ecológico, las tres indicadas explican el problema económico que impide que los mercados asignen eficientemente a los ecosistemas el caudal necesario: los costos sociales al no fluir ese caudal (daños a los ecosistemas) son mayores a los costos privados (precio del agua), y los beneficios sociales por captar agua (mantenimiento de los ecosistemas) son mayores a los beneficios privados (productos).

Para tratar este problema, la Economía del Bienestar propone una solución para determinar el caudal ecológico: liberar agua al ecosistema hasta que el costo marginal social de dotar una unidad adicional más de agua (costo de dejar de producir cierto bien) iguale el beneficio marginal social de esa unidad adicional (valor de los bienes y servicios del caudal), lo que presupone cumplir una condición de *equimarginalidad*, si bien para el caso particular de la determinación del caudal ecológico hay controversia respecto al uso de esta condición como criterio único: la crítica es discontinuidad en las funciones de beneficios, ya que la condición marginal implica supuestos implícitos que son cuestionables: 1) que cada unidad adicional de agua liberada para el caudal genera un beneficio y que éste no es mayor al de la unidad anterior, y 2) que cada unidad adicional de agua cuesta, y ese costo no es menor al de la unidad anterior. Sin embargo, el primero de los supuestos no necesariamente se cumple, ya que existen situaciones en las que una unidad de agua adicional al ecosistema puede no generar beneficios.

Por ejemplo, en el delta del río Colorado se conocen beneficios de conducir dos metros cúbicos por segundo, como serían el paisaje y actividades recreativas. Sin embargo, mejorar las pesquerías en el alto Golfo de California requiere setenta metros cúbicos por segundo. Posiblemente no exista beneficio al aumentar sólo un metro cúbico por segundo adicional. La ciencia natural puede ayudar a contestar eso, pero la presencia de umbrales en los sistemas naturales hace que esta situación sea posible. Si este es el caso, se puede sustituir el uso de la condición marginal por análisis costo-beneficio para cada uno de los umbrales y optar por aquella opción que genere mayores beneficios sociales.

4. Problemas para la medición de los beneficios. Cuando no existen mercados, no se puede garantizar la asignación eficiente de los recursos a partir del mecanismo de los precios, lo que dificulta los métodos de valoración de los servicios ambientales del caudal y, por lo tanto, indica que deben usarse otros

métodos para llegar a los costos y beneficios en términos monetarios. Esto no implica que no se deban hacer valoraciones o análisis beneficio-costos, pero sí que sus resultados deben interpretarse con prudencia.

En las últimas décadas, la economía ambiental ha concentrado mucho esfuerzo en la valoración económica de los recursos naturales, acuñando conceptos como "valoración económica total", la cual incluye los valores de uso directo e indirecto, los valores presentes y futuros, y los valores de existencia o herencia (no uso). Como veremos más abajo, durante este tiempo se han desarrollado estudios y técnicas para valorar los bienes y servicios de los ecosistemas, desde los específicos hasta los que intentan valorar el ecosistema global. Sin embargo, hoy en día existe una opinión generalizada sobre la imposibilidad de calcular el valor económico total de un ecosistema, por lo que más bien se debe tratar de generar la mejor información para apoyar la toma de decisiones.

Los instrumentos económicos ayudan en ese proceso: hacen eficiente el uso y coadyuvan a la sustentabilidad si la sociedad acepta pagar los costos que el establecimiento de las prioridades y preferencias de los distintos usos implica, al reducir al máximo el costo de oportunidad de otras alternativas. No obstante, el caudal ecológico es el típico bien público ambiental "no representado" y, el que no se haya garantizado el flujo hasta ahora, tiene que ver, por una parte, con la falta de valoración de las externalidades en términos de sus costos asociados y, por la otra, con su mala representación en la sociedad, los usuarios y la autoridad del agua, pues el uso ecológico, del que dependen muchos otros, es la "resultante" después de dotar los volúmenes de los demás, lo que no garantiza que sea suficiente para satisfacer la demanda ecológica de los ríos y los lagos.

A pesar de que el uso ambiental es vital para el mantenimiento de las condiciones ecológicas, aún no existe metodología estándar para evaluar los beneficios que resultan desde el punto de vista económico y financiero. Por ejemplo, no es sencillo evaluar los costos de mantener el bienestar social asociado al caudal, pero sí lo es el comparar los beneficios económicos directos obtenidos por un concesionario que vende su agua, ya que son la variable que determina las transferencias; pero de ahí a poder establecer el bienestar social derivado de que el agua se use en una u otra actividad, no es tarea fácil. Las implicaciones económicas y sociales de una reducción en los caudales ambientales (costos) no son directamente equiparables a los beneficios que se obtendrían al garantizar los volúmenes para los usos o zonas más productivos que demandan el agua, ya que muchos costos asociados al uso ambiental no son sujetos de evaluación.

Los caudales perdidos significarían la intensificación de la presión sobre el medio ambiente y, por esa vía, sobre muchos otros recursos asociados a usos alternos (urbanización, infraestructura, niveles de dilución, pesca, etc.), incluyendo la

reducción o desaparición de otras actividades productivas y sociales por la falta de agua. La evaluación socioeconómica de los beneficios de mantener los caudales ecológicos en un buen nivel o de los costos que representaría no hacerlo, adquiere por lo tanto una importancia fundamental, sin embargo, es difícil evaluar económicamente los niveles de degradación ambiental por reducción o pérdida de flujo, o por transferencias de agua, lo que complica el cálculo eficiente de los caudales ecológicos. Sin capacidad para evaluar los costos del “bienestar social derivado”, es difícil ser optimista respecto de su optimización a partir de hacer eficientes los caudales, por medio de distribuir los costos.

La producción de bienes y servicios utiliza insumos sustitutos, por lo que mientras menos haya de un insumo más se necesitará de otros para sustituirlo, pero habrá insumos que se requieran, al menos en pequeña cantidad, si ha de haber una mínima producción. Mantener los servicios ambientales en las partes bajas de las cuencas tiene un comportamiento similar, requiriere de una cantidad y calidad mínimas de agua insustituibles para que el ecosistema funcione y no se pierdan los servicios que provee.¹

Identificar el caudal mínimo para que no colapse el ecosistema no es una tarea de la economía. Ésta debe tomar el umbral mínimo que determinen la ciencia y la técnica, como una restricción para la eficiencia económica. Una vez asegurado el caudal mínimo, entonces el análisis beneficio-costos o el análisis marginal podrían servir para determinar el óptimo, siempre y cuando éste sea superior al mínimo necesario para sustentar la vida de los ecosistemas; por tanto, la viabilidad de todas las actividades que compiten por el agua con el ecosistema no puede garantizarse.

Valoración de los servicios ambientales e instrumentación del caudal ecológico

Hasta aquí, la necesidad de mantener los caudales ecológicos debe estar clara. Las políticas ambientales intentan reducir la degradación ambiental al costo social más bajo posible. Las aproximaciones de política pública basadas en instrumentos de mercado comprenden una amplia gama de mecanismos potenciales, y la literatura da un sinfín de instrumentos particulares. Por una parte, incluyen multas o sanciones que se vinculan con las regulaciones tradicionales de “comando y control”. Una parte más incluye enfoques basados en el *laissez-faire*, que requieren la participación activa del consumidor con formas de incentivo para mejorar la gestión ambiental; como parte de esta última se incluyen los instrumentos de mercado puros y no puros, sólidos o débiles. Entre estos tres tipos es posible encontrar aproximaciones más familiares basadas en “impuestos y subsidios”, así como los mecanismos menos familiares basados en derechos de propiedad comerciables o la implantación de bancos de agua. Todas estas alternativas, en su propio estilo, intentan internalizar los costos ambientales en el sistema económico, y seleccionar e incentivar a los pagadores o contribuyentes.

La definición más usada de instrumento de mercado se basa en que éste debe intentar equiparar o alinear los costos privados con los costos sociales, para reducir las externalidades negativas (baja de caudal) y formen parte integral de la toma de decisiones. La "fortaleza" de un instrumento de mercado depende del grado de flexibilidad que un contaminador o, si se quiere, un usuario de flujo tiene para lograr una meta ambiental determinada. En el caso del caudal ecológico, el usuario o agente "contaminador" es aquel que por sus demandas de agua o sus acciones sobre los cuerpos hídricos reduce considerablemente el flujo, de tal manera que pone en peligro no sólo su propia actividad económica, sino las funciones ecológicas básicas.

Para Russell y Powell (1996), un instrumento de mercado "débil" es un acto que regula qué tipo de proceso productivo, consumo o descarga deben darse; el fracaso en el cumplimiento de la regla causa sanciones económicas o de otro tipo. Un instrumento "sólido" permite que las fuerzas del mercado determinen la mejor manera de cumplir con una meta o norma determinada. La "flexibilidad" puede operar si se ve como equivalente al nivel de descentralización que ocurre al transferir las decisiones sociales (o públicas) al nivel privado (o individual). Así, "un instrumento de mercado sólido descentraliza la toma de decisiones al extremo en que el contaminador o el usuario del recurso tienen un grado máximo de flexibilidad para seleccionar la opción de consumo o producción que minimiza el costo social de lograr un nivel particular de calidad ambiental."

Una creencia usualmente sostenida es que los instrumentos de mercado "sólidos" son económicamente más eficientes y ambientalmente más efectivos que los considerados "débiles" y que la mayoría de las aproximaciones denominadas de comando y control. La literatura muestra que, al proveer incentivos para controlar la contaminación, el flujo u otros daños ambientales, los instrumentos de mercado han abaratado los costos privados de cumplimiento y pueden proveer gran parte de las rentas necesarias para "fortalecer" las arcas de los gobiernos locales, como se mencionó. Estos factores han sido largamente responsables del entusiasmo inicial por usar instrumentos de mercado (Russell y Powell, 1996).

En la práctica, sin embargo, se ha encontrado que los costos administrativos e institucionales asociados a los instrumentos de mercado pueden ser altos. El monitoreo y demás actividades para asegurar que la norma se cumpla, son similares a aquellos requerimientos asociados con los de comando y control. Asimismo, pueden requerirse esfuerzos adicionales de administración para diseñar los cambios institucionales necesarios para la aplicación del instrumento de mercado. El reconocimiento de esta carga institucional adicional es uno de los temas principales tratados en la literatura.

El presente capítulo se centra en investigar sobre los instrumentos económicos de mercado, y de otro tipo, en el contexto de la sustentabilidad

ambiental del caudal ecológico y la calidad del agua necesarios para el funcionamiento saludable de los cuerpos de agua, destacando los ríos, por lo que el objetivo significativo en lo que se refiere al mantenimiento del caudal consiste en determinar y planear la instrumentación del concepto de caudal ecológico económico en cuencas hídricas y acuíferos, a partir de la evaluación socioeconómica y el diseño de instrumentos para su implantación. La determinación de los distintos métodos para evaluar financieramente el caudal cobra especial relevancia para el estudio, ya que incluye el beneficio-coste y otras importantes metodologías.

Como parte del análisis de la literatura, tomamos un cuadro sinóptico modificado:

Cuadro 1. Políticas ambientales e instrumentos diversos para control del flujo ecológico y la contaminación: taxonomía inicial (Russell y Powell, 1996).

Especificación del método de implementación	Especificación de la meta u objetivos	
	Con especificación de lo que ha de hacer la parte objeto de la regulación sobre flujo	Sin especificación de lo que ha de hacer la parte objeto de la regulación
Con especificación del cómo, para evitar la contaminación del flujo y mantenerlo en los niveles de volumen requeridos	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación de, y cobro de cuotas por, transferencia de derechos • Prohibir insumos, productos o prácticas contaminantes y vertidos • Control de la contaminación producida aguas arriba y aguas abajo por actividades productivas o domésticas • Normas en cuanto a las descargas • Manejo del flujo mediante cobros de tarifas o cuotas por descarga, uso excedente de agua y estado de sobreexplotación de las fuentes • Límites a la actividad aguas arriba y restricciones al uso o aprovechamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Estándares tecnológicos impuestos • Plantas de tratamiento y equipos de control de contaminantes • MPM en la agricultura y liberación de volúmenes para uso ambiental • Normas de construcción y uso de equipos • Normas sobre responsabilidad con grado mínimo de diligencia • Compra de derechos para su retiro o para uso ambiental
Sin especificación del cómo, para evitar la contaminación del flujo y mantenerlo en los niveles de volumen requeridos	<ul style="list-style-type: none"> • Norma de descargas (negociable o no) sobre la base de: <ul style="list-style-type: none"> - la tecnología - la calidad ambiental - una reducción porcentual • Límites a la caza o la pesca • Límites a la extracción superficial y/o subterránea • Límites a la sobreexplotación con cuotas diferenciales por grado de presión sobre la fuente • Cuotas en especie por tipo de uso o aprovechamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Cargo por unidad de acto nocivo para el caudal <ul style="list-style-type: none"> - por tipo de contaminante - por tipo de descarga - por efectos en la biodiversidad • Suministro de información <ul style="list-style-type: none"> - al público (IDT) - a quienes contaminan o a los agricultores: transferencia de tecnología • Límite general al acto nocivo <ul style="list-style-type: none"> - norma de calidad ambiental sin otra medida para ponerla en práctica - límite general a la extracción • Normas sobre responsabilidad sin grado mínimo de diligencia • Impuestos a productos o insumos

MPM=Mejores Prácticas de Manejo. IDT=Inventario de Descargas Tóxicas.

Dada la tipología anterior, la economía puede analizar el problema del flujo en relación con las preferencias de los agentes económicos (usuarios) dentro de la teoría del consumidor, la producción y el bienestar, planteando ciertas preguntas sobre las demandas de los ciudadanos sobre el estado de los ríos y el medio ambiente, y sobre cómo valoran los servicios ambientales y beneficios del caudal ecológico. Las posibles soluciones incluyen los pagos por los servicios ambientales del caudal y se podrían evaluar, como veremos más adelante, de acuerdo con diferentes métodos como el análisis beneficio-coste, los precios de mercado, la valoración contingente, etc. El primero expresa la evaluación como si la protección y mantenimiento de flujos fuesen gratis; el segundo, imputa y compara precios de mercado y, el tercero, pide a los usuarios manifestar su voluntad de pago para obtener (no perder) los beneficios del flujo (biodiversidad, pesca, dilución de contaminantes, vista escénica, recreación, etcétera).

En general, vista la reducción o pérdida del caudal como una “externalidad” negativa, sus servicios se pueden pagar con tarifas, ingresos, impuestos o regulación; esto afecta el bienestar económico a través de limitar el financiamiento, la producción y el consumo. La economía trata los problemas que tiene la gestión a partir de iniciativas individuales de uso de bienes públicos. Como hemos visto, el agua puede ser bien económico privado (uso doméstico, agrícola e industrial) o público ambiental (paisaje, flujo ecológico, etcétera). En este sentido, para el caso de bien privado, las empresas están entre dos extremos: 1) las que maximizan ventas en competencia. Cuando un número importante de empresas tratan de vender lo máximo, empujan el precio de mercado hacia abajo y el resultado suele ser poco favorable para las empresas que se mueven en este contexto. Por ejemplo, los agricultores, cuando hay buena cosecha, y 2) empresas monopólicas (Samuelson, 1992) que suben el precio y venden cantidades más bajas, pero las condiciones de demanda hacen que ésta sea la estrategia que maximiza el beneficio, aunque lo hace a costa del consumidor: reduce el excedente correspondiente (servicios de agua potable, servicios de electricidad y teléfono centralizados, precios de gasolina, etcétera).

El precio que pagarían los consumidores sería más alto que el actual, pero el consumo de agua sería más bajo implicando posibles reducciones en la demanda de agua y, por ende, mayor capacidad para mantener los caudales ecológicos a menor costo. Es decir, el comportamiento esperado de un monopolio ayudaría a ahorrar agua aun a costa del consumidor. La regulación que impide cobrar el precio que maximice el beneficio obtenido de los caudales es la responsable del fenómeno de *sobreexplotación* descrito. Por lo anterior, al mantener satisfechas las demandas propias de los ríos, se generan los caudales necesarios para que pueda mantenerse el equilibrio ecológico en dichos cuerpos de agua y, con esto, la calidad de vida de los agentes beneficiados por ellos.

Estrategias de adquisición de agua para los ecosistemas

Existen dos casos en los cuales las alternativas para la instrumentación de caudales mínimo o ecológico difieren. El primer caso es en aquellas cuencas donde la cantidad de agua necesaria para mantener el ecosistema no ha sido asignada; el segundo, es en aquellas cuencas en las que la cantidad de agua necesaria para mantener el ecosistema ya ha sido asignada a otros usos, y debe retirarse para poder mantener el caudal. En México, principalmente en zonas áridas y semiáridas, existen cuencas para las que toda el agua ya ha sido asignada e, incluso, hay sobreexplotación. El agua que se recibe en períodos extraordinarios ya está asignada también para usos agrícolas, urbanos e industriales. En estos casos, para lograr una mejor asignación del agua sin empeorar a nadie, es necesario diseñar mecanismos de compensación o compra de agua. Algunas de las estrategias planteadas en la Mesa de Economía del Foro fueron las siguientes:

- Compra de agua para uso ecológico. Asegurar que sea permitido comprar agua para uso ecológico e implementar las siguientes formas: fijar un precio de compra y promover las operaciones hasta llegar al volumen de agua necesario.
- Subastas inversas. Compra, al menor precio posible a sobre cerrado, para pagar a cada puja, con lo que se obtiene la mayor cantidad de agua por peso invertido; o pagando a todos el valor de puja del último jugador que vendió agua antes de agotarse el dinero. En este mecanismo el dinero rinde menos y es menos equitativo, ya que a algunos se les permite tener más excedentes que a otros (se entiende por excedente la diferencia entre lo que se hubiera aceptado y lo que se pagó).
- Alquiler de agua. La venta o sesión permanente de derechos no es algo que a los usuarios les interese mucho, ya que les quita la opción de cambiar de opinión para el próximo ciclo agrícola. Así que la sesión de derecho por un periodo (uno a cinco años) es más aceptado y rápido. Una opción intermedia es la transferencia limitada: alquileres por tiempo más largo, por ejemplo, cinco o diez años.
- Programas de adecuación de disponibilidades. Los programas de adecuación de disponibilidades se han utilizado para reducir el uso del consumo de agua en algunos distritos de riego, mediante la compensación a quienes voluntariamente renuncien al uso de su agua. Es una manera de comprar el agua para no usarla, o para utilizarla en un uso no reconocido en la ley como tal, por ejemplo, recarga de acuíferos. Este mismo tipo de programas puede ser utilizado para liberar agua para ríos. Bajo esquemas legislativos que no permitan la compra de agua para el usuario ecológico, los programas de adecuación de disponibilidades son una opción.² El esquema de adecuación de disponibilidades, por ejemplo el Programa de

Adecuación de Disponibilidades de Uso Agrícola (PADUA), es muy útil para alcanzar un caudal establecido previamente, ya sea el mínimo o el ecológico; mientras que los esquemas de compra y alquiler de agua y derechos son más útiles cuando se quieren utilizar esquemas de mercado.

Mecanismos de mercado que conduzcan a un caudal óptimo

Se ha mencionado que hay dos alternativas de política que difieren, con ciertas ventajas y desventajas: 1) asignar el caudal ecológico óptimo y, 2) asignar un mínimo y diseñar mecanismos de mercado que conduzcan al óptimo. Los mecanismos para ello pueden ser los mercados y los bancos de agua, a pesar de que por sí solos no ayudan a designar un caudal ecológico. Al considerar un usuario ecológico se puede comprar agua y exigir que se asigne esa agua al uso del caudal; estas figuras han resultado muy útiles en otros países.

Mercados de agua. Posibilidad de intercambiar agua entre usuarios. Normalmente no incluyen al usuario ecológico con las mismas oportunidades que los demás usuarios. Para que el usuario ecológico pueda participar se requieren: derechos de propiedad bien definidos, reglas claras con las que debe participar el uso ecológico, definir quién o quiénes podrían representar al uso ecológico, y reglamentación transparente y explícita para la realización de transacciones, que ayude a reducir los costos de transacción (Ramos-Osorio, 2005).

Bancos de agua. Son parte de los mercados y consisten, entre otras posibilidades, en que los usuarios pueden ahorrar agua y recibirla en el futuro, más otra cantidad (como una tasa de interés); por ejemplo, en épocas de sequía. Los bancos podrían prestar agua a quienes la necesiten y cobrarla en periodos siguientes. Para el funcionamiento de los bancos se requiere que las reglas de ahorro y préstamo sean claras. La infraestructura física adecuada debe existir para mantener balances y ahorros (lo que sería equivalente a la reserva legal de un banco). Los embalses pueden usarse como bancos de agua (Ortiz *et al.*, 2004).

Ahora bien, operar cualquier alternativa en la adquisición de agua para mantener el caudal ecológico necesita recursos, sea para programas como el PADUA, adquirir agua para caudales mínimos, o comprar o alquilar agua en mercados y bancos de agua.

El Foro destacó posibles fuentes de recursos, a pesar de que obtener fondos es difícil:

Fondos públicos. Para instrumentar programas PADUA que compensan por la renuncia voluntaria al derecho de uso de agua, el uso de fondos públicos

parece evidente. Pero los fondos públicos pueden servir para las primeras adquisiciones (llegar al caudal mínimo) y financiar la creación de organismos que se encarguen de alcanzar el óptimo. *Altruismo*. El uso de fondos de asociaciones filantrópicas no ha funcionado porque no existen condiciones que aseguren que el agua comprada será usada por el ecosistema. Habrá que crear la figura de usuario ecológico para competir en igualdad de condiciones con otros usos, pero se requiere la seguridad legal de que el agua se utilizará para mantener el ecosistema. Con las condiciones legales adecuadas, el dinero de asociaciones altruistas puede ser una fuente de recursos para la adquisición de agua para el caudal ecológico.

Creación de demanda. Se requiere que haya un usuario ecológico que compita en igualdad de condiciones y deben generarse las condiciones legales para que las áreas naturales protegidas, sitios Ramsar, cooperativas pesqueras y ejidos que usan el recurso y dependen de él, participen en los mercados de agua arriba mencionados como un usuario más.

Offsets de agua (p.ej., carbono). Se requiere visión de cuenca y no de río. En una cuenca en la que se exigiera a usuarios nuevos impacto cero en el flujo hidrológico, ¿cómo podría abrir una empresa que usa agua? Se puede comprar a otros usuarios, apoyarlos a hacer más eficientes, poner plantas de tratamiento, reforestar áreas de captación; o cualquier obra, convenio o transacción con la que al final haya exactamente la misma cantidad de agua en el río que antes de que se autorizara el nuevo uso.

Servicios ambientales hídricos del caudal ecológico y sustento del pago

Existen, al menos, dos alternativas válidas de política que presentan ventajas y desventajas en la valoración: 1) asignar un caudal ecológico óptimo, y 2) asignar un caudal mínimo y diseñar mecanismos de mercado que conduzcan al óptimo. Los expertos han dejado claro que no es lo mismo caudal mínimo que caudal ecológico, que permita el funcionamiento adecuado del ecosistema. Una alternativa implica determinar el caudal ecológico y establecer mecanismos para asegurarlo, lo cual requiere de mucha información técnica y del entorno social, económico y productivo, que posibilite saber cuáles son los usos en las partes alta y baja de la cuenca. La información, el conocimiento y la aceptación de los usuarios pueden facilitar la asignación eficiente del caudal y, con ello, el buen funcionamiento del ecosistema.

La participación social es el elemento clave de aceptación del caudal, pero es recomendable que esta alternativa se acompañe del análisis costo-beneficio que indique el caudal ecológico que mayores beneficios genere. Esta alternativa tiene la ventaja de asignar, de una vez por todas, el agua del caudal ecológico;

sin embargo, presenta varias desventajas: información especial que puede ser muy cara, vigilancia para hacer cumplir las reglas e inflexibilidad ante cambios tecnológicos, climatológicos o de precios. Sobre todo, que la disponibilidad de agua depende del funcionamiento del ciclo hidrológico y la capacidad de los ecosistemas y cuerpos de agua para captarla y mantenerla, así como de una buena gestión y de las formas e intensidad del uso por parte de los usuarios. Como externalidades positivas, las funciones de captación, infiltración, mantenimiento del caudal y su calidad son considerados servicios ambientales, de los cuales se beneficia la sociedad, posibilitando el desarrollo de actividades de producción y reproducción económica y social. En este sentido, se entiende que el deterioro del caudal en las cuencas afecta directamente la oferta hídrica y, por lo tanto, la calidad de vida de las comunidades que en ellas viven y de sus actividades productivas y sociales.

El pago por servicios del caudal ecológico (PSCE) como externalidad positiva, reconoce el valor económico de los costos y beneficios del servicio o bien ambiental, por el cual los consumidores (beneficiarios) deben pagar. La aplicación del cobro contribuye a que los actores que intervienen en la provisión del servicio sean retribuidos, de tal forma que se vean estimulados a adoptar prácticas de conservación y mejora, así como sistemas de producción eficientes cuidadosos del medio ambiente, los cuales aseguran un flujo permanente como la mejor alternativa para disponer de agua en cantidad y calidad.

Las condiciones que permiten iniciar el PSCE relacionados al caudal ecológico son:

1. Reconocida escasez de agua y reducción de los flujos superficiales. Se percibe que la demanda hídrica es mayor a la oferta disponible. Algunos indicadores son los conflictos fuertes entre los usuarios de las distintas zonas, la disminución de los caudales en los ríos, los canales, etc., y el deficiente reparto y conducción del agua.
2. Reconocimiento de usuarios en las cuencas de que el PSCE es un instrumento apropiado para regular el consumo, la distribución y el suministro constante del recurso.
3. Reconocimiento de los servicios ambientales del caudal ecológico, como la protección de la cantidad y calidad del agua para los distintos usos. La pérdida del flujo afecta la cobertura forestal e impacta el funcionamiento del ciclo hidrológico y los microclimas de una determinada cuenca hidrológica. En este caso, el servicio que brinda el caudal se traduce en mantener los niveles de calidad y cantidad de agua a lo largo del cuerpo de agua y en el tiempo; primero, porque cuando hablamos de calidad del agua, nos referimos a mantener los niveles de sedimentación y flujo de nutrientes a niveles naturales: el efecto de la sedimentación es la reducción de la

calidad del agua para los diferentes usos, como son consumo doméstico y actividades productivas; y, segundo, la cantidad de agua implica flujos estacionales constantes, mantenimiento de gastos ecológicos, respuesta de flujos máximos y protección contra inundaciones. Cambios significativos en el flujo de agua pueden generar importantes efectos negativos sobre actividades productivas como la agricultura, la pesca, el (eco) turismo y la industria.

4. Reconocimiento de que el flujo protege la biodiversidad, los ecosistemas y las formas de vida. Se ha aceptado que biodiversidad es "la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, ya sea que se encuentren en ecosistemas terrestres, aéreos, marinos, acuáticos o complejos ecológicos". La protección comprende la diversidad dentro de cada especie y entre las especies, y los ecosistemas de los que forman parte.
5. Belleza escénica y mantenimiento de activos naturales. Si bien no existe una definición conceptual clara de qué se entiende por belleza escénica, a diferencia de otros servicios ambientales ésta comprende factores cualitativos que dificultan el análisis y la valoración, como pueden ser las diferencias, por ejemplo, en la percepción de diferentes usuarios de un mismo río, lago o patrimonio natural, y en qué medida su existencia o deterioro afecta su propio bienestar. Por tanto, la belleza escénica es un concepto que conlleva aspectos subjetivos pero ligados a la conservación y disfrute del activo natural.

A continuación, se desagregan los beneficios por caudal ecológico en cuerpos de agua a manera enunciativa, no exhaustiva, de los cinco grupos de servicios anteriores, a saber:

- Recuperación de ríos, lagos y lagunas, su mantenimiento y su gasto ecológico.
- Regulación hídrica, autorregulación de la captación y el régimen de escurrimiento: permanencia y ampliación de bosques y praderas para garantizar flujo hídrico suficiente.
- Conservación de los ecosistemas vinculados a las cuencas y subcuencas, su biodiversidad y funciones físicas, químicas y biológicas.
- Control natural de la carga de sedimentos en ríos, lagos, embalses, etc., y mantenimiento del potencial hídrico de los cuerpos de agua.
- Mantenimiento de los servicios ambientales en actividades agrícolas: mantener el valor económico del agua en la producción agrícola, como insumo de producción.
- Provisión de agua de buena calidad y en cantidad suficiente para otros usos.
- Mantenimiento de los escurrimientos de agua para generación de energía.

- Control de avenidas y mitigación de posibles desastres naturales.
- Control de sedimentos suspendidos y de los problemas de turbiedad en el agua.
- Belleza escénica, conservación y mejora del paisaje.
- Mantenimiento y ampliación de servicios ecológicos con potencial turístico: ríos, lagos, etc., que generen ingresos para reducir prácticas que degradan el medio ambiente.

Tipos de valores para los servicios ambientales usados en la evaluación

Los economistas clasifican el valor de los ecosistemas y sus servicios, como sigue:

1. **Valor de uso.** Se define como los beneficios que directamente se obtienen al usar físicamente ciertos recursos naturales y obtener los servicios que proveen. En el caso de los recursos hídricos, el valor de uso puede ser consuntivo o no consuntivo, y se define como el valor derivado del uso específico de un bien o servicio ambiental, como puede ser la captura (pesca o caza) de fauna, un parque natural, el turismo ecológico y el nado en un río o playa. El valor de uso puede incluir usos indirectos, por ejemplo: producir un bien de consumo utiliza insumos, bienes o servicios que forman parte del bien y que se consumen directamente. Otro ejemplo son los nutrientes naturales del agua, tal como los microorganismos base, que forman parte de los alimentos manufacturados.
2. **El valor de “no uso” o de “uso pasivo.”** Es aquel no asociado con el uso directo de un bien o servicio ambiental, ni a la posibilidad de usarlo, como sería dejar pasar el agua del río o corriente aguas abajo. Tal es el caso de un contrato para no usar el agua de un río o acuífero; podemos obtener un valor de no uso al dejar pasar el agua.
3. **Valores de “opción”.** Son los que la gente otorga a algún bien o servicio por tener la opción de contar con él en el futuro, aunque en la práctica no lo llegue a usar. Estos valores están muy relacionados con la conservación y son el sustento para la valoración contingente. Son, en cierto sentido, una especie de valores de uso opcional, como pagar la preservación del caudal por motivos estéticos de un parque nacional, un cuerpo de agua o una reserva ecológica, con el propósito de garantizar su existencia futura.
4. **El valor de “futuro” o “existencia”.** Muy relacionado con el de “opción”. Mientras este último se reserva la posibilidad de usar el bien o servicio hoy o en el futuro, el de futuro o existencia sólo persigue su uso futuro, digamos que para garantizar que las generaciones futuras los obtengan. En particular, tanto los de opción como los de futuro se valoran a partir de la medición de la disposición a pagar de los agentes consumidores o

usuarios del servicio. Habrá gente interesada en hacer alguna contribución para proteger el caudal (ambiente) para el futuro. Los valores de existencia son valores de no uso, a los que la gente les otorga valor sólo al saber que existen de alguna forma, sea que puedan o no usarlos alguna vez. Por ejemplo, un donativo para conservar la Amazonia puede estar vinculado al valor de existencia que se le dé a ese ecosistema y sus servicios, a pesar de no conocerlo "directamente", pero sabiendo que está ahí, que es importante y que necesita protección.

Métodos para estimar los valores ambientales monetarios del caudal ecológico

Dado lo anterior, cualquiera puede beneficiarse de ecosistemas cercanos o lejanos. El valor económico total de un servicio ambiental es la suma de todos aquellos valores de uso o no uso relevantes relacionados con él. En general, hay tres enfoques para estimar sus valores monetarios. Cada uno de ellos puede incluir varios métodos particulares:

- 1. El enfoque general de los precios de mercado: disposición revelada a pagar.** Este enfoque considera que, en muchos de los casos de valoración de servicios ambientales, el valor de éstos se puede determinar utilizando referencias directas a los precios de mercado de tales bienes o servicios o de aquellos directamente relacionados con ellos. Algunos productos o servicios ambientales, como pueden ser peces, colmenas, agua, madera, etc., son normalmente comercializados en el mercado y tienen un precio absoluto y relativo en pesos mexicanos, definido por éste, de tal manera que sus valores pueden ser calculados (matemática o econométricamente) estimando los excedentes del consumidor y del productor, tal y como se hace con cualquier otro bien.

Servicios como el agua se utilizan como insumos en la producción y su valor puede calcularse a partir de su contribución a la creación de beneficios (ganancias) obtenidos por la venta del bien final. Algunos servicios ambientales, como la retención de agua por los bosques, las corrientes de ella libres de sedimentos y contaminantes, o una vista panorámica, al no encontrarse en el mercado no permiten una valoración monetaria directa, pero la disposición a pagar de los consumidores en los mercados de los bienes o servicios relacionados con ellos, puede ser usada para estimar sus valores.

De este hecho se desprende la importancia de la disposición de pago y la valoración contingente, como se dijo. Por ejemplo, en general se pagan precios mayores por propiedades o inmuebles que tienen una mejor vista escénica, por lo tanto, esa vista tiene un valor que se puede expresar en pesos. También,

hay quien decida tomarse más tiempo para viajar de un lugar a otro por cierta ruta o transporte más costoso, o ir de vacaciones a un lugar y no a otro por sus características ambientales, aunque para ello gaste más tiempo y dinero. Tiempo y dinero son una medida directa (indirecta) del valor monetario del bien ambiental. Los gastos relacionados directa o indirectamente con servicios ambientales, o con algunos otros en los cuales los primeros intervienen como sustento de las decisiones económicas, pueden usarse para estimar los límites inferior y superior dentro de los cuales se encuentra el valor monetario del bien. Los métodos son:

- Estimación directa de precios de mercado.
- Estimación de productividades de los recursos naturales o bienes asociados.
- Estimación de precios hedónicos.
- Estimación de costos de viaje o transporte.

2. El enfoque de la evidencia circunstancial: disposición imputada a pagar.

El valor de algunos servicios ambientales puede ser medido estimando la cantidad que los consumidores están dispuestos a pagar, o el costo de las acciones que ellos están dispuestos a realizar para evitar los efectos negativos de perder ciertos servicios, o reponerlos. Por ejemplo, la cubierta vegetal evita el desprendimiento de sedimentos, avenidas peligrosas y posibles inundaciones. Esta protección previene o evita desastres, pérdidas materiales y humanas, por lo que los ciudadanos estarían dispuestos a pagar cierta cantidad para evitar que se pierda la cubierta vegetal o se den inundaciones. La suma de dinero que se está dispuesto a pagar para evitar desastres puede ser usada en forma similar para obtener otros beneficios. Los métodos usados por este enfoque son:

- Costos de las medidas para evitar la pérdida de un servicio ambiental o costos de los daños ocasionados en el ambiente: caso del caudal ecológico.
- Costos de reposición de bienes y servicios perdidos o que pueden perderse.
- Costos de los bienes o servicios sustitutos.

3. Enfoque de encuesta-cuestionario: disposición expresa (oral o escrita) a pagar.

Una gran variedad de servicios ambientales no sólo no se encuentran disponibles en el mercado, sino que no están relacionados de manera directa con algún otro bien o servicio semejante, lo que complica la valoración monetaria debido a que los consumidores o usuarios no pueden “revelar” su preferencia de cuánto estarían dispuestos a pagar por un servicio u otro, a partir de sus compras de mercado. Este tipo de problema de valoración requiere ir a las fuentes de información directas; es decir, a

los consumidores (beneficiarios directos de tal o cual servicio ambiental) para preguntarles directamente sobre sus preferencias y disposición a pagar por ellos, a partir de plantearles diferentes escenarios hipotéticos que se pudieran presentar o enfrentar en algún momento. También se les puede preguntar sobre diferentes alternativas de solución a problemas ambientales, su disposición a pagar por cada una y perspectivas sobre las que, bajo ciertas circunstancias, preferirían sobre las demás (planteamientos sobre posibles *trade offs*). Los métodos más usados en el enfoque son:

- Método de evaluación contingente.
- Método de las preferencias contingentes.

4. Análisis beneficio-costos. Etapas para estimar valores de servicios ambientales. Es el método más generalizado para estimar el valor de los servicios ambientales y apoyar la toma de decisiones. Compara todos los costos y beneficios económicos y sociales que ocurrirían al decidir ciertas políticas públicas, programas o acciones para proteger o mejorar el medio ambiente, en particular, al tratar de valorar sus servicios. Trata de medir con precisión la pérdida o la ganancia netas que sufre la sociedad a partir de ciertos fenómenos o acciones ambientales, teniendo como principal objetivo determinar si la sociedad estaría mejor o no, desde el momento de implementar o no las acciones de preservación. El método requiere identificar, enumerar y evaluar todos aquellos costos y beneficios que pueden ser medidos directamente, o que deben ser valorados por otros métodos con el propósito de compararlos en el tiempo y espacio requeridos, para evaluar si producen un beneficio económico neto a la sociedad o a uno o más individuos, a partir de la política, programa o acción para preservar un servicio.

El análisis beneficio-costos se centra en la determinación de los beneficios y costos económicos, lo que permite determinar las opciones de gasto-inversión más eficientes (eficiencia económica), aun cuando dichas opciones no sean necesariamente las más recomendables desde el punto de vista social o ambiental. Esto es así porque los valores económicos son resultado de la valoración de las preferencias de los consumidores o usuarios, y puede ocurrir que éstas no coincidan con lo que es lo mejor desde el punto de vista ecológico o social. Sin embargo, como muchos de los gastos en conservación, específicamente en el caso de México, provienen todavía de fuentes públicas más que privadas o del mercado de servicios ambientales y, por ello, las decisiones de gobierno deben tomar en consideración las preferencias del público, este método de evaluación ayuda a establecer comparaciones significativas y puede ser fácilmente complementado por uno o más de los métodos mencionados anteriormente, con el propósito de involucrar medidas sobre equidad social y preferencias de conservación.

El análisis beneficio-costo se desarrolla en cuatro etapas. Su descripción usa el ejemplo de proyectos de inversión para aumentar la capacidad de plantas de tratamiento con posibilidad de nutrir el caudal ecológico de los cuerpos de agua:

Primera etapa. Describir a detalle geográfico, técnico y operativo las acciones que deberán ser evaluadas económicamente, los tiempos precisos de aplicación de recursos y acciones, y número de familias que serán afectadas por el proyecto, sea como beneficiarios o afectados por su localización, malos olores, etcétera.

Segunda etapa. Describir y cuantificar los efectos del proyecto que generan beneficios y costos sociales, tal como lo pueden ser todos los costos anuales, por el periodo de vida del proyecto, de las obras de ampliación de la capacidad de tratamiento, la calidad del agua que ese espera y aquella que se espera tratar, así como los efectos de una mejor calidad y mayor cantidad tratada, tanto en el caudal como en las familias que estarán siendo beneficiadas por el servicio. Para ello, se pueden hacer estudios técnicos y científicos, diseñar modelos, etc., y evaluar sus costos y sus beneficios, incluyendo los ambientales.

Tercera etapa. Estimar en términos monetarios los beneficios y costos de la política, proyecto o acciones de inversión, lo que en general es bastante directo ya que se refiere a los costos de ampliación y obras in situ. Los beneficios resultarán del mejoramiento de la calidad y cantidad del agua tratada y las ventajas en usos de recreación y disminución de molestias, tal como los olores, turbiedad, etc.; si el proyecto incluye el rescate de fauna y flora y de las actividades de pesca comercial o deportiva, la valuación podrá utilizar alguno de los métodos descritos, como la valoración contingente o de precios de mercado, etc. Los beneficios pueden incluir algunos valores de "no uso" importantes, como mantener el caudal ecológico o zonas de veda de pesca, dependiendo del estado del ecosistema y de la calidad de los servicios ambientales que está proveyendo.

Cuarta etapa. Comparación de los beneficios y costos del proyecto, programa o acción. Debido a que los beneficios y costos se reciben o se pagan por periodos de tiempo, hay que calcular y comparar el valor presente de ambas dimensiones, en tanto valor corriente que se recibe o se desembolsa en el futuro. Para ello, se utiliza una tasa de descuento idónea ($B_t / (1+r)^t$) para hacer equivalentes los beneficios y costos en el tiempo, y obtener el valor presente neto que deberá ser positivo para considerar que el proyecto o acción es recomendable ("rentable"), lo cual, en términos económicos y de asignación de recursos financieros, no de equidad, significa que se la opción evaluada garantiza el valor económico relativo más alto por lo que conviene llevarla a cabo. La mejor tasa para proyectos ambientales debe ser más baja que las de mercado, para dar oportunidad a futuras generaciones de seguir contando con los servicios ambientales.

Estas etapas sólo pretenden poner de manifiesto que los especialistas y tomadores de decisiones en beneficio del ambiente podrán seleccionar, de una interesante gama, las metodologías más pertinentes dependiendo del tipo de problema ambiental, tipo de proyecto o programa y tipo de servicios o bienes ambientales que se requieran valorar, así como de la posibilidad de evaluar e identificar correctamente el tipo de servicios (beneficios) ambientales, de interés para el proyecto o programa y para los propios beneficiarios identificados como proveedores o demandantes de dichos servicios. Es importante determinar qué tipo de valores socioeconómicos serán aplicados, como pueden ser de: uso, no uso, pasivos, opción o futuros, ya que apoya la selección de los métodos de valoración y permite balancear los costos de valoración en tiempo y su calidad y, asimismo, comparar sus costos económicos, en cada caso.

La evaluación no monetaria de servicios ambientales

A decir verdad, las evaluaciones monetarias de servicios ambientales no son las únicas utilizadas como medidas del valor económico. Algunas veces resulta más práctico tomar ciertas decisiones basándose en ordenar las prioridades de acuerdo con los beneficios esperados de las inversiones ambientales. Para ello, se requiere diseñar indicadores que capten los beneficios esperados y que puedan ser usados para ordenar prioridades y determinar los mayores beneficios, sin tener que depender de la evaluación monetaria. Además, la valuación basada en indicadores puede resultar más barata, fácil de implementar en tiempo y forma, y su aplicación ser generalizable. Por su parte, si bien las medidas monetarias son necesarias para justificar los gastos en conservación, los indicadores no monetarios de beneficios esperados son útiles para manejar el gasto y lograr los mayores beneficios ambiental, económico y social, sobre todo cuando la estimación monetaria tiene problemas para identificar los valores y costos monetarios.

Conclusiones

Como se puede apreciar, es común realizar ejercicios de valoración económica de los servicios ambientales que ahora incluyen el caudal ecológico, pero se recomienda analizar los tipos y factores de valoración convenientes dependiendo del tipo de servicio específico que sustente el establecimiento de tarifas o cuotas para el PSCE; por ejemplo, el costo de oportunidad de la tierra, representado por los ingresos menos los costos de producción en los sistemas de producción agrícola típicos de cada cuenca. Existen dos alternativas para la intervención del Estado: comando y control (asignar un caudal ecológico), y una mezcla de estrategias de comando y control, con estrategias de mercado.

La primera alternativa requiere de mucha información de las ciencias naturales, un fuerte trabajo de participación social y la capacidad de realizar análisis de beneficio-costos que indiquen que el caudal propuesto beneficia a la sociedad.

La segunda alternativa requiere buen conocimiento de las condiciones naturales, ya que es recomendable tener fijado por comando un flujo mínimo que asegure la supervivencia del ecosistema. Con este flujo asegurado, entonces se podrán usar mecanismos de mercado para alcanzar un flujo óptimo. En este caso, el mercado y el sistema de precios ayudan a socializar las decisiones, por lo que los esfuerzos de participación social y de análisis de beneficio-costos pueden ser menores. Sin embargo, se requiere de mayor capacidad para crear instituciones creíbles que puedan regular y vigilar las transacciones, como son los mercados de agua y los bancos de agua, por lo que, en general, se puede concluir que la determinación del caudal ecológico debe hacerse con enfoque interdisciplinario, donde los economistas participen activamente.

La instrumentación de un caudal ecológico requiere apoyarse tanto en las alternativas de comando y control, como en las alternativas que ofrece el mercado. En este sentido, toda evaluación requiere estimar los beneficios ambientales para:

- Conocer qué servicios no valorados y no contabilizados presta el medio ambiente a la sociedad, en la forma de caudal ecológico.
- Conocer si son los beneficios de un programa o proyecto mayores a sus costos ambientales de mediano y largo plazos.
- Saber cuándo hacer estimaciones monetarias de beneficios ambientales y cuándo no.
- Justificar y decidir en qué rubros asignar el gasto (mejorar, preservar o restaurar).
- Considerar la opinión y valores de la sociedad (los grupos de interés), y promover su concienciación, participación y apoyo a las iniciativas ambientales.
- Comparar los costos y beneficios de diferentes proyectos, programas o acciones, y compararlos en términos de los beneficios ambientales.
- Maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales por unidad de gasto, y saber si están siendo usados los recursos para maximizar dichos beneficios.
- Sustentar económica y financieramente diferentes propuestas científico-ambientales.

De este modo, el PSCE parte de la necesidad de valorar económicamente el medio ambiente con el fin de volver evidente y hacer más tangible la importancia del mismo. La valoración económica facilita profundizar en la percepción de

beneficios y costos de los ecosistemas, proporcionando herramientas que permitan la toma de decisiones eficiente. La valoración cuantitativa adecuada tiene la capacidad de constituir indicadores de importancia relativa, los cuales proveen guías para elegir alternativas.

Los valores asignados intentan traducir los cambios y las prioridades socioambientales, integrándose tanto los análisis de mercado y beneficio-costos, como también los análisis multicriterios. Esto proporciona bases sobre las que se pueden diseñar y operar distintos mecanismos económicos (como tarifas ambientales, cuotas de tratamiento de aguas, multas, etc., o la incorporación de costos socioambientales a los precios de productos y recursos específicos), los cuales pueden fomentar actividades que se encuentren dentro de los marcos de la sustentabilidad y favorecer prácticas ambientalmente respetuosas, socialmente amigables y económicamente eficientes.

Por otro lado, es evidente que si bien la economía estudia la forma de asignar los recursos escasos, como el agua o el flujo, hay razones para que la determinación del caudal sea hecha por la ciencia y que la autoridad competente sólo cuide, a partir del uso de varios instrumentos, destacando los económicos, que los caudales se mantengan y no generen conflictos o desequilibrios en los cuerpos de agua o en la sociedad. En este sentido, diversos artículos (Douglas y Lee, 1991; Roemer, 1997; Siebert *et al.*, 2000) indican que la determinación del caudal es materia de la hidrología, la biología, la química y, en general, de las ciencias involucradas en los aspectos ecológicos; pero la "instrumentación" del caudal no sólo es cuestión técnica, sino económica y social, donde parte del problema no sólo es su determinación eficiente, sino la asignación de caudales y vigilar que se cumpla su mantenimiento a lo largo del cuerpo hídrico, y que los usuarios o agentes respeten los lineamientos impuestos para ello, incluyendo hacerle frente a los costos en los que se incurre tanto en el caso de mantener los flujos, como en aquellas circunstancias en que no se cumpla la normativa. En ambos casos, hay costos que deberán cubrirse por el contaminador, el usuario ineficiente o el beneficiario directo o indirecto de los servicios.

Por otra parte, si bien para el uso del agua la LAN establece un "orden de prelación" (prioridad operativa), y si bien el uso ecológico es segundo en importancia, sólo después del consumo humano, al no haber defensa de aquel se le ha relegado al último lugar de la lista con los costos ambientales y ecológicos resultantes, cuestión que debe ser revisada. Dado lo anterior, el estado de las concesiones existentes en el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) y la expedición de las nuevas, debe ser tal que el resultado de la sumatoria de los volúmenes reales concesionados sea menor que los volúmenes totales utilizados, incluidos los volúmenes que garanticen el flujo ecológico en los cuerpos de agua involucrados directamente en las concesiones o asignaciones.

Otorgar nuevas concesiones o comerciar las existentes (derechos de concesión) para satisfacer la demanda de usos “económicos productivos”, debe ser sujeto de estudio, en tanto no estuvieren garantizados dichos caudales ecológicos, lo que podría crear situaciones como la siguiente: si un agricultor o un distrito de riego quisieran desprenderse temporal o permanentemente de sus derechos y venderlos, esto debería ser posible sólo si se garantizase el mantenimiento del caudal ecológico. Si la venta fuera durante época de secas, un porcentaje del agua debería ser usado para cubrir el déficit ambiental, si lo hubiere, antes que la demanda de otro uso.

Por lo tanto, se deben analizar los instrumentos económicos más idóneos para contar con un caudal ambiental alcanzable que pueda ser garantizado. Para ello, la instrumentación debe calcular y determinar mínimos ecológicos, productivos y sanitarios; para los casos de sequía y cuerpos de agua en estado de sobreexplotación o desequilibrio hídrico, se deben buscar instrumentos que aseguren los caudales e identificar los usos no mínimos. Los análisis deben ser enmarcados bajo una visión de cuenca, que permita dar flexibilidad a los instrumentos hacia el interior de la propia cuenca hidrológica.

En cuanto a los tipos de instrumentos que pueden usarse para asegurar el caudal, están:

1. Pagos a usuarios: tarifas, compensaciones, renta/venta de derechos, de “no uso”, y pagos que realicen los beneficiarios de los servicios del caudal ecológico, así como cobros a usuarios o empresas que impongan costos ambientales que se traduzcan en contaminación o disminución del caudal.
2. Adecuación de disponibilidades concesionadas a los requerimientos del caudal.
3. Compra “estatal” de derechos para uso ambiental y recuperación de flujos.
4. Mercados y bancos de agua que incentiven el uso ambiental por pago de compensación al ambiente, por uso o aprovechamiento del agua en cada operación de transmisión de derechos (impuesto ambiental en “especie”). Fondados al inicio y autosuficientes en el largo plazo.
5. Bonos del agua para uso ambiental pagaderos por los usuarios ambientales del caudal o por la sociedad en general, que pueda valorar dichos servicios.
6. Pago por servicios ambientales prestados por el caudal, identificando los servicios particulares, costos totales y beneficiarios directos e indirectos.
7. Cuotas y tarifas ambientales para mantenimiento del caudal (por ejemplo, porcentajes predeterminados en adición al recibo de agua/luz u otros servicios).
8. Pagos de derechos ribereños en cuerpos de agua sobreexplotados, por uso de zona federal, por servicios ambientales diversos, por recuperación o

- incremento de valores catastrales y de la propiedad beneficiada o afectada por los servicios.
9. Subsidios directos al pago de derechos (o tarifas) por reducción del volumen usado, de acuerdo con el de concesión (reducción real de volumen en el Repda).
 10. Fondos públicos y privados, bonos ambientales del agua y fideicomisos mixtos.
 11. Reglas para que los agentes privados compren agua para uso ecológico (ONG, sociedad, sector privado, fundaciones, organismos internacionales, etc.).
 12. Creación de demanda y desarrollo de mercados de activos ambientales.

Adicionalmente, el Foro planteó posibles instrumentos que pueden apoyar la gestión del caudal ecológico para asignar de manera más eficiente el agua; entre ellos:

- Compensaciones por servicios fuera del río y dentro de la cuenca.
- Mecanismos para promover la eficiencia entre usuarios, módulos de riego y usos urbano e industrial, sobre todo en los sistemas de agua potable y saneamiento.
- Usuarios: políticas de precio del agua (tarifas escalonadas, análisis de subsidios).
- Cuotas y tarifas de agua: con lo recaudado vía precio: comprar agua, impulsar bancos, crear programas de vigilancia, devolver parte del dinero a los usuarios, etcétera.
- Módulos de riego: políticas que incentiven la eficiencia del módulo y que apoyen el control de los usuarios (Prodder-Sagarpa, subsidios ambientales, etc.)
- Otros usuarios ambientales del caudal: lograr que los “bancos” u otros gestores demanden agua de las plantas de tratamiento para otros usos en la cuenca.
- Estrategias del Poder Ejecutivo: para canalizar parte de las contribuciones federales del agua, al mantenimiento de los servicios ambientales del caudal ecológico.
- Desarrollo de los mercados de servicios ambientales, a partir del análisis de la problemática regional y de cada cuenca; y con el diseño de iniciativas locales, a partir de las que se pueda avanzar en la clasificación de dichos servicios.
- Programas de financiamiento para conservar la biodiversidad y desarrollo del ecoturismo, los parques nacionales, etc., con cuotas o tarifas por servicios prestados.

En este último punto se analizó la necesidad de hacer más eficiente el uso de agua mediante la instrumentación de políticas específicas por sector usuario,

ya que mientras más eficiente sea el uso de agua, más agua estará disponible para el caudal, a pesar de que técnicamente esto sea discutible, pues mayor eficiencia en el riego puede implicar menor recarga de acuíferos o menos agua devuelta a ríos y acuíferos. Establecer políticas que promuevan la eficiencia en el uso del agua, sin acompañarlas de otros esquemas, puede tener efectos contrarios a los buscados. Pero acompañándolas con esquemas de mercado, donde los usuarios ecológicos participen, es tener mayor eficiencia en el riego y necesariamente implica mayores beneficios para la sociedad y, probablemente, mayor caudal en los ríos. Según el Foro, estas políticas pueden ser:

Usuarios agrícolas. Uno de los mayores incentivos que tienen los agricultores para hacer un uso ineficiente del agua es el de precio cero por el agua y tarifa preferencial para la energía eléctrica usada en el bombeo. Con ello, los agricultores no enfrentan los costos privados y sociales asociados a la irrigación. La primera propuesta es la eliminación de estos subsidios. Debido a lo complejo que resultaría políticamente la eliminación total del subsidio, en la mesa se discutieron algunas alternativas de re-direccionamiento del subsidio.

Entre las alternativas discutidas en la mesa están: 1) reorientación hacia la creación de información, infraestructura o capacidades que tengan características de bien público y que conduzcan a un mejor uso del agua, 2) desacoplamiento del subsidio, en el que se le devuelve al agricultor el monto que hubiera recibido por el subsidio, pero en efectivo, 3) generar recaudación para la compra de agua para caudal ecológico y crear apoyos para mejorar la infraestructura de los módulos y distritos de riego, financiar la operación de los mercados y los bancos de agua o contribuir a los ingresos de la federación; es decir, generar un doble dividendo por cobro (lo que desincentiva y recauda), y 4) una mezcla de las estrategias anteriores.

Módulos de riego. Se mencionó la idea de incentivar la eficiencia de los módulos de riego; esto es, ayudándolos a partir de subsidios o devolución de derechos para controlar a los usuarios (inspección) y mejorar la eficiencia en su infraestructura.

Otros usuarios. Mediante un gestor del agua en la cuenca (podría ser el administrador del banco de agua o alguna otra figura), se puede crear una demanda por agua tratada. Comprar agua a los municipios y ponerla en usos ecológicos para que, con ello, haya más agua disponible para riego. Esto motivaría a los municipios, al haber demanda, a tratar el agua, en vez de que el Estado tuviera que vigilar el cumplimiento de la norma; algunos municipios tratarían el agua voluntariamente al ser buen negocio para ellos.

Por último, es claro que las estrategias e instrumentos de política pública deben focalizarse, en una primera etapa, al desarrollo de sistemas de valoración y pago

de servicios del caudal, y a desarrollar lineamientos jurídicos y económicos que permitan que los recursos financieros sean gastados donde puedan hacer una diferencia mayor por beneficios generados; esto es, en las regiones y cuencas que sufren más eventos de pérdidas de caudales y, por lo mismo, en mayor riesgo de producir costos ecológicos severos. En este sentido, se deben seleccionar aquellos servicios y mecanismos de pago que, al mismo tiempo, sean claves para la provisión del servicio ambiental de protección del caudal ecológico, como base de otros servicios ambientales.

Las decisiones de inversión-gasto deben justificarse no sólo en términos de los beneficios al medio ambiente, sino también en términos de los costos y beneficios sociales y económicos, así como de su viabilidad financiera, política y social, y del apoyo público y privado necesario para llevar a cabo ciertas acciones y no otras. Todo lo anterior coloca sobre la mesa la suma de voluntades que se requiere coordinar para solucionar la problemática ambiental del país, relacionada con los caudales ecológicos.

Literatura citada

- Comisión Nacional del Agua. 2004. *Diagnóstico sobre la problemática del agua en México*, México.
- Dourojeanni, A. 1994. *Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas*. CEPAL. División de Medio Ambiente y Energía. Naciones Unidas. Santiago de Chile, 68 pp.
- James, D. y R. Lee. 1991. *Economics of Water Resources Planning*. McGraw-Hill., 142 pp.
- Ley de Aguas Nacionales. 2004. Comisión Nacional del Agua-Semarnat, México.
- Offe, C. 1990. *Contradicciones en el Estado del bienestar*, México, CNCA-Alianza
- Ortiz, G., E. Donath, J. Magaña, B. López y R. López. 2004. *Banco de agua*, IMTA-Semarnat, México.
- Ramos-Osorio, S. 2005. *Mercados del agua*. IMTA-Semarnat, México, 142 pp.
- Roemer, A. 1997. *Derecho y Economía: políticas públicas del agua*. "Colección Ciencias Sociales". CIDE-Porrúa. México, 180 pp.
- Russell, C. y P. Powell. 1996. *La selección de instrumentos de política ambiental: problemas teóricos y consideraciones prácticas*, BID, 89 pp.
- Samuelson, R. 1992. *Teoría microeconómica*, Prentice Hall, New York, 382 pp.
- Sanjurjo Rivera, E. e Y. Carrillo-Guerrero. 2006. Beneficios económicos de los flujos de agua en el delta del río Colorado: consideraciones y recomendaciones iniciales. *Gaceta Ecológica* 80. INE. México.
- Siebert, E.; D. Young y M. Young. 2000. Market based opportunities to improve environmental flows. Scoping report to Environment Australia. CSIRO. Land and Water, Adelaide, Australia.

Notas

¹ Esto se refiere a que puede existir un punto en que la tasa marginal de sustitución técnica, del agua respecto a cualquier otro insumo que requiera el ecosistema, tienda a infinito.

² En la mesa de análisis económico no se quiso caer en la discusión legal sobre si en México se puede comprar agua para uso ecológico o no. Se sabe que hay formas, como el PADUA, o la creación de usuarios productores de vegetación riparia, cuya tecnología de riego devuelva agua al río.

ON ASPECTS OF A LARGE SCALE REHABILITATION PROGRAM FOR AN OVER-ALLOCATED AUSTRALIAN RIVER: THE LIVING MURRAY

Dr. Lindsay J. White

Murray-Darling Basin Commission
GPO Box 409, Canberra, ACT, Australia, 2601, www.mdbc.gov.au
lindsay.white@mdbc.gov.au

Abstract

In recent years there has been an increasing number of important conferences on environmental flow across the world. These conferences often focus on ecology and hydrology. Unquestionably, these disciplines are important in informing decision makers about environmental flows as part of river rehabilitation programs.

The provision of environmental flows for over-allocated rivers in a multi jurisdictional context usually requires making significant decisions by politicians or senior government officials. Depending on the scale of a proposed environmental flow program, and the extent of impacts on existing non-environmental water consumers, informing and managing the political process may be as large a task as managing the scientific process.

This paper provides some background to the Living Murray: a large scale, multi jurisdictional program. The Living Murray is a river rehabilitation program for the River Murray, in south-eastern Australia. The Living Murray involves an investment of about \$750 million USD to:

- 'recover' rights to divert 6% of average abstractions, so that the water can be managed for environmental use rather than agricultural use;
- construct and operate environmental works to enhance the environmental benefit received; and
- engage with the general public, and in particular, the indigenous community.

The paper also provides a number of reflections on the Living Murray from one individual involved. Some of these reflections may be useful for those involved in discussions on environmental flows and river rehabilitation as a result of recent changes to the Mexican National Water Law.

Resumen

En años recientes ha existido un creciente número de conferencias importantes sobre caudal ambiental en todo el mundo. Estas conferencias a menudo se enfocan en la ecología y la hidrología. Sin duda, estas disciplinas representan importantes fuentes de

información para tomadores de decisiones sobre caudales ambientales como parte de programas de recuperación.

La provisión de caudales ambientales para ríos sobreasignados en un contexto multi-jurisdiccional requiere a menudo que políticos o altos funcionarios de gobierno tomen decisiones significativas. Dependiendo de la escala del programa propuesto y del grado del impacto de éste en los consumidores de agua no ambientales, el manejo de la información y de los procesos políticos puede ser una tarea tan grande como la de manejar el proceso científico.

Este trabajo proporciona ciertos antecedentes del programa Living Murray: un programa multi-jurisdiccional a gran escala para la recuperación del río Murray, en el sureste de Australia. El programa cuenta con una inversión de aproximadamente 750 millones de dólares para:

- “recuperar” el derecho de desviar 6% de las extracciones promedio para que al agua se le dé un uso ambiental en lugar de agrícola;
- construir y operar obras ambientales para mejorar el beneficio ambiental recibido; e
- involucrar al público en general y a la comunidad indígena en particular.

El documento también proporciona varias reflexiones sobre el Living Murray desde el punto de vista de una persona involucrada, algunas de las cuales pueden ser útiles para todos aquellos que participen en discusiones sobre caudales ambientales y la recuperación de ríos como resultado de los cambios recientes a la Ley de Aguas Nacionales de México.

Introduction

The River Murray is in south-eastern Australia (figure 1). This is in the Murray-Darling Basin, which has an area of about 1 million square kilometres (about 14% of the country) (MDBC, 2007). As much of the basin is arid or semi arid, the average runoff in the basin is only has about 6% of the country’s runoff (AATSE and IEAust, 1999). Nevertheless, around 70% of all water used for agriculture in Australia is used in the basin (MDBC, 2007). The River Murray is in the southern, more temperate part of the basin (figure 1).

There are about 2 million residents of the basin (MDBC, 2007). Additionally, the city of Adelaide is just outside of the Basin and draws much of its water from the River Murray. Agriculture in the basin provides large quantities of food to domestic and international consumers.

Under the Australian Constitution, the power for ‘reasonable use’ of waters resides with the states within Australia’s confederation. The River Murray is a multi jurisdictional river: for much of its length it forms the border between the states of New South Wales and Victoria (figure 1). The river then flows into South Australia. The River Murray is 2,530 km long.

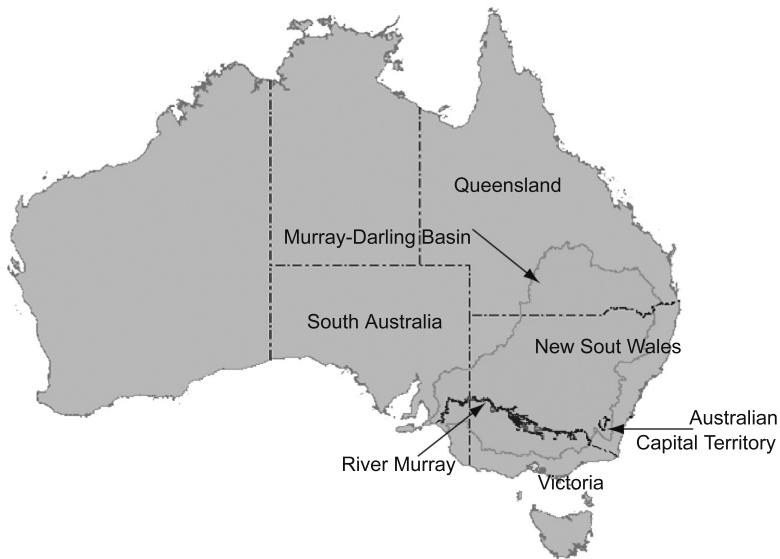


Figure 1.The Murray-Darling Basin.

Background

In the early part of the twentieth century, there was much contention between some Australian states in regard to navigation and the sharing of water of the River Murray. Following a Royal Commission, the River Murray Commission was formed in 1915 as a mechanism to resolve much of this contention.

In 1992, River Murray Commission became the Murray-Darling Basin Commission (MDBC) with the following broader purpose:

‘to promote and co-ordinate effective planning and management for the equitable, efficient, and sustainable use of the water, land and other environmental resources of the Murray-Darling Basin’

The MDBC is a partnership of six governments: the Australian government, and the governments of New South Wales, Victoria, South Australia, the Australian Capital Territory and Queensland. Any significant policy decision must be made unanimously by these jurisdictions.

Currently, one of the largest MDBC programs is the Living Murray. This program involves an investment of approximately \$750m US to achieve an agreed set of environmental outcomes as a step towards more sustainable water and

environmental management for the River Murray. The lead up to the Living Murray program took decades, and involved a number of general stages:

- creation of awareness that the health of the river was declining (1970s-1980s);
- accelerated learning about the health of the river (1990–1996);
- development of broad related strategies (1997–2000);
- further environmental assessment and initiation of the Living Murray (2001–2003); and
- progress towards full implementation of the Living Murray (2004-2007).

Some of the past key milestones leading up to, and immediately following, the First Step decision for the Living Murray in November 2003 are shown in table 1. This decision provided funds to ‘recover’ an average equivalent of 6% of diversions for environmental management. This decision was made in the context that:

- there was a severe drought in the basin;
- the Federal Government was becoming more interested in water management in the lead up to the signing of a National Water Initiative and the creation of a National Water Commission;
- there was considerable discussion of water management in the media, some of it triggered by a report released by a group of senior scientists, the ‘Wentworth Group of Concerned Scientists’ (WGCS, 2002); and
- there was a growing emphasis on environmental resource management at a catchment and basin scale.

Timeline	Milestones
Pre-1970	<p>Minimal consideration of environmental flows</p> <ul style="list-style-type: none"> • There were some rules for minimum flows and the maximum rate of drawdown of flows immediately downstream of water storages.
1970's	<p>Creation of awareness that the health of the river was declining</p> <ul style="list-style-type: none"> • Increasing awareness of water quality and salinity problems • The population of an invasive exotic fish, the European carp, increased considerably
1980's	
1990	<p>Accelerated learning about the health of the river and key riparian assets</p> <ul style="list-style-type: none"> • Barmah-Millewa Forest Management Plan / Agreement – creation of the Barmah-Millewa environmental water account • A blue-green algal bloom extended over 1,000 km along the Darling River (MRACC, 2007) • Report on water use in the Murray-Darling Basin
1991	
1992	
1993	
1994	
1995	
1996	

1997	Development of broad related strategies <ul style="list-style-type: none"> • Cap on Diversions • Salinity audit that led to Basin Salinity Management Strategy • Integrated Catchment Management Policy Statement • Pilot of interstate water trade
1998	
1999	
2000	
2001	Further environmental assessment and the initiation of the Living Murray <ul style="list-style-type: none"> • Environmental flows Expert Reference Panel report – raised environmental issues and possible responses • Murray Mouth dredging • River redgum (a widespread riparian tree) health survey showing many areas of river redgum forest were seriously stressed or dead • Murray Darling Basin Ministerial Council made the First Step Decision on the Living Murray
2002	
2003	
2004	Progress towards full implementation of the Living Murray <ul style="list-style-type: none"> • Further development of the framework for implementation of the Living Murray – jurisdictional negotiations • Ongoing community and Indigenous engagement • ‘Cultural mapping’ - mapping of sites of significance of Indigenous people • Initial watering events, with1 riparian response and bird breeding events • Monitoring of trends and responses to management interventions (waterings)
2005	
2006	
2007	

Table 1. Key milestones leading up to, and immediately following, the First Step decision for the Living Murray.

It is understood that Mexico now has Federal legislation that places a need to provide environmental flows, and is establishing Basin Councils. Proposals for environmental flows are expected in due course. In the hope that some of the resulting ideas may be relevant for future water management in Mexico, this paper now provides reflections on the lead up to the Living Murray First Step decision from early 2002 until November 2003.

Reflections

Based on the author’s experiences in the Living Murray, a few reflections are provided in the following categories:

1. To make progress, the best available information does not have to be ‘perfect’.
2. Keep the content and form of a proposal for increased environmental flows in mind.
3. Consult, be inclusive, be strategic.
4. Adaptive management is critical.

To make progress, the best available information does not have to be 'perfect'

As a general rule and part of the scientific process, scientists often seek to thoroughly explain phenomena and, through statistical analyses, provide a high degree of confidence in their conclusions. In contrast, decision makers often need to approve policies in tight timeframes based on best available information. In the Living Murray, around sixty scientists and economists were asked for professional advice in a relatively short timeframe, which was a challenging process.

An important strategy to increase the level of confidence of decision makers and scientists in the analysis was to undertake peer reviews. Experts that resided outside of the basin, and in two cases, outside of Australia, were involved in the peer reviews. For transparency and as inputs into community discussions, both the analyses and the peer reviews were released publicly. This gave confidence that there was a strong knowledge base underpinning the First Step decision.

Keep the content and form of a proposal for increased environmental flows in mind

It might sound obvious, but if possible, it is useful to begin work on an environmental flows proposal with its content and form in mind.

In the case of the Living Murray, the decision makers could be identified (a group of Ministers from each jurisdiction), and the time by which a proposal was required was clear. It is acknowledged that in other multi jurisdictional settings, the audience and timeframe may not be clear.

As mentioned previously, environmental flows deliberations fundamentally involve the sciences of ecology and hydrology. If water is being purchased (under a market based water recovery measure) or resumed compulsorily (under a regulatory water recovery measure) from another use, decision makers may also be vitally interested in the associated economic and social effects both for and against the provision of more water for environmental flows. Synthesising multi-disciplinary information into a short, accurate summary with implementation risks is a challenge.

When preparing information for decision makers, it is important for them to be clear on what information is required as the basis of a decision. Perhaps fortunately, the information required may not be a definitive triple bottom line complemented by the findings from extensive consultation. Rather, the centrepieces of a proposal to increase environmental flows could be a few defensible outcomes (eg. the area of forest that will be restored and the

percentage change in regional income) and some key schematics. Of course, there must be considerable technical work in the background so that the proposal is defensible to withstand the scrutiny by those with vested interests that may oppose a change. However, every now and then it is useful to test whether a piece of technical analysis will be reflected in a final proposal for decision makers to provide greater environmental flows.

An example of a schematic used to communicate the overall decline of health of the river to decision makers is provided in figure 2. The schematic was prepared by respected ecologists, and illustrated the decline of health of the River Murray overall through time. It summarises a large body of science that decision makers may not have time to read, and builds on the fact that many of the community accepted that significant environmental change occurred in the River Murray somewhere in about the 1960s or 1970s. The schematic then illustrates the levels of intervention that are required increase the health of the river, and implicitly that it may take some decades to restore some of its health.

Reasons for the decline of the health of the river from the middle of the twentieth century include the diversion of water (the average annual flow to the estuary of the River Murray is now about a quarter of the natural flow), the construction and operation of weirs and dams, and the introduction of exotic species (such as the European carp, *Cyprinus carpio*).

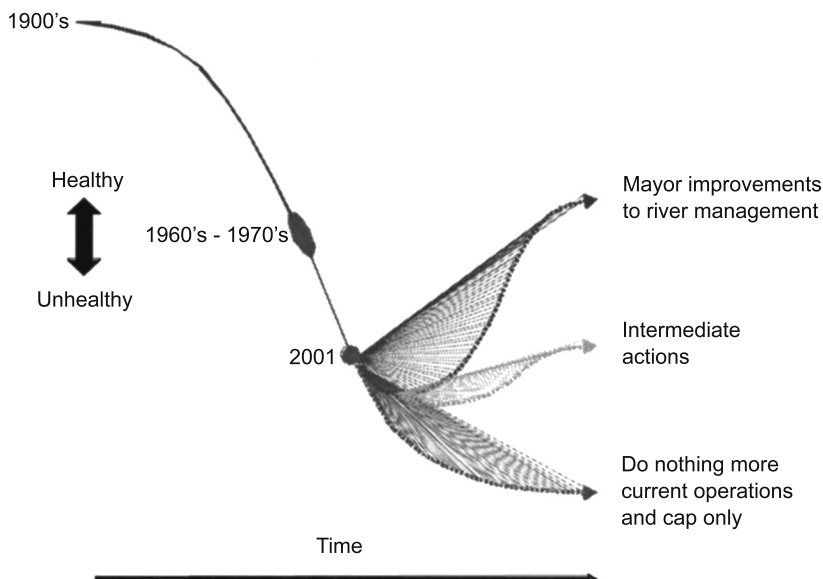


Figure 2. Model of the decline of health of the River Murray.

Consult, be inclusive, be strategic

The organisational values of the MDBC (MDBMC, 2001) are: inclusiveness; courage; commitment; respect and honesty; flexibility; practicability; and mutual obligation. Inclusiveness in particular was important in the lead up to the First Step decision in the Living Murray. Literally hundreds of people were directly involved. These included jurisdictional officers, analysts from a range of different disciplines, and community advocates for agricultural, environmental and other interests from across the Basin. The latter group is the focus of the following discussion.

There were community advocates for and against change of flow arrangements to create more environmental flows. About fifty people were involved in two community committees that provided advice to the Ministerial Council. Due to their involvement in inclusive processes, by the time the First Step decision came, there was a reasonably common understanding of issues and implications of the proposed First Step decision.

These community committees had a significant role in shaping features of the First Step decision. One suggestion was that much of the ecological information being produced in the form of modelled 'habitat condition indices' was too difficult for the community and decision makers to understand. The committees suggested a focus on more specific, tangible environmental outcomes at internationally significant sites, such as the estuary, wetlands and forests. Examples of the interim outcomes agreed at one of the 'icon sites' (the Gunbower-Koondrook-Perricoota forest) were:

- 80% permanent and semi-permanent wetlands healthy;
- 30% river red gum healthy;
- Successful breeding of thousands of colonial waterbirds at least 3 yrs in 10; and
- Healthy populations of resident native fish in wetlands.

A second suggestion supported by the community was that the aim should be that the River Murray is a 'healthy working river'. This term acknowledged that compromise was necessary between the health of the river, and the amount of 'work' (eg. provision of water for irrigation) to be done by the river, and that a river could be healthy whilst still doing work. Irrigators acknowledged the need for an acceptable level of health in the river, because it affects the quality of water they receive, and the opportunities for their communities to enjoy the river. This term was widely accepted.

Adaptive management is critical

Much of the first year following the First Step decision was spent developing the framework for implementation. Ultimately the framework to implement the First Step decision does provide a significant degree of flexibility and adaptive management:

- Indicative water recovery targets were set for each jurisdiction based on the relative quantity of water use in each jurisdiction;
- A wide range of mechanisms to recover water were allowed: from investment in infrastructure to reduce evaporation, to purchasing water access entitlements in the market from willing sellers (usually irrigators);
- Whilst the targeted icon sites are fixed and the targeted environmental outcomes were reasonably well specified, the priorities from year to year can change in accordance with an Environmental Watering Plan; and
- The recovered water entitlements could be traded for other water entitlements if it increases the likelihood of achieving the agreed outcomes.

Conclusions

Ecology and science are undoubtedly very important in achieving large decisions to allocate more water for the environment in an over-allocated river in a multi-jurisdictional setting. But even the most high calibre science will seldom be sufficient for significant political decisions to increase environmental flows.

Based on experience with the Living Murray, this paper provided reflections on:

1. To make progress, the best available information does not have to be 'perfect'
2. Keep the content and form of the proposal in mind
3. Consult, be inclusive, be strategic.
4. Adaptive management is critical.

Whilst it is acknowledged that the hydrological, ecological, economic, social and political contexts are different in Mexico and Australia, it is hoped that some of these reflections are of relevance as Mexico contemplates how it will meet obligations to provide environmental flows in its recent Federal water legislation.

References

- Australian Academy of Technological Sciences and Engineering and the Institution of Engineers, Australia, 1999, *Water and the Australian Economy*.
- Murray-Darling Basin Commission, 2007, *Basin statistics from the Murray-Darling Basin Commission website*, http://www.mdbc.gov.au/about/basin_statistics, accessed on 14 July 2007.
- Murray-Darling Basin Ministerial Council, 2001, *Integrated Catchment Management in the Murray-Darling Basin 2001 – 2010*, Canberra, http://www.mdbc.gov.au/__data/page/107/3624_ICMPolStatement.pdf, p.4.
- MurrayRegionalAlgalCoordinatingCommittee, 2007, <http://www.murraybluegreenalgae.com/> accessed on 14 July 2007.
- Wentworth Group of Concerned Scientists, 2002, *Blueprint for a Living Continent*, WWF Australia, Sydney, available from <http://www.wentworthgroup.org/>.

Acknowledgements

This paper was prepared during a two week visit to Mexico in June 2007. The author would express gratitude to the Chief Executive of the Murray-Darling Basin Commission, Dr. Wendy Craik, and his managers, Les Roberts and Jody Swirepik, for the opportunity to undertake this trip.

The author would like to express gratitude to many Mexicans, including Nélida Barajas Acosta, Mauricio de la Maza, Eugenio Barrios Ordonez, Citlali Cortes Montano, Dr. Perla Edith Alonso Eguía Lis, Dr. Salvador Contreras, for stimulating conversation and warm hospitality.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL O ECOLÓGICO EN MÉXICO

¹Pilar Saldaña Fabela, ²Ma. Antonieta Gómez Balandra y ³Perla Alonso-EguíaLis

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532 Progreso
Jiutepec, Mor. México.

¹psaldana@tlaloc.imta.mx, ²magomez@tlaloc.imta.mx, ³palonso@tlaloc.imta.mx

Conclusiones

En cumplimiento con los objetivos del Foro Nacional para la Determinación del Uso Ambiental o Caudal Ecológico en México, la introducción de este libro da a conocer las experiencias y metodologías hasta ahora desarrolladas en el mundo y en México, mientras que los capítulos siguientes presentan una discusión sobre los criterios básicos y recomendaciones para su determinación e implementación con un enfoque integral, multidisciplinario e interdisciplinario, tomando en cuenta aspectos ecológicos, hidrológicos, hidráulicos, jurídicos, sociales y económicos, que contribuyan a la conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos del país.

El presente capítulo está conformado de las conclusiones y recomendaciones emanadas tanto del análisis de los temas tratados en el foro, como de las observaciones y conclusiones alcanzadas en las distintas mesas de trabajo, incorporando la visión obtenida por la participación de los ponentes internacionales invitados.

Partiendo de la definición del concepto de caudal ambiental se reconoció que, a pesar de que la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su reglamento lo señalan, su inclusión en escasos capítulos es dispersa y desarticulada, además de no haberse desarrollado los instrumentos que permitirían su implementación. El concepto se utiliza con distintas acepciones como caudal, gasto ecológico, volumen o uso ambiental, lo cual implica su determinación y asignación mediante un procedimiento estandarizado o bajo una norma que sólo ha quedado como proyecto. Por otro lado, al considerarlo como uso se confronta con otros usos sin una representación jurídica adecuada, quedando como alternativa reservar determinados derechos de agua para el mantenimiento de dicho caudal mediante la figura jurídica de “reserva de aguas”.

La implementación de los caudales ambientales, al igual que de otros principios de la gestión integrada de los recursos hídricos, se han introducido de forma incompleta y sin instrumentos de implementación en nuestra legislación de aguas, por lo que se requiere un fortalecimiento de estos principios desde la política hídrica que el país este convencido en seguir.

Actualmente existen importantes avances que reconocen las interrelaciones del caudal ambiental con la salud de los ecosistemas, señalando que no sólo la cantidad, sino la calidad y el régimen de variación del flujo resultan muy importantes para mantener los componentes, estructura, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad (10th River Symposium an Environmental Flows Conference, Brisbane, Australia, septiembre 2007). Con base en esta concepción, las asignaciones de agua al ambiente deben entenderse como la base y sustento para garantizar la disponibilidad sostenible del recurso para el desarrollo regional y, por lo tanto, como elemento de seguridad para el desarrollo de las cuencas del país.

De esta manera, como lo ha expuesto la alianza WWF-FGRA, asignarle agua al ambiente representa recuperar y preservar los equilibrios hidrológicos de las cuencas sobreexplotadas y garantizarlos en las no sobreexplotadas, e incorporar una visión ecosistémica a la administración del recurso. Ambos aspectos, además de garantizar escenarios sustentables, son el camino para enfrentar las amenazas del cambio climático.

Los procesos de recuperación y conservación de equilibrios hidrológicos en las cuencas del país, requieren incorporar la determinación del caudal ecológico o ambiental en términos de cantidad, calidad y régimen para cada cuenca. A pesar que la LAN y su reglamento indican que debe considerarse el uso ambiental en la programación hídrica y en la determinación de la disponibilidad del agua, no ha sido posible llevar a la práctica ese concepto por razones metodológicas, jurídicas, económicas y sociales. Este es un asunto pendiente en la gestión del agua en México, y a la vez uno de los más complejos de aplicar en la práctica.

En las mesas de hidrología y ecología se discutió y recomendó que el caudal ambiental debe considerarse a nivel de cuenca, asegurando la conectividad de los distintos ecosistemas desde las partes altas, la vegetación riparia, el aporte de agua subterránea y los humedales, tomando especial importancia las diferencias regionales que se presentan en el país por la heterogeneidad del territorio, por lo que es indispensable que se fijen objetivos ambientales dependiendo de la problemática de cada cuerpo de agua, desde un enfoque ecosistémico, el cual incluya la interacción que se presenta entre las aportaciones del agua subterránea, la calidad del agua y aporte del caudal sólido (sedimentos) de tal manera que se conserve, restaure o mantenga el equilibrio y resiliencia de los ecosistemas acuáticos que permitan el uso sustentable del recurso.

Para la determinación del caudal ambiental es importante tomar en cuenta la variabilidad hidrológica medida a través de las cinco principales características: magnitud, frecuencia, temporalidad, duración y grado de cambio, las cuales definen la permanencia y estatus de las comunidades biológicas que deben ser consideradas como “*variables integrativas del funcionamiento ecológico del río*”. Por lo tanto, para que un caudal pueda considerarse como ecológico o ambiental tiene que determinarse a partir de parámetros o comunidades biológicas específicas, como son los macroinvertebrados, la vegetación acuática, los peces y los bosques de ribera, así como las relaciones entre ellos. Estimándose, por tanto, que los caudales ambientales o ecológicos tienen que calcularse a partir de métodos basados en la biodiversidad y evaluación de hábitats (como variables integrativas), siendo indispensable relacionarlas con las variables hidráulicas e hidrológicas. Los métodos basados únicamente en aspectos hidrológicos no siempre coinciden con los requerimientos biológicos.

De la gran variedad de metodologías existentes, las *holísticas* toman en cuenta todos los compartimentos del sistema (geomorfológico, físico, biológico, social, de gestión, etc.), considerándose las variables biológicas como determinantes para fijar los objetivos de recuperación de los cuerpos de agua, al mismo tiempo que se consideran también los intereses de los usuarios, los aspectos sociales, jurídicos y económicos.

Se reconoce que actualmente se cuenta con metodologías científicas suficientes y validadas para determinar las variables biológicas de un ecosistema fluvial, las cuales se corresponderán siempre con características hidrológicas naturales de la cuenca. Por lo que resulta prioritario diseñar redes ec hidrológicas que integren datos de la cantidad, calidad del agua, morfología y datos bióticos (peces, macroinvertebrados, otros), siendo importante para el establecimiento de la red contar con estudios de ríos que se consideren sin alteración (estado prístino) para que sirvan como referencia del funcionamiento de un río en su estado natural, es decir, sin ningún tipo de regulación. Algunos ríos de áreas naturales protegidas, como los parques nacionales o reservas de la biosfera podrían tomarse como referencia para cumplir esta función.

La determinación del caudal ambiental no debe considerarse como un simple trámite para cumplir con proyectos de desarrollo o concesión que se realice en un río, sino como un estudio ecológico que establezca las bases para garantizar que la explotación de los caudales sea compatible con la conservación del ecosistema fluvial, debiéndose dar el seguimiento de los caudales asignados que se establezcan, es decir, verificando el cumplimiento de las condiciones de referencia definidas previamente y tal vez ajustando los caudales asignados para beneficiar tanto al ambiente como a los usuarios. Se considera que esta es la mejor validación científica posible dada la complejidad de los sistemas naturales.

En el caso de ríos alterados, es muy importante determinar los objetivos ambientales que se quieren conseguir por los consejos u organismos de cuenca, usuarios, organismos operadores, cooperativas pesqueras, y sociedad en general para poder definir las estrategias de gestión que potencien la recuperación de los ecosistemas estresados.

En la mesa de análisis social, se discutió sobre la creciente necesidad de instrumentar mecanismos de comunicación e información para que la sociedad civil conozca y se apropie culturalmente del concepto de caudal ambiental a través de la diseminación de material informativo que permita a los usuarios tomar decisiones a partir de conocimientos objetivos, y tener actitudes favorables y positivas en torno al cuidado y preservación de los caudales, por lo que es importante y urgente incidir en la política educativa que permita que el tema ambiental sea obligatorio en escuelas y así incluir el concepto de caudal ambiental en la curricula educativa, a través de estrategias que se inserten no sólo en el ámbito escolarizado, sino la educación no formal con diferentes públicos y espacios, como son organismos operadores, museos y espacios culturales, en donde las estrategias deberán tener un carácter heterogéneo para ser acordes con las especificidades geográficas, ecológicas, culturales y socioeconómicas de las diferentes regiones del país.

Es indispensable el planteamiento desde la perspectiva de un desarrollo sustentable, dado que la presión de las demandas de uso sobre los ríos va en aumento por la creciente necesidad del recurso, observándose hasta ahora que de manera general prevalece una inadecuada valoración social e institucional de los servicios ambientales que brindan los ríos. Por lo anterior, es indispensable e impostergable que haya una articulación entre los programas de desarrollo agropecuario, urbano, hidroeléctrico, etc., con propuestas de caudal ecológico. El uso eficiente debe prevalecer como orientación en la gestión de los recursos. Rentabilidad incuestionable de las políticas de ahorro en los usos del agua.

Por otro lado, hay que asumir los costos del cambio de sensibilidad y orientación social respecto a los ríos y sus usos. Esto implica la necesidad real de que la administración los considere en sus presupuestos. Entre otros, deberá preverse una reasignación del agua, o bien, la recuperación parcial de las concesiones vigentes en aquellos tramos en que sea necesario.

Como consecuencia del pacto social, las estructuras de gestión de los ríos se podrán estabilizar y dispondrán de planes a largo plazo, más allá de las coyunturas políticas y los intereses partidistas.

En el análisis económico, se discutió que debe cuidarse que los caudales ambientales no generen mayores conflictos en la asignación del recurso, así

como buscar una instrumentación enmarcada en una visión de cuenca que permita dar flexibilidad a su implementación, a partir de pagos a los usuarios: subastas, tarifas de salida, compensaciones, renta de derechos adecuados a la disponibilidad y la creación de "bancos de agua " fondeados al inicio y siendo autosuficientes en el mediano plazo, así como crear reglas para que los usuarios privados puedan comprar agua para uso ecológico (ONG, donaciones, entre otros), buscando mecanismos que promuevan la eficiencia entre usuarios, módulos de riego e industria.

Los módulos de riego deben buscar políticas que incentiven la eficiencia y que apoyen al control de los usuarios (Programa de Devolución de Derechos, subsidios), así como que otros usuarios logren que los "bancos de agua" u otros gestores demanden agua de otras fuentes disponibles, como la de las plantas de tratamiento para usos en la cuenca.

Promover el uso eficiente del agua a través del establecimiento de políticas de precio al agua (tarifas escalonadas, reorientación de subsidios), proponiéndose que lo recaudado vía precios, se dirija hacia la compra de agua, se impulsen los bancos de agua, crear vigilancia y dejar que se vaya a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para devolver parte del dinero a los usuarios.

En el análisis jurídico se discutió que existe una indefinición legal y confusión en la terminología, por lo que es necesario clarificar el concepto, sus alcances y armonizarlo dentro del texto de la LAN. Se identificó que falta incorporar criterios de caudal ecológico en el régimen de otorgamiento de derechos de agua (concesiones y permisos de descarga), atribuciones de las autoridades del agua para la implementación del caudal ecológico, así como en la regulación para manejo, protección y rehabilitación de los ecosistemas dulce acuícolas.

La visión en la gestión del manejo del agua considerando sólo el aspecto de cantidad (caudal) es limitada, por lo que es importante que la gestión se instrumente desde el enfoque ecosistémico, así como instrumentar y dar certeza del rol que los estados y municipios deben abordar.

Como la inclusión del uso ambiental dentro del esquema de prelación de usos crea competencia, es necesario extraer del esquema de prelación de usos al uso ambiental y establecerlo como base para el propio esquema de prelación.

Además se requieren instrumentos jurídicos para la valoración económica del recurso, por lo que actualmente se tiene un desconocimiento y/o falta de asignación del valor económico de los servicios ambientales que prestan los ecosistemas. La valoración del agua para uso agrícola apoyará su inserción gradual en el pago de derechos.

Al establecer al caudal ecológico como condicionante y/o elemento determinante para el otorgamiento de derechos de agua (concesiones y permisos de descarga), será necesario reestructurar la LAN para incluir un título referido a la gestión del agua y de atribuciones de las autoridades del agua para la implementación del caudal ecológico.

Asimismo, modificar el régimen fiscal para incluir incentivos que fomenten la conservación del caudal ecológico, fortalecer los órganos existentes por la LAN y dotarlos de facultades vinculantes. Se identificó la necesidad de un nuevo arreglo institucional que equilibre la participación social, con suficiente legitimación y que sea vinculante.

Resulta también indispensable que los programas de ordenamiento territorial implementen y se vinculen con el caudal ecológico.

Se recomienda y es de mayor importancia continuar con el proceso de aprobación del actual proyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM), para contar con un instrumento normativo que sea la base para su implementación, sin dejar a un lado su evaluación y futuras propuestas para su mejora continua, por lo que es necesario contar con indicadores del cumplimiento de la ley en general y en particular, en materia de caudal ecológico.

Es importante que la norma tome en cuenta las particularidades ecológicas, sociales, culturales y económicas de las distintas regiones del país y sea flexible en la aplicación de criterios y metodologías.

Estudios y necesidades de información detectados

En cuanto a la generación de información que se requiere para las diferentes regiones del país, se plantea que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) apoye convocatorias de fondo sectorial o mixto por regiones, con objetivos concretos para responder necesidades de caudal ambiental en el país, así como promover investigación dirigida a temas como indicadores biológicos, índices de integridad biológica y obtención de línea base de ecosistemas, de tal manera que se puedan generar bases de datos como las obtenidas por la Comisión Nacional para la Biodiversidad que puedan ser empleadas por los usuarios.

También es importante que los gobiernos de los estados apoyen en la instalación de redes de monitoreo hidrológico, químico y ecológico para generar información constante y fidedigna, y que la Comisión Nacional del Agua establezca un mecanismo para poner a disposición datos crudos a los usuarios cuyo fin sea la investigación, así como ampliar la red de monitoreo de calidad del agua y generar un proyecto para trabajar estos datos con objetivos predictivos.

En los estudios de investigación de largo plazo, buscar que se asignen fondos para que en esos sitios haya integración de información hidrológica y ecológica y se obtengan datos en el largo plazo.

Se sugiere completar la página web del Portal del Agua con información sobre proyectos de caudal ecológico, metodologías y estudios de caso, entre otros.

Que la información generada utilice un lenguaje claro para que los tomadores de decisiones y usuarios puedan hacer uso de ella, por lo que se requiere crear módulos de información y comunicación con lenguaje sencillo y accesible, lo cual ayudará a un cambio de actitud hacia los problemas de escasez de agua y las posibilidades y necesidades de tratarla y reusarla, así como de la necesidad de instrumentar buenas prácticas de manejo en las actividades productivas que hagan el uso del agua más eficiente, en especial en el sector agrícola, para que impulsen buenas prácticas de manejo y reduzcan el consumo del agua.

Considerar a las microcuencas y subcuencas como unidades de planeación, en donde se identifique a los actores involucrados en el uso y manejo de los recursos naturales en las cuencas. Conocer y rescatar los conocimientos tradicionales de uso, manejo y conservación del agua, así como los tipos de intereses que representan y el potencial de conflicto entre los distintos usos del agua. Considerar al caudal ecológico o ambiental no como un usuario más, sino como una condición para que exista la distribución del agua entre todos los demás usuarios.

Plantear al caudal ecológico como uno de los temas de planeación de los programas de desarrollo (rural, agropecuario, hidroeléctrico, de abastecimiento público y urbano), y estar presente en la agenda institucional como un eje transversal entre las instituciones del sector público, los diferentes niveles de gobierno, la sociedad, la academia y los usuarios de la cuenca.

Aprovechar la posibilidad de sinergia de caudal ecológico con otros temas que ya están incluidos en la agenda internacional y nacional; entre ellos, desertificación y cambio climático.

En los consejos de cuenca que están formados por usuarios y por gobierno, hace falta que haya representantes del sector de conservación y mejorar su capacidad con respecto al tema de valor ecológico del agua. La academia ha de involucrarse, comprometerse y buscar su participación en estos consejos para generar la información necesaria y aportar soluciones a la problemática del agua.

Para los funcionarios (municipales y de organismos estatales y federales), el fortalecimiento y capacitación en el tema de caudales ambientales les

permitirá desarrollar y profundizar en una visión ambiental, así como una mayor vinculación entre los funcionarios y las instituciones académicas.

Finalmente, es necesario armonizar las leyes y reglamentos que garanticen la protección de los ecosistemas acuáticos y su entorno, movilizar recursos económicos de todos los sectores, promover el involucramiento de distintos actores, fortalecer la capacitación e implementar los caudales ambientales bajo un esquema adaptativo que, sin contar con toda la información necesaria, vaya ajustándose y respondiendo a las necesidades de conservación de los ecosistemas y a las perspectivas de entorno saludable y productivo para los usuarios y la sociedad en general.

Agradecimientos

Es importante reconocer y dar crédito al esfuerzo e interés de todos los asistentes al Foro Nacional para la Determinación del Uso Ambiental o Caudal Ecológico en México.

Los análisis y recomendaciones emanadas de este trabajo, dan una línea clara del rumbo que debemos tomar todos los involucrados en el tema del recurso hídrico en México. Esperamos que las recomendaciones y propuestas emanadas de este foro sirvan de base para los tomadores de decisiones.

Anexo 1. Lista de instituciones participantes en el Foro Nacional para la Determinación del Uso Ambiental o Caudal Ecológico en México

1. Bioconservación A.C.
2. Banco Mundial
3. Consultores en Educación, Desarrollo y Capacitación (Cedec)
4. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste A. C.
5. Centro Mexicano de Derecho Ambiental (Cemda)
6. Comisión Federal de Electricidad (CFE)
7. Comisión Nacional para la Biodiversidad (Conabio)
8. Consorcio para el Diálogo Parlamentario y la Equidad
9. Centro Universitario de la Costa Sur (Cucsur), Universidad de Guadalajara
10. Economía Ambiental
11. Ecosystem Economics LLC
12. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN
13. Facultad de Economía, UNAM
14. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza
15. Gobierno del Estado de Chihuahua
16. Grupo Autónomo para la Investigación Ambiental (GAIA)
17. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM
18. Instituto de Biología, UNAM
19. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
20. Instituto de Ecología A.C.
21. Instituto de Ingeniería, UNAM
22. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
23. Instituto Nacional de Ecología (INE)
24. Instituto Nacional de la Pesca-Sagarpa
25. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara
26. Manejo Integrado de Ecosistemas-Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (MIE-PNUD)
27. Pronatura A.C.
28. Profauna A.C.
29. Ramos Hoek, S.C.
30. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
31. Sonoran Institute
32. The Nature Conservancy
33. UNESCO, Programa Hidrológico Internacional
34. Universidad Autónoma de Baja California
35. Universidad Autónoma de Chapingo
36. Universidad Autónoma de Chihuahua

37. Universidad Autónoma de Sinaloa
38. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)
39. Universidad de Arizona
40. World Wildlife Fund

Anexo 2. Integrantes de las mesas de discusión

Mesa de discusión: Ecología

Nombre	Institución	Correo electrónico
Aguilar Sierra Alicia	Conabio	vaguilar@xolo.conabio.gob.mx
Ahumada Cervantes Brenda	Universidad Autónoma de Baja California	brendac05@gmail.com
Alfaro Martínez María	Gobierno del Edo. de Chihuahua	malfaro@buzon.chihuahua.gob.mx
Cabral Hernando	The Nature Conservancy	hcabral@tnc.org
Contreras Balderas Salvador	Bioconservación	saconbal@axtel.net
Eugenio Barrios Ordoñez	World Wildlife Fund	ebarrios@wwfmex.org
De la Maza Benignos Mauricio	World Wildlife Fund	mmaza@wwfmex.org
Nélida Barajas Acosta	World Wildlife Fund	nbarajas@wwfmex.org
Espinosa Pérez Héctor	Instituto de Biología, UNAM	hector@servidor.unam.mx
Garrido Arturo	INE	agarrido@ine.gob.mx
González Villela Rebeca	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	re_villela@hotmail.com
Hinojosa Osvel	Pronatura Noroeste	osvelhh@gmail.com
Huerto Delgadillo Rubén	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	rhuerto@tlaloc.imta.mx
Laborde Dovalí Alberto	MIE-PNUD	alberto.laborde@undp.org.mx
Landa Rosalva	Semarnat	rosalva.landa@semarnat.gob.mx
Llerandi Juárez Rosa	Comisión Federal de Electricidad	marytereg@yahoo.com.mx
López Henández Martín	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM	martinl@mar.icmyl.unam.mx
López-Portillo Jorge Alejandro	Instituto Nacional de Ecología, A.C.	lopez-p@ecologia.edu.mx
Magaña Melgoza Pedro	Instituto de Ingeniería, UNAM	pmaganam@ii.unam.mx
Martínez Fidel	Comisión Federal de Electricidad	fidel.martinez@cfe.gob.mx
Mazari Marisa	UNAM	mazari@servidor.unam.mx
Mijangos Carro Marco A	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	mijangos@tlaloc.imta.mx

Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México

Moreno Casassola Patricia	Instituto Nacional de Ecología, A.C.	patricmo@ecologia.edu.mx
Ochoa García Heliodoro	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara	hochoa@iteso.mx
Ortiz Arrona Claudia Irene	Cucsur, Universidad de Guadalajara	cortiz@cucsur@udg.mx
Patiño Siciliano Alfredo	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN	apsiciliano@yahoo.com.mx
Pérez Munguía Ricardo	Universidad Michoacana	pmunguia@zeus.umich.mx
Pica Granados Yolanda	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	ypica@tlaloc.imta.mx
Ramos Osorio Sergio	Semarnat	sergio.ramos@semarnat.gob.mx
Rivas Hernández Armando	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	arivas@tlaloc.imta.mx
Rodríguez Horacio	Comisión Federal de Electricidad	horacio.rodriguez@cfe.gob.mx
Ruiz López Alejandro	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	ajruiz@tlaloc.imta.mx
Sánchez Chávez Javier	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	jjsanche@tlaloc.imta.mx
Terán Juárez Deyanira	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN	
Ulloa Raúl	Consultor WWF, Cibnor	rulloa1971@hotmail.com
Val Segura Rafael	Instituto de Ingeniería	rvals@ingen.unam.mx
Valdés Casillas Carlos	Pronatura Noroeste - Oficina Alamos	cvaldes05@yahoo.com
Villarreal Muñoz de Cote Sergio	Comisión Federal de Electricidad	sergio.villareal@cfe.gob.mx
Zambrano Luis	Instituto de Biología, UNAM	zambrano@ibiologia.unam.mx
Alonso-Eguía Lis Perla	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	palonso@tlaoc.imta.mx
Saldaña Fabela Pilar	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	psaldana@tlaoc.imta.mx
Gómez Balandra Ma. A.	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	magomez@tlaloc.imta.mx

Mesa de discusión: Hidrología

Nombre	Institución	Correo electrónico
Alday Higeldo Ma Magdalena	Comisión Federal de Electricidad	maria.alday@cfе.gob.mx
Arellano Lara Fabiola	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	fabi_arelara@yahoo.com.mx
Bravo Inclán Luis	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	lubravo@tlaloc.imta.mx
Cervantes Alberto	CEDEC	
Chávez Adolfo	Universidad Autónoma de Chihuahua	achavezr@avantel.net
García Cabrera Isabel	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	
García Rodríguez Ezequiel	Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo	ezgarciarod@hotmail.com
Gaviño Novillo Marcelo	UNESCO-PHI	e3@netverk.com.ar
Güitrón Alberto	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	aguitron@tlaloc.imta.mx
Gutiérrez Ojeda Carlos	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	cgutierrez@tlaloc.imta.mx
Izurieta Jorge	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	izurieta@tlaloc.imta.mx
Mejía Roberto	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	rmejia@tlaloc.imta.mx
Muñoz Emma	Ecología y Modelación	emmiglez@hotmail.com
Ramírez O. Aldo	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	aramirez@tlaloc.imta.mx
Rodríguez Pineda Alfredo	World Wildlife Fund	alrodriguez@wwfmex.org
Sánchez Camacho Enrique	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	esanchez@tlaloc.imta.mx
Solís Alvarado Yolanda	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	ysolis@tlaloc.imta.mx
Torrecillas Núñez Cruz E.	Universidad Autónoma de Sinaloa	cruztn@uas.uasnet.mx
Velasco Velasco Israel	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	ivelasco@tlaloc.imta.mx
Zamora Francisco	Sonoran Institute	francisco@sonoran.org
Zurutuza Ernesto	Comisión Federal de Electricidad	ernesto.zurutuza@cfе.gob.mx

Mesa de discusión: Legislación

Nombre	Institución	Correo electrónico
Aznar González Luis Antonio	Comisión Federal de Electricidad	luis.aznar@cfe.gob.mx
Bezaury Creel Juan	The Nature Conservancy	jbezaury@tnc.org
Cuervas Daphne	Consorcio para el diálogo parlamentario y la equidad	daptnhe@consorcio.org.mx
Junco Pineda Ixnic	Derecho Ambiental	ixnic.junco@gmail.com
López Mario	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Universidad Jesuita de Guadalajara	mariol@iteso.mx
López Carbajal Alberto	Semarnat	luis.lopez@semarnat.gob.mx
Ortiz Rendón Gustavo	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	gortiz@tlaloc.imta.mx
Ramos Bustillos Luis Enrique	Ramos Hoek, S.C.	ramoshoek@prodigy.net.mx
Salazar Dreja Alejandra	Pronatura	asalazar@pronatura.org.mx
Serrano Alejandra	Centro Mexicano de Derecho Ambiental	aserrano@cemda.org.mx
Tattenfield Teresa	Semarnat	teresa.tattersfield@semarnat.gob.mx
Velasco Ramírez Anaid	Centro Mexicano de Derecho Ambiental	avelasco@cemda.org.mx

Mesa de discusión: Social

Nombre	Institución	Correo electrónico
Blasco Cecilia	Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza	fmcecilia@xal.megared.net.mx
Cortés Montaña Citlali	World Wildlife Fund	ccortes@wwfmex.org
Espinosa Claudia	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	cespinos@tlaloc.imta.mx
González roba M. Antonio	GAIA A.C.	gaia@spersaoaxaca.com.mx
Guzmán Aranda Juan Carlos	Protección de la Fauna Mexicana, A.C.	jguzmana@yahoo.com.mx
Leyva Fernando	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	fleyva@tlaloc.imta.mx

López Ramírez Eduardo	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	elopez@tlaloc.imta.mx
Marbán Guerrero David	Comisión Federal de Electricidad	david.marban@cfе.gob.mx
Martínez Ruíz José Luis	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	jlmartin@tlaloc.imta.mx
Murillo Daniel	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	dmurillo@tlaloc.imta.mx
Paré Luisa	Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM	lpare@servidor.unam.mx
Rivas Guevara Ernestina	Universidad Autónoma de Chapingo	marydesierto@hotmail.com
Romero Roberto	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	rromero@tlaloc.imta.mx
Sánchez Izquierdo Marco	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	msanchez@tlaloc.imta.mx
Soares Dennise	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	denise_soares@tlaloc.imta.mx
Toledo Díaz-Rubín Patricia	Instituto Nacional de la Pesca-Sagarpa	cheremecua@yahoo.com.mx
Uribe Yamanaka Carlos	Comisión Federal de Electricidad	carlos.uribe@cfе.gob.mx
Valdés Casillas Carlos	Pronatura Noroeste Alamos	cvaldes05@yahoo.com
Vargas Sergio	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	svargas@tlaloc.imta.mx
Jorge Martínez Ruiz	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	jorgemartinez@tlaloc.imta.mx
Zapata López Jenny	World Wildlife Fund	jzapata@wwfmex.org

Mesa de discusión: Economía

Nombre	Institución	Correo electrónico
Aylward Bruce	Economía Ambiental	bruce@ecosystemX.org
Bravo Héctor	Facultad de Economía, UNAM	hbravo@hotmail.com
Camacho González Héctor	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	hector_camacho@tlaloc.imta.mx
Carrillo Guerrero Yamilett	Universidad de Arizona	yamilett@email.arizona.edu
Donath De la Peña Eduardo	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	edonath@tlaloc.imta.mx
Gómez Almaran Raquel	World Wildlife Fund	rgomez@wwfmex.org

Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México

Guerrero García R. Hilda	Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo	hildaguerrero@prodigy. net.mx
Hernández Murillo Ricardo	Consultor	rhernandez1@worldBank. org
Manson Robert	Instituto Nacional de Ecología	robert.manson@inecol. edu.mx
Olaiz Alfonso	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	aolaiz@tlaloc.imta.mx
Olivera Villarroel Marcelo	Consultor	satzcha@msn.com
Romero Alejandro	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	alexrom@tlaloc.imta.mx
Sanjurjo Rivera Enrique	Instituto Nacional de Ecología	sanjurjo@ine.gob.mx

Anexo 3

LA DECLARACIÓN DE BRISBANE

Los caudales ambientales¹ son esenciales para la salud de los ecosistemas y el bienestar humano.

Esta declaratoria presenta un resumen de los aspectos clave y la agenda de acción global que señala la urgente necesidad de proteger los ríos globalmente, como se proclamó en el X Simposio Internacional de Ríos y Conferencia Internacional de Caudales Ambientales, que tuvo lugar en Brisbane, Australia del 3 al 6 de septiembre de 2007. La conferencia reunió a más de 750 científicos, economistas, ingenieros, representantes y políticos de más de cincuenta países.

Los aspectos clave

Los ecosistemas dulceacuícolas son la base de nuestro bienestar social, cultural y económico. Ecosistemas dulceacuícolas saludables como ríos, lagos, planicies, humedales y estuarios proveen agua limpia, alimentos, fibras, energía y muchos otros beneficios que soportan las economías y comunidades alrededor del mundo. Estos ecosistemas son esenciales para la salud y bienestar humano.

Los ecosistemas dulceacuícolas están seriamente dañados y continúan degradándose a tasas alarmantes. Las especies acuáticas están declinando más rápidamente que las especies marinas y terrestres. En la medida en que se degradan estos ecosistemas, las comunidades humanas pierden importantes beneficios sociales, culturales y económicos; los estuarios pierden productividad, plantas; organismos exóticos invaden y se extienden en los cuerpos de agua, y la resiliencia de los lagos, humedales y estuarios se debilita. El alcance del severo impacto acumulativo es global.

El agua que fluye hacia el mar no está desperdiciada. El agua dulce que fluye a los océanos alimenta a los estuarios, los cuales proveen alimento en abundancia y la infraestructura de amortiguamiento contra las tormentas y fuertes mareas, además de diluir y asimilar contaminantes.

La alteración de los flujos impacta los ecosistemas dulceacuícolas y estuarios. Estos ecosistemas han evolucionado y dependen de la variación natural de los flujos de agua dulce y del aporte de agua de alta calidad. Debe ponerse mayor atención a las necesidades de los caudales ambientales cuando se haga un manejo de los flujos, ya sea para abastecer agua a las ciudades, agricultura, industria, así como para generar energía, facilitar la navegación, recreación y el drenaje.

El manejo de los caudales ambientales provee el agua que se requiere para sostener los cuerpos dulceacuícolas y estuarios en coexistencia con la agricultura, industria y ciudades. El objetivo del manejo de los caudales ambientales es restaurar y mantener los beneficios socialmente valiosos de ecosistemas saludables y resilientes, a través de decisiones participativas e informadas con base científica. El manejo de las aguas subterráneas y planicies es una parte integral del manejo de los caudales ambientales.

El cambio climático intensifica la urgencia. El manejo de caudales ambientales adecuados prevendrá de daños potenciales serios e irreversibles de los impactos del cambio climático al mantener y preservar la resiliencia de los ecosistemas.

Se han logrado avances pero se requiere mayor atención. Varios gobiernos han instituido innovadoras políticas que reconocen explícitamente la necesidad de los caudales ambientales. La consideración de esta necesidad se está incorporando en el desarrollo de infraestructura y los caudales están siendo mantenidos o restaurados a través de liberación de agua de las presas, limitando la extracción de agua subterránea, el desvío de agua superficial y por prácticas de manejo del uso del suelo. Aun así, el avance a la fecha es muy limitado, considerando el esfuerzo global que se requiere para sostener la salud de los ecosistemas dulceacuícolas y las economías, asentamientos y bienestar humano que dependen de ellos.

Agenda Global de Acción

Los delegados del X Simposio Internacional de Ríos y de la Conferencia Internacional de Caudales Ambientales hacen un llamado a los gobiernos, bancos de desarrollo, donadores, organizaciones de cuenca, asociaciones de agua y energía, instituciones multi y bilaterales, así como a organizaciones de las comunidades locales, instituciones de investigación y sector privado a nivel mundial para comprometerse en las siguientes acciones para la restauración y mantenimiento de los caudales ambientales:

Estimar los caudales ambientales que se requieren en los cuerpos de agua de forma inmediata. Los caudales ambientales necesarios son actualmente desconocidos para la vasta mayoría de los ecosistemas dulceacuícolas y estuarios. Se han desarrollado metodologías científicamente creíbles para cuantificar la variación —y no solamente el mínimo— caudal requerido para cada cuerpo de agua, haciendo explícito el enlace de los caudales ambientales con funciones ecológicas específicas y valores sociales. Los avances recientes permiten evaluaciones rápidas, regionales y científicamente soportadas de determinación de caudales ambientales.

Integrar la asignación de caudales ambientales en cada aspecto del manejo del agua y suelo. El manejo de caudales ambientales debe ser un requerimiento básico e integrado de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), de la evaluación de impacto ambiental (EIA) y de la evaluación estratégica de impacto ambiental (EEIA); para el desarrollo de infraestructura hidráulica e industrial, certificación ambiental, uso del suelo y agua, así como estrategias de producción de energía.

Establecer estructuras institucionales. La integración consistente de los caudales ambientales en el manejo de agua y suelo requiere de leyes, regulaciones, políticas y programas que: 1) reconozcan los caudales ambientales como una forma integral de manejo sustentable del agua, 2) establezcan los límites precautorios de las disminuciones permisibles u alteraciones a los caudales naturales, 3) consideren el agua subterránea y superficial como un recurso hidrológico único y 4) mantengan los caudales ambientales a través de límites geográficos políticos.

Integrar la calidad del agua. El minimizar y tratar las aguas residuales reduce la necesidad de mantener un mayor flujo no-natural para propósitos de dilución. La descarga de aguas tratadas adecuadamente puede ser una fuente importante de agua para cubrir las necesidades de los caudales ambientales.

Involucrar a todos los actores activamente. El manejo efectivo de los caudales ambientales involucra a todas las partes potencialmente afectadas y a actores relevantes, y considera un rango completo de necesidades humanas y valores asociados a los ecosistemas dulceacuícolas. Los actores que sufren la pérdida de los servicios y beneficios de los ecosistemas deben ser identificados y compensados en los esquemas de desarrollo.

Implementar y reforzar estándares de caudales ambientales. Limitar expresamente la reducción y alteración de los caudales naturales conforme a la disponibilidad física y legal, y realizar el balance de las necesidades de los caudales ambientales. Donde estas necesidades sean inciertas, aplicar el principio precautorio y estándares de flujo base sobre el mejor conocimiento disponible. Donde los caudales están ya fuertemente alterados, utilizar las estrategias de manejo que incluyen mercados de agua, conservación, restauración de planicies y reoperación de presas para restaurar los caudales ambientales a niveles apropiados.

Identificar y conservar una red global de ríos que fluyan libremente. Las presas y tramos secos de los ríos impiden la migración de peces y el transporte de sedimentos; físicamente limitan los beneficios de los caudales ambientales. La protección de sistemas de ríos de alto valor en el desarrollo de nuevos proyectos, asegura que los caudales ambientales y la conectividad hidrológica

se mantengan desde las partes altas de las cuencas hasta sus desembocaduras. Resulta mucho menos costoso y más efectivo proteger los ecosistemas de la degradación que restaurarlos.

Fortalecimiento institucional. Entrenar expertos para evaluar científicamente las necesidades de caudales ambientales, empoderar a las comunidades locales a participar efectivamente en el manejo del agua y en el diseño de políticas, así como mejorar la experiencia en ingeniería para incorporar el manejo de caudales ambientales en el abastecimiento de agua potable, control de inundaciones, irrigación y generación de energía hidroeléctrica.

Aprender haciendo. Dar seguimiento sistemático a las relaciones entre la alteración del flujo y la respuesta ecológica, antes y durante el manejo de los caudales ambientales, y refinar las asignaciones de flujo concordantemente. Presentar los resultados a todos los actores y a la comunidad global de caudales ambientales.

(Traducida por Ma. Antonieta Gómez Balandra y enviada a los organizadores del simposio para inclusión en sitio web).

Para consultar el documento original, las organizaciones y gobiernos participantes, ver el sitio web:

http://www.nature.org/initiatives/freshwater/files/brisbane_declaration_with_organizations_final.pdf

Nota

¹Los caudales ambientales incluyen la cantidad, periodicidad y calidad del agua que se requiere para sostener los ecosistemas dulceacuícolas y estuarios, así como el bienestar humano que depende de estos ecosistemas.

El libro *Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México* se terminó de imprimir el mes de diciembre de 2007 en los talleres del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos. La edición consta de cuarenta ejemplares.

