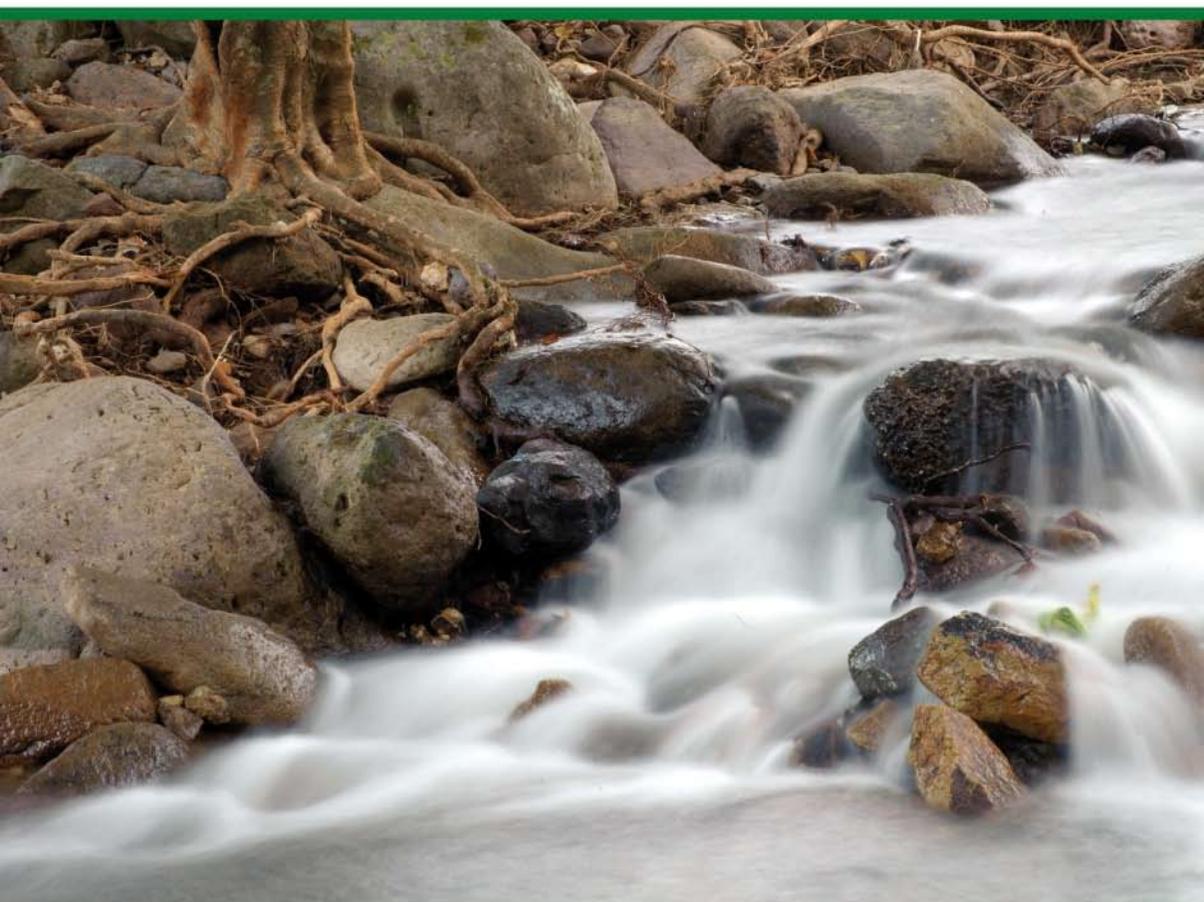


SEMARNAT

SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



# RÍOS LIBRES Y VIVOS, INTRODUCCIÓN AL CAUDAL ECOLÓGICO Y RESERVAS DE AGUA



Con el apoyo de la Alianza



FUNDACIÓN  
GONZALO RÍO ARRONTE, I.A.P.



Red Mexicana de  
Cuencas Hidrográficas



# RÍOS LIBRES Y VIVOS, INTRODUCCIÓN AL CAUDAL ECOLÓGICO Y RESERVAS DE AGUA



*Cuadernos de divulgación ambiental*

**Ríos libres y vivos, introducción al caudal ecológico y reservas de agua**

Primera edición 2014

**Investigación y texto:** Ignacio Daniel González Mora, Sergio A. Salinas Rodríguez, Adriana Guerra Gilbert, Rafael Sánchez Navarro y Eduardo Ríos Patrón.

**Diseño:** Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable.

**Fotografía de portada:** Jaime Rojo / WWF México.

DR © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Blvd. Adolfo Ruiz Cortines 4209, Col. Jardines en la Montaña, Del. Tlalpan, 14210, México D.F.  
[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable  
Progreso 3, planta alta, Col. Del Carmen, Del. Coyoacán, 04100, México D.F.  
<http://cecaedesu.semarnat.gob.mx>

WWF México  
Av. México 51, Col. Hipódromo, Del. Cuauhtémoc, 06100, México D.F.  
[www.wwf.org.mx](http://www.wwf.org.mx)

Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.  
Ignacio Ramírez 20, piso 4, Col. Tabacalera, Del. Cuauhtémoc, 06030, México D.F.  
[www.fgra.org.mx](http://www.fgra.org.mx)

Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas  
[www.agua.org.mx](http://www.agua.org.mx)  
Sección grupos de trabajo

Hecho e impreso en México en papel sustentable.

**Distribución gratuita.**

# ÍNDICE

<b>Introducción</b>	<b>5</b>
1. Entendiendo qué es un río	7
2. ¿Qué es la integridad ecológica de los ríos?	13
3. Caudal ecológico, fundamentos y principios	15
4. La norma mexicana de caudal ecológico	23
5. El agua como derecho humano y bien común: su regulación sustentable	29
6. Las reservas de agua para la protección ecológica	31
7. Las necesidades hídricas de los humedales	37
<b>Conclusiones</b>	<b>39</b>
<b>Fuentes</b>	<b>41</b>



## INTRODUCCIÓN

Un río o un humedal<sup>1</sup> proporciona importantes bienes y servicios a la sociedad como resultado de procesos físicos, químicos y ecológicos a diversas escalas temporales, y están vinculados en forma directa con el comportamiento natural de las corrientes de agua y su grado de calidad.

Este comportamiento o variación de las corrientes de agua se expresa en el llamado caudal ecológico, que es un instrumento de gestión y administración del agua que permite acordar entre los diferentes usuarios a lo largo de una cuenca un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, además de que define la calidad, cantidad y régimen<sup>2</sup> del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia<sup>3</sup> o adaptación a las perturbaciones de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad.

El conocimiento del caudal ecológico permite generar información para conciliar y ordenar en forma participativa y sostenible la demanda económica, social y ambiental del agua en una cuenca hidrográfica o en un humedal. También posibilita reconocer que los bienes y servicios ecosistémicos<sup>4</sup> de las cuencas dependen de procesos físicos, biológicos y sociales, y que únicamente conservando el agua que los mismos ecosistemas necesitan se puede garantizar su provisión futura.

México es líder en el diseño de políticas públicas en América Latina en temas de caudal ecológico y reservas de agua para la protección ecológica y un ejemplo a nivel internacional por la expedición de la norma que establece los procedimientos para la determinación del caudal ecológico en cuencas.

---

<sup>1</sup> Ver de esta misma colección *Los humedales en México. Oportunidades para la sociedad*, de Patricia Moreno-Casasola, en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Humedales.pdf>

<sup>2</sup> Variación experimentada por el caudal de una corriente fluvial. (Real Academia Española).

<sup>3</sup> Ecosistema capaz de recuperarse luego de una perturbación. Es una propiedad emergente que opera a nivel del ecosistema en su conjunto ([www.wikiensuma.mx/contenido/Marcos\\_Conceptuales](http://www.wikiensuma.mx/contenido/Marcos_Conceptuales)).

<sup>4</sup> Se definen como aquellos beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas. Esos beneficios pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Se consideran beneficios directos la producción de provisiones, agua y alimentos (servicios de aprovisionamiento) o la regulación de ciclos como las inundaciones, degradación de los suelos, desecación y salinización (servicios de regulación). Los beneficios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios directos (servicios de apoyo), como el proceso de fotosíntesis y la formación y almacenamiento de materia orgánica, el ciclo de nutrientes, la creación y asimilación del suelo y la neutralización de desechos tóxicos. Los ecosistemas también ofrecen beneficios no materiales, como los valores éticos, espirituales y culturales o las oportunidades de recreación (servicios culturales). Son también identificados como servicios ambientales. Ver de esta misma colección Cotler, H. et. al., *Cuencas hidrográficas de México. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*, p. 5, en: [http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium-bin/janium\\_login\\_opac.pl?find&ficha\\_no=227152](http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium-bin/janium_login_opac.pl?find&ficha_no=227152)

El tópicu caudal ecológico y reservas de agua se ha posicionado en la vanguardia de la agenda ambiental internacional al ser discutido y analizado en el foro Diálogos por el Agua, en el 6° Foro Mundial del Agua,<sup>5</sup> realizado del 12 al 17 de marzo de 2012 en la ciudad de Marsella, Francia, y en la 11ª Reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención Ramsar,<sup>6</sup> efectuada en Bucarest, Rumanía, del 6 al 13 de julio de 2012, y en donde se propuso el tema como una decidida estrategia de adaptación ante el cambio climático.

En este cuaderno de divulgación se presenta la idea de un río como un ecosistema dinámico y variable, cuya modificación temporal y en términos de cantidad y calidad de agua que circula en su cauce (también llamado régimen de caudales) condiciona los procesos físicos, biológicos, químicos y ecológicos en los que se basa el funcionamiento ecosistémico. En la actualidad los ecosistemas fluviales o de los ríos y los humedales presentan signos de deterioro y la solución que se busca es conservar o recuperar su funcionalidad natural. Dicha funcionalidad natural de los ríos (conocida como integridad ecológica) permite adaptarse a las perturbaciones o ser resiliente y capaz de proveer de bienes y servicios ecosistémicos a los habitantes de la cuenca hidrográfica.

Además, se presenta el concepto de caudal ecológico, sus principios fundamentales y dos aportaciones relevantes en materia de política pública ambiental: la norma mexicana -sin equivalente en el ámbito internacional- y el Programa Nacional de Reservas de Agua, iniciativa público-privada, considerada como una estrategia de adaptación ante la variación climática.

También se discute cómo el caudal ecológico y las reservas de agua pueden contribuir a hacer realidad el derecho humano al agua en México y cómo se puede controlar y poner límites al uso de un bien común -el agua- para que su aprovechamiento sea motor del desarrollo sustentable.<sup>7</sup>

Finalmente y de manera homóloga al concepto de caudal ecológico para los ríos, se describe el concepto de las necesidades hídricas para los humedales.

---

<sup>5</sup> Para más información consultar: [www.worldwaterforum6.org/en/](http://www.worldwaterforum6.org/en/)

<sup>6</sup> Para más información consultar: [www.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-cops-cop11/main/ramsar/1-31-58-500\\_4000\\_0\\_\\_](http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-cops-cop11/main/ramsar/1-31-58-500_4000_0__)

<sup>7</sup> El desarrollo sustentable, en materia de recursos hídricos, es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental, que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas y que se fundamenta en las medidas necesarias para la preservación del equilibrio hidrológico, el aprovechamiento y la protección de los recursos hídricos, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de agua de las generaciones futuras. (LAN, artículo 3, fracción XXI).

# 1. ENTENDIENDO QUÉ ES UN RÍO

***El agua es el vehículo de la naturaleza.***

Leonardo Da Vinci.

Un río es una **corriente de agua natural**, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, a un embalse natural o artificial o al mar. (LAN, artículo 3, fracción XLVIII).

Los ríos conforman el sistema natural por el que el agua escurre en una **cuenca hidrográfica**. (Cotler *et. al.*, 2013). Los ríos confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica).

Pero cuando se está frente a un río, un verdadero río, se desborda nuestro entendimiento y no queda limitado a la definición de la ley. En visitas al campo, ya sea por motivos de trabajo o buscando esparcimiento, se presentan ante nuestros ojos y oídos escenas como las mostradas en las siguientes fotografías. Y seguramente que más de una vez se ha percibido la sensación de plenitud al compartir con quien nos acompaña las risas de las personas que se benefician del río y la belleza del paisaje.

## RÍOS NATURALES, BELLEZA ESCÉNICA Y VIDA DE LOS HABITANTES DE LA CUENCA LIGADA AL RÍO



Fotografías: WWF México.

Para entender mejor lo que un río significa, se abordará su definición desde el **enfoque ecológico**. Desde este punto de vista, un río es un **ecosistema dinámico y complejo** caracterizado por la presencia de agua dulce en movimiento que recorre distancias en favor de la gravedad a través de un lecho o cauce. En su recorrido establece interacciones y **conectividad ecológica**<sup>8</sup> en los tres ejes dimensionales en que transita: longitudinal, transversal y vertical. Además no puede olvidarse que un río es un ecosistema con marcada **variabilidad temporal**.

El río en su fluir transporta materiales, nutrientes y energía necesarios para otros ecosistemas que se encuentran aguas abajo (dimensión longitudinal) y hacia los ecosistemas terrestres adyacentes (dimensión transversal). Gracias a la estructura de los sedimentos del cauce,<sup>9</sup> el agua se filtra y forma el hiporreo o río inferior, que posibilita la autodepuración de las aguas y la recarga de los acuíferos<sup>10</sup> (dimensión vertical).

### DIMENSIONES DE LA CONECTIVIDAD DE UN RÍO



Las dimensiones de la conectividad de un río: transversal (x), longitudinal (y) y vertical (z). Río Atoyac en San Pedro Juchatengo, Oaxaca, en época de lluvias. Fotografía: Sergio Salinas, WWF México.

<sup>8</sup> La conectividad es un atributo ecológico que significa la continuidad o conexión espacial de los ecosistemas sin interrupciones, en el que se favorecen los intercambios de materiales, energía y material genético entre las especies. En el ámbito de los socioecosistemas, la conectividad ecológica implica pues procesos físicos, biológicos, sociales y económicos interconectados.

<sup>9</sup> La estructura de sedimentos del cauce está dada por el tipo de sedimentos depositados, su redondez, clasificación y estratificación. (Caballero, C.).

<sup>10</sup> El acuífero es cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo. (LAN, artículo 3, fracción II).

En estas **tres dimensiones espaciales** y la dimensión temporal se establecen interacciones ecológicas, ecosistémicas y sociales. Las especies biológicas, incluido el ser humano, han armonizados sus historias de vida, procesos y actividades a la variabilidad de los caudales.<sup>11</sup>

Con todas estas consideraciones se debe pensar que un río es algo más que el medio por donde pasa un caudal. Se debe tomar en cuenta que el río posee **zonas ecológicamente relevantes**:

- La zona de ribera y la llanura de inundación, con gradientes de vegetación dados por la afinidad a la humedad en la dimensión transversal.
- La zona hiporreica (río inferior).
- Y un cauce con microambientes para un sinnúmero de especies de flora y fauna (Sabater *et al.*, 2009).



<sup>11</sup> El caudal es definido como la cantidad de agua que circula en una cuenca de drenaje o río. Es el volumen de agua por unidad de tiempo que pasa por un sitio determinado de la cuenca o río. Se expresa generalmente en metros cúbicos por segundo ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) o en millones de metros cúbicos por año (en el sistema métrico decimal las unidades son hectómetros cúbicos por año,  $hm^3 \cdot año^{-1}$ ).

A estos elementos hay que sumar el hecho de que un río que fluye de manera natural y, por tanto, presenta íntegra su funcionalidad original, brinda un sinnúmero de bienes y servicios ecosistémicos necesarios para el desarrollo cultural, social y económico de los habitantes de una cuenca.

En nuestras visitas a diferentes cuencas hidrográficas mexicanas siempre escuchamos a sus habitantes, y en especial aquellos que están en contacto estrecho y cotidiano con los ríos, expresar frases como: "... queremos mantener nuestro río vivo", "... queremos que nuestros ríos sigan siendo ríos", "... los ríos son vida" "... los ríos sanos son ríos que llevan vida", con las cuales denotan sin explicaciones técnicas el sentido dinámico y esencial que un río tiene y su **intrínseca relación con la vida misma.**

### PROBLEMÁTICA DE LOS RÍOS Y LOS ECOSISTEMAS QUE DEPENDEN DE ELLOS

Las sociedades humanas al requerir de los bienes y servicios ambientales que ofrecen los ríos, los han aprovechado más allá de los niveles sustentables. Dos de estos servicios, el agua para consumo humano y para la producción agrícola, junto con la pesquería, así lo demuestran. (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

La sobreexplotación de las aguas superficiales y subterráneas que rompen el equilibrio del agua disponible, el deterioro de los ecosistemas acuáticos, el número creciente de obras de infraestructura (presas) y la contaminación de los cuerpos de agua superficiales<sup>12</sup> y humedales han provocado la pérdida y fragmentación de los hábitats de las especies dulceacuícolas. Por ello, estos ecosistemas también muestran una tendencia a tener una mayor proporción de especies en alguna categoría de riesgo<sup>13</sup> (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Arriaga *et al.*, 2009).

Asimismo, los ecosistemas de agua dulce muestran las peores condiciones de salud de acuerdo con los valores del Índice de Planeta Vivo, que es parte central del *Informe Planeta Vivo*, donde se documenta el cambiante estado de la biodiversidad, los ecosistemas y la demanda de recursos naturales por parte de la gente. (WWF, 2012).

Este índice muestra la tasa de cambio con la que se han modificado las poblaciones de especies en diferentes tipos de ecosistemas. Al comparar los índices globales para ecosistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas desde 1970 a 2008, el valor más bajo lo tienen estos últimos con -37 por ciento.

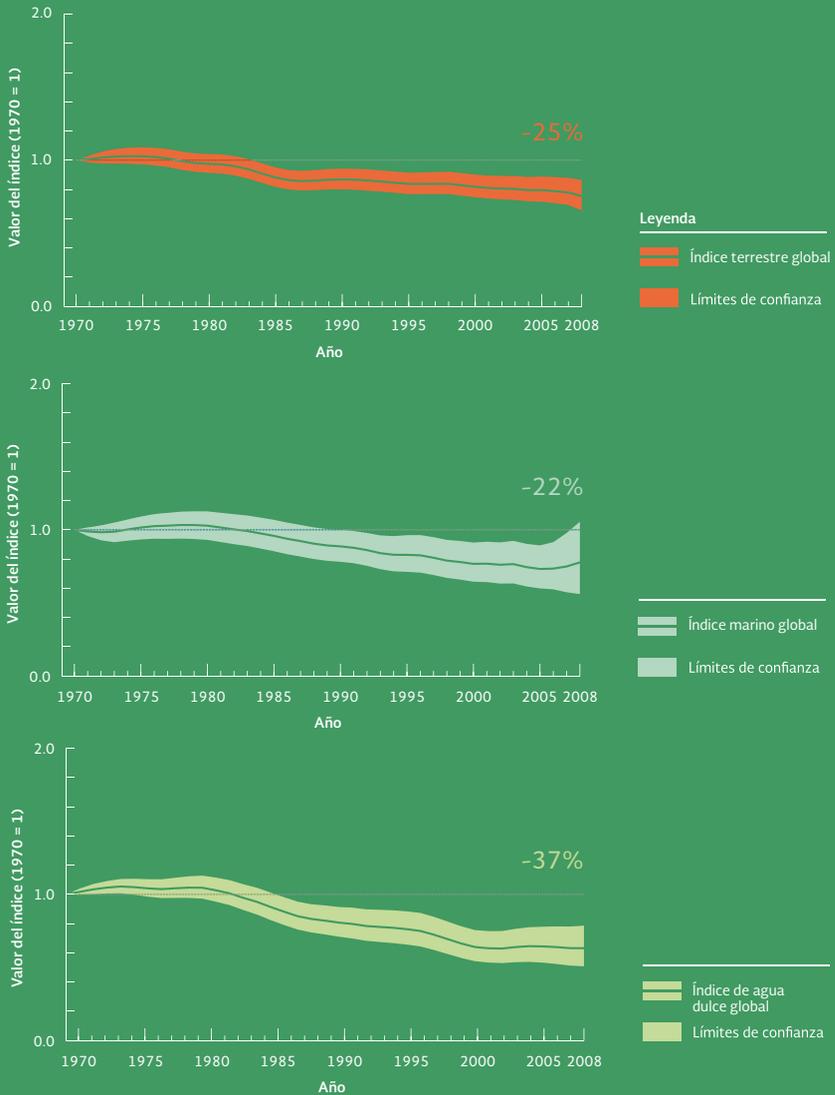


<sup>12</sup> Los cuerpos de agua superficiales son los ríos y los lagos.

<sup>13</sup> Existen cuatro categorías de riesgo: especies sujetas a protección especial, amenazadas, en peligro de extinción y probablemente extintas del medio silvestre. ([www.biodiversidad.gob.mx/especies/catRiesMexico.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/catRiesMexico.html)).

## PROBLEMÁTICA DE LOS RÍOS Y LOS ECOSISTEMAS QUE DEPENDEN DE ELLOS

Comparación de las tasas de cambio de especies por tipo de ecosistemas



Fuente: WWF, 2012.



## 2. ¿QUÉ ES LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA DE LOS RÍOS?

*Al final, conservaremos lo que amamos. Amaremos lo que entendemos.  
Entenderemos lo que nos es enseñado.*

Baba Dioum.

Para que un río conserve su funcionalidad natural, se recupere después de una perturbación y provea de bienes y servicios ecosistémicos debe mantener su integridad ecológica, es decir, su capacidad de soportar y mantener una comunidad de organismos cuya composición de especies, diversidad y organización funcional son comparables con los hábitats naturales dentro de una región particular.

Un río funcional debe esta condición a que a través de él fluye **un régimen de caudales** variable en el tiempo y en el espacio. El régimen de caudales de un río es la manera en que se comporta el agua que fluye por su cauce en función de los cambios climáticos estacionales.

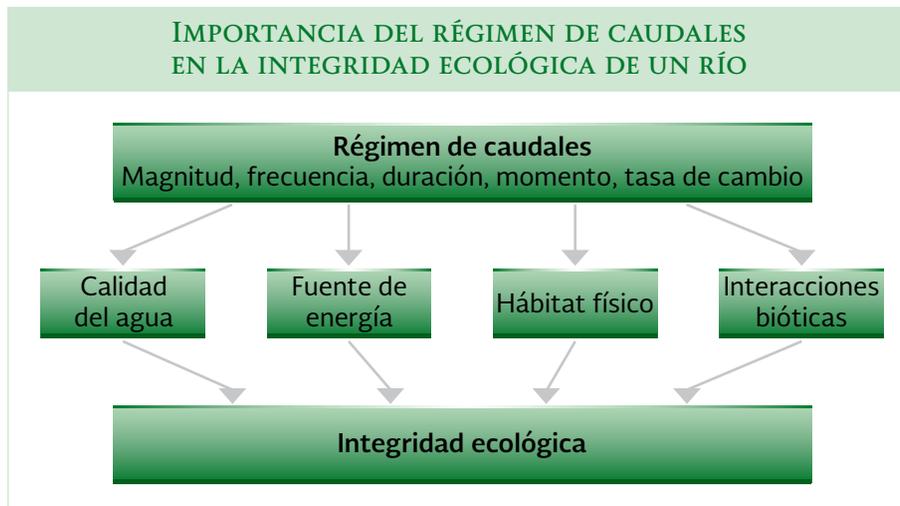
La **variabilidad del régimen** de caudales está definida por cinco componentes (Poff et al., 1997):

- La magnitud o valor del caudal.
- La frecuencia con que ese caudal ocurre en un año o en periodos interanuales.
- La duración o periodo en que se presenta dicho caudal.
- El momento de ocurrencia.
- La tasa de cambio con que ese caudal acontece y posteriormente disminuye.

Un régimen de caudales en un río sano mejora las condiciones de calidad del agua, es fuente de energía para los procesos físicos y ecológicos, crea hábitats para los diferentes estadios de las especies que viven ahí total o parcialmente y favorece las interacciones bióticas<sup>14</sup> y los procesos de migración y dispersión, lo que preserva la integridad ecológica del ecosistema fluvial.

Resulta ahora fundamental analizar y determinar cuál es ese régimen de caudales que conserva la integridad ecológica de un río o una cuenca, en un contexto socioeconómico donde se aprovecha el agua y otros bienes y servicios ecosistémicos para el desarrollo humano, en aras de que éste se logre de manera sustentable.

<sup>14</sup> Son las que se dan entre un organismo y otros de su ecosistema. Las relaciones entre las especies pueden ser muy diversas y varían desde una especie que se alimenta de otra (predación), hasta la de ambas especies viviendo en un beneficio mutuo (mutualismo).



Fuente: Poff et. al., 1997.

### 3. CAUDAL ECOLÓGICO, FUNDAMENTOS Y PRINCIPIOS

*Agua que no has de beber, déjala correr.*

Refrán popular.

El régimen de caudales que se busca para mantener la integridad y, por supuesto, la funcionalidad ecológica de los ríos es el caudal ecológico.

Una definición de **caudal ecológico** dice que es la calidad, cantidad y régimen del caudal de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad. (10th International River Symposium and Environmental Flow Conference, 2007).

Los caudales ecológicos posibilitan la generación de límites que equilibran los múltiples usos del agua con la finalidad de tener un desarrollo sostenible en las cuencas hidrográficas y propiciar así el mantenimiento y mejora de los bienes y servicios ecosistémicos.



Fotografía: Gustavo Ybarra, WWF México.

Hablar de desarrollo sustentable basado en una adecuada gestión del agua es hablar de usos, demandas, eficiencias, pero también de control y límites. La lógica es incuestionable: el agua no es un recurso ilimitado, por lo que hay que poner límites en su uso. En el ámbito de la gestión del agua este **principio de control y límites se apoya en el concepto de los caudales ecológicos** y en buenas prácticas para su implementación.

<b>LA NUEVA FORMA DE ENTENDER LA APLICACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS</b>	
<b>Malas prácticas</b>	<b>Buenas prácticas</b>
Un caudal mínimo mantenido de forma constante.	Un régimen de caudales (es decir, caudales de condiciones mínimas, caudales estacionales y las avenidas) que tenga un significado importante para mantener la dinámica ecológica y geomorfológica del río.
Un objetivo operativo final de la planificación.	Un objetivo operativo de la planificación que permita alcanzar los objetivos ambientales predefinidos.
Un caudal de dilución.	Los caudales ecológicos no deben eximir las responsabilidades de control, reducción y tratamiento de la contaminación.
Los caudales ecológicos son un régimen de caudales igual para todos los cuerpos de agua.	Cada cuerpo de agua es diferente, ya que responde al grado de alteración ejercido sobre su régimen de caudales. Además, se ha observado que a mayor alteración del caudal del río menor grado de condición biológica y viceversa. Los caudales ecológicos se deben ajustar a los objetivos de conservación particulares de los cuerpos de agua. A mayor importancia ecológica o interés de conservación del cuerpo de agua, mayores caudales ecológicos deben asignarse.
Los caudales ecológicos son el agua que se suelta desde las presas.	El conjunto de reglas de gestión (operaciones de la infraestructura hidráulica, limitación de captaciones superficiales y subterráneas, etc.) y las condiciones del medio (descarga de acuíferos, etc.) son los que permiten mantener los caudales ecológicos.

### LA NUEVA FORMA DE ENTENDER LA APLICACIÓN DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS

Malas prácticas	Buenas prácticas
Los caudales ecológicos se refieren exclusivamente a los ríos.	Los caudales ecológicos se extienden a todos los ecosistemas que requieran ciertas cantidades de agua que la sociedad puede intervenir. Se trata del agua necesaria para mantener los ecosistemas insertos en un sistema hidrológico interdependiente, incluyendo ríos, humedales, estuarios, etcétera.
Un caudal impuesto que frena el desarrollo sin considerar aspectos sociales o económicos.	La puesta en práctica de los caudales ecológicos se debe realizar mediante un proceso de participación de los actores interesados sobre la base del conocimiento ambiental, social y económico. Los caudales ecológicos son una herramienta de gestión que permite establecer los límites en el uso del agua para manejarla dentro del margen de la sustentabilidad.

Fuente: WWF, 2009.

En el contexto mexicano, la aplicación de los caudales ecológicos para la gestión integrada de los recursos hídricos<sup>15</sup> no sólo es una determinación técnico-científica del régimen de caudales para la funcionalidad ecológica, es asimismo un instrumento de gestión y administración del agua en una cuenca.

El caudal ecológico es un **instrumento de gestión** porque permite articular aspectos del manejo del territorio, los ecosistemas y el agua, y conciliar en los espacios de participación y gobernanza reconocidos por la Ley de Aguas Nacionales (los Consejos de Cuenca, así como las Comisiones y Comités de Cuenca y Comités Técnicos de Aguas Subterráneas) el uso social y productivo del agua, constituyendo un planteamiento estratégico de manejo integrado de cuencas hidrográficas.

<sup>15</sup> La gestión integrada de los recursos hídricos es un proceso que promueve la gestión y el 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. Dicha gestión está íntimamente vinculada con el desarrollo sustentable. Para la aplicación de esta Ley en relación con este concepto se consideran primordialmente agua y bosque. (LAN, artículo 3, fracción XXIX).

El caudal ecológico es un **instrumento de administración** en razón de que establece acuerdos entre los usuarios y la autoridad en la materia (la Comisión Nacional del Agua), para asignar<sup>16</sup> o concesionar<sup>17</sup> el agua para los diferentes usos y cumplir al mismo tiempo con el régimen deseado de caudales, que conservará, como se ha explicado, la funcionalidad ecológica y la sustentabilidad de los ecosistemas fluviales. Dichos ecosistemas son fuentes de abastecimiento de agua para las actividades humanas.

## PRINCIPIOS DEL CAUDAL ECOLÓGICO

Dos son los principios fundamentales en los que se basa la determinación de caudales ecológicos y con los cuales se pueden establecer los objetivos ambientales que dichos caudales deben cumplir:

### 1. Variabilidad del régimen natural de caudales

El primer principio se refiere al régimen natural de caudales (Poff *et al.*, 1997), que establece que los ríos son inherentemente variables, lo que se manifiesta a través del régimen de caudales. La variabilidad natural del caudal de agua que circula por un cauce de un río organiza y define el ambiente físico y, por ende, al ecosistema y las especies que en él habitan (Bunn y Arthington, 2002). La biodiversidad de los ecosistemas acuáticos se desarrolla en torno a un medio físico variable y cada componente del régimen hidrológico modula funciones ecológicas (ver la figura de la página 19) que se verifican en los ríos, por ejemplo:

- Los caudales bajos de los episodios de estiaje o baja precipitación mantienen la diversidad de hábitats y la conectividad y controlan la presencia y abundancia de las especies.
- Los caudales estacionales ordinarios mantienen condiciones hidrodinámicas (es decir, los procesos físicos-químicos que impactan en el ecosistema por el movimiento del agua en el cauce) adecuadas y mantienen estacionalmente la diversidad de hábitats.
- Los caudales de las avenidas e inundaciones proveen de buenas condiciones fisicoquímicas de agua y sedimento y mejoran las condiciones por la dinámica geomorfológica.<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> La asignación es el título que otorga el Ejecutivo Federal (por conducto de “la Comisión” o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias) a los municipios, a los estados o al Distrito Federal para realizar la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, destinadas a los servicios de agua con carácter público urbano o doméstico. (LAN, artículo 3, fracción VIII).

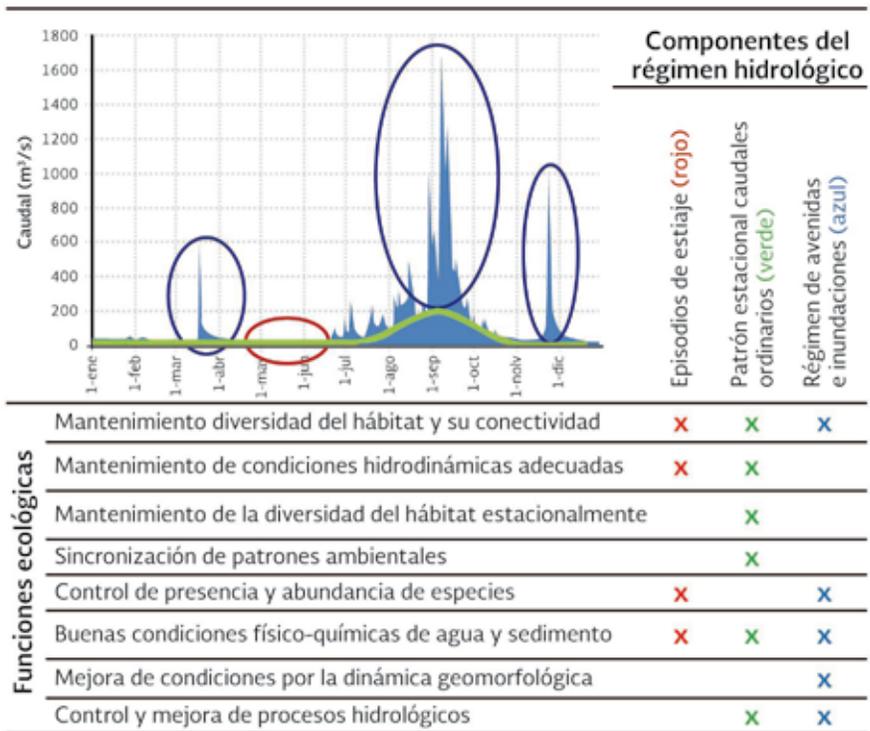
<sup>17</sup> La concesión es el título que otorga el Ejecutivo Federal (por conducto de “la Comisión” o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias) para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes, a las personas físicas o morales de carácter público y privado, excepto los títulos de asignación. (LAN, artículo 3, fracción XIII).

<sup>18</sup> La geomorfología es la rama de la geología y de la geografía que estudia las formas de la superficie terrestre y los procesos que las generan. Ver: [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/113/pdfs/TEMA%209-1%20geomorfologia.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/113/pdfs/TEMA%209-1%20geomorfologia.pdf) Consultado el 25 de marzo de 2014.

En diversas condiciones de precipitación y variabilidad del agua en los cauces, la integridad ecológica de los ecosistemas fluviales depende de su carácter natural variable, como se ha visto anteriormente, y de que los caudales bajo alteración o manejo estén dentro del rango de variabilidad natural de los ríos. (Richter *et al.*, 1997). En este sentido, Richter y colaboradores (2003) concluyen que la integridad ecológica se recupera manejando adecuadamente el régimen de caudales mediante un proceso que denominaron gestión ecológicamente sustentable del agua.

La gran lección de este principio es que para conservar o restaurar la funcionalidad ecológica de un río debe mantenerse o bien recuperarse su régimen natural de caudales.

**EL PARADIGMA DEL RÍO NATURAL.  
RELACIÓN ENTRE LOS COMPONENTES DEL RÉGIMEN DE CAUDALES Y LAS FUNCIONES ECOLÓGICAS EN UN RÍO**



## 2. El gradiente de la condición biológica

El segundo principio es el gradiente de la condición biológica (USEPA, 2005; Davies y Jackson, 2006). Éste fue desarrollado como un modelo para describir la respuesta biológica frente a niveles crecientes de estrés. El modelo divide la condición biológica en seis niveles a lo largo de la curva de estrés-respuesta. Se muestra cómo la curva desciende desde la condición natural de los ríos, donde el factor de estrés es mínimo, hacia condiciones biológicas degradadas que corresponden a elevados niveles de estrés.

La interpretación de este gradiente es que el estado de conservación ecológica de un cuerpo de agua descenderá cuando se incremente la alteración hidrológica, y la biodiversidad responderá primero con la pérdida de especies sensibles, hasta llegar a un estado de dominancia de las especies altamente tolerantes.

Si el gradiente de estrés se debe al uso de agua, entonces en sus niveles bajos pueden tenerse altos caudales que aseguren la mejor condición biológica del río o la cuenca. Cuando el uso del agua llegara a niveles altos, alto nivel de estrés, sólo se podría tener una cantidad mínima de agua, acorde con una condición de degradación del ecosistema acuático.

Por tanto, **diferentes caudales ecológicos proporcionarán diferentes condiciones de conservación**; esto termina con la idea de que los caudales ecológicos son volúmenes mínimos: de acuerdo con el grado de conservación deseado es el caudal ecológico que debe asegurarse. (Ver la figura de la página 21, supra).

Con base en este principio que nos ocupa se pueden definir los objetivos ambientales como ese grado de conservación o **estado ecológico deseado**, que se pretende alcanzar o conservar en la cuenca.

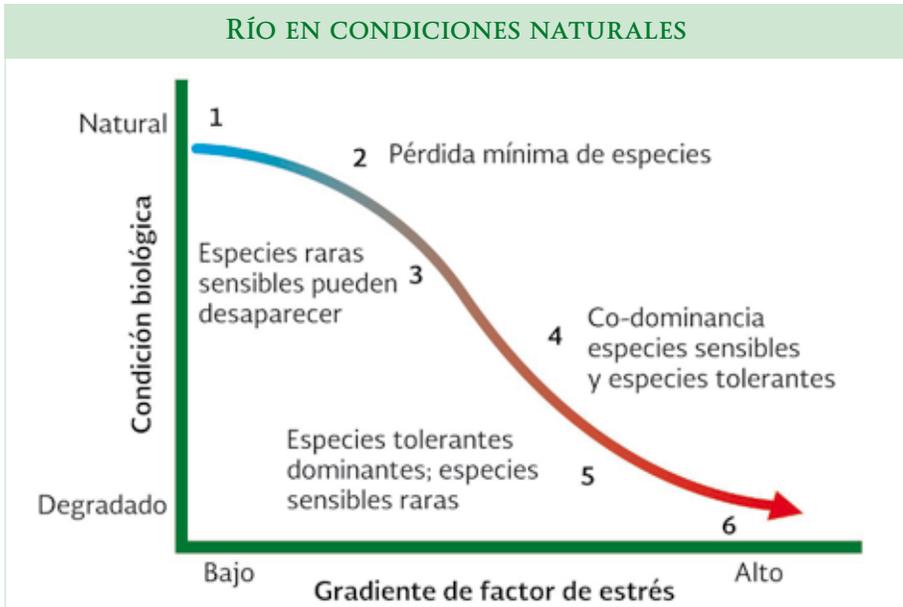
La solución que se empleó en dos casos de cuencas mexicanas, las del río San Pedro-Mezquital y de Copalita-Zimatán-Huatulco, se muestra en la figura de la página 21, infra. (González-Mora et al., 2009)<sup>19</sup>.

Los objetivos ambientales se establecieron al relacionar los niveles de caudales ecológicos requeridos para la conservación en contraste con los niveles de demanda de agua para los diferentes usos. Con este esquema conceptual se definieron cuatro objetivos ambientales, desde el azul que representa ríos naturales con integridad ecológica, hasta el objetivo rojo que, ante la máxima demanda de uso del agua del río o la cuenca, presenta los caudales ecológicos más bajos. Dentro de los objetivos ambientales están los valores de caudal ecológico como porcentajes del escurrimiento medio anual (EMA).<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Para más información ver: [http://awsassets.panda.org/downloads/4\\_memoria\\_taller\\_ce\\_czh.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/4_memoria_taller_ce_czh.pdf), página 10. Consultada el 25 de marzo de 2014.

<sup>20</sup> El escurrimiento medio anual (EMA) es igual al caudal promedio de los 365 días del año, calculado a partir de un número de registros diarios por varios años. (NMX-AA-159-SCFI-2012).



El gradiente de la condición biológica: la curva que baja de una condición 1, un río en condiciones naturales, a una condición 6, un río degradado con altos factores de estrés.

### CRITERIOS PARA ESTABLECER CAUDALES ECOLÓGICOS EN FUNCIÓN DEL INTERÉS DE CONSERVACIÓN Y DEL GRADO DE UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Nivel de caudales ecológicos requeridos para conservación	Alto	Integridad hidrológica (>60%)	60%	30%
	Medio	60%	30%	10%
	Bajo	30%	10%	Máximo uso del potencial hidrológico (<10%)
		Bajo	Medio	Alto
		Nivel de demandas para satisfacción de usos		



## 4. LA NORMA MEXICANA DE CAUDAL ECOLÓGICO

*Olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno mismo.*

Jacques Cousteau.

De los trabajos sobre caudal ecológico culminados en 2010 por la **Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. (FGRA)** ([www.wwf.org.mx/que\\_hacemos/agua/reservas\\_de\\_agua/](http://www.wwf.org.mx/que_hacemos/agua/reservas_de_agua/)) se obtuvo la información base para retomar el proceso de establecer una norma mexicana que definiera los métodos para su determinación.

Las tres experiencias de la Alianza (en la parte alta de la cuenca del río Conchos, en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco y en la cuenca del río San Pedro Mezquital) reunieron en sus procesos de discusión y consensos a más de 100 especialistas de 27 instituciones, quienes determinaron los caudales ecológico de 33 sitios con el método holístico de **Construcción por bloques** (*Building Block Methodology*), (King et al., 2000).

El proceso de elaboración de la norma fue intenso y para este fin se convocó la participación específica de 11 instituciones, y culminó el 20 de septiembre de 2012 con la publicación, en el Diario Oficial de la Federación, de la declaratoria de vigencia de la NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas.

### LA NORMA MEXICANA DE CAUDAL ECOLÓGICO

La NMX-AA-159-SCFI-2012 precisa, entre otras cosas, que:

La determinación del caudal ecológico se deberá aplicar a corrientes de cada cuenca hidrológica y cuerpos de agua, ya que se requiere para poder acotar la extracción de las aguas nacionales, para establecer zonas de veda o para declarar la reserva de agua.

De esta manera el caudal ecológico se puede incorporar a la toma de decisiones para otorgar o negar concesiones y asignaciones de agua, así como permisos de descarga, dentro de los lineamientos que marque la Autoridad del Agua.

Siendo una norma voluntaria, su campo de aplicación la vincula con importantes procedimientos de gestión y administración del agua del país.



## LA NORMA MEXICANA DE CAUDAL ECOLÓGICO

Se aplica a todos aquellos que realicen estudios para solicitar asignaciones<sup>21</sup>, construir infraestructura y realizar trasvases entre cuencas<sup>22</sup>, similares a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). También se aplica para todas las corrientes o cuerpos de agua, cuyos acuerdos de disponibilidad del agua publicados en el Diario Oficial de la Federación no consideren un caudal para la conservación de los ecosistemas acuáticos.

Para la correcta aplicación de la NMX-AA-159-SCFI-2012 deben considerarse dos normas obligatorias:

- La NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua – Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2002.
- La NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2010.

Para la determinación del régimen de caudal ecológico cualquier *metodología* será *válida* si:

- Permite entender el significado ecológico de cada componente del régimen hidrológico natural (ver *Principios del caudal ecológico, 1. Variabilidad del régimen natural de caudales*, en este cuaderno) y genera propuestas para su conservación o restablecimiento total o parcial, desde el punto de vista funcional.
- Las propuestas consideran el tiempo que tarda en cambiar en forma natural los caudales de agua en los ríos o intervalo natural de variabilidad hidrológica, tanto en las condiciones ordinarias como en el régimen de perturbaciones.
- Reconoce que un ecosistema acuático modifica sus atributos como respuesta al aumento de los niveles de estrés y, por tanto, permite ajustar las propuestas de caudales ecológicos a los objetivos ambientales o de conservación del río. El resultado del caudal ecológico deberá ser congruente con los objetivos de conservación a partir de los cuales fueron identificadas como áreas prioritarias de conservación.

<sup>21</sup> Ver nota al pie 16 (página 18) de este cuaderno.

<sup>22</sup> Los trasvases son obras hidráulicas que buscan incrementar la disponibilidad de agua en una población adicionando agua desde una cuenca vecina (<http://es.wikipedia.org/wiki/Trasvase>). Lo anterior supone una infraestructura conductora, la cual puede extenderse varios kilómetros atravesando amplios territorios. Por ello se deberá estudiar la ubicación, y la infraestructura deberá tener características técnicas específicas, de modo tal que ofrezca el menor impacto posible y evite así conflictos potenciales. ([www.aguaymedioambiente.cl/desalacion.html](http://www.aguaymedioambiente.cl/desalacion.html)).



## METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

Los métodos pueden ser clasificados a grandes rasgos en los siguientes tipos:

- **Métodos hidrológicos.** Considerados los métodos de cálculo más simples, se basan en el estudio de series hidrológicas<sup>23</sup> (a escala diaria, mensual o anual) mediante operaciones aritméticas más o menos complejas. Se trata de identificar parámetros hidrológicos con significado ecológico y geomorfológico.<sup>24</sup>
- **Métodos hidráulicos.** Definen el caudal mínimo a partir del estudio de la relación entre algún parámetro hidráulico del río (perímetro mojado, velocidad, profundidad, etc.) y los caudales que circulan por el río.
- **Métodos hidrobiológicos.** Analizan las respuestas de determinadas especies a los cambios de caudal. Se denominan también métodos de simulación de hábitat, y definen los caudales ecológicos a partir de un estudio exhaustivo de todos los factores y condicionantes del hábitat de una especie representativa del ecosistema fluvial.
- **Métodos holísticos.** Se trata de una aproximación global al sistema fluvial que incluye a todas sus formas de vida, así como al conjunto de procesos biológicos, físicos, químicos y sociales derivados de su propia organización estructural, funcional, espacial y temporal.

Se han descrito más de 200 métodos en todo el mundo para determinar los caudales ecológicos. La sencillez de cálculo hace que las aproximaciones hidrológicas sean las más utilizadas, mientras que los métodos de simulación del hábitat son ampliamente usados en algunos países del hemisferio norte.

Aunque a inicios de los años 90 del siglo XX los métodos holísticos no eran formalmente reconocidos, en la actualidad sus principios y métodos están emergiendo con rapidez en el ámbito internacional, siendo las aproximaciones mejor consideradas en la bibliografía especializada. (WWF, 2009).

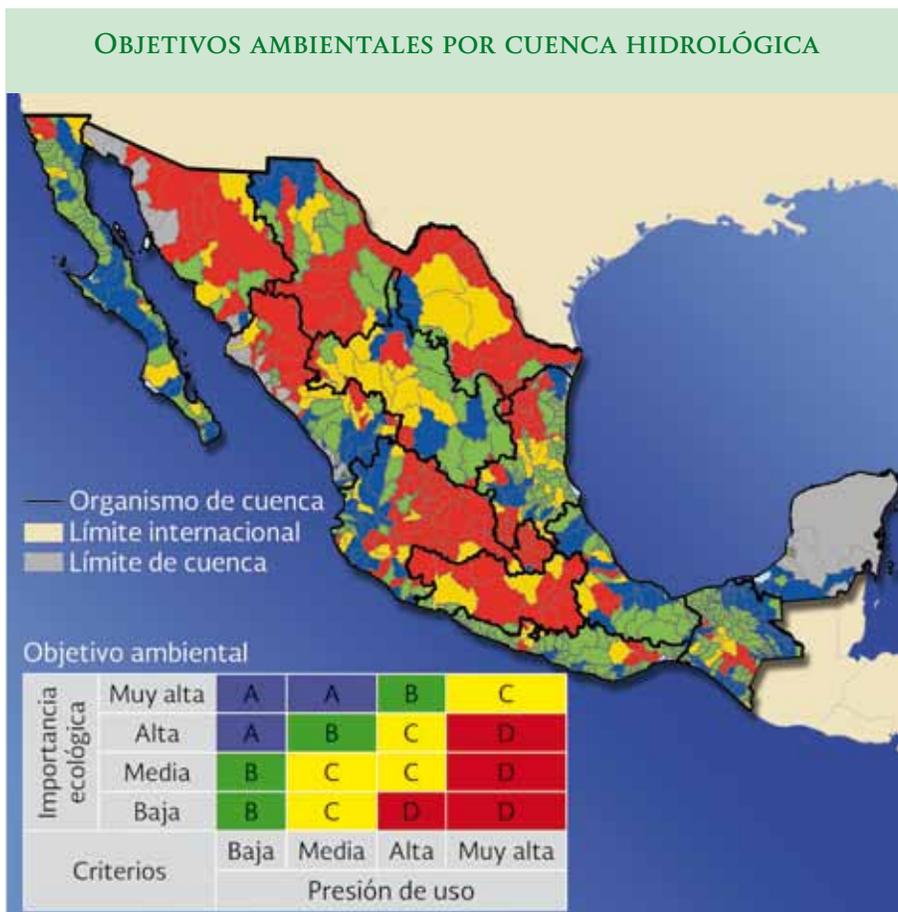


<sup>23</sup> Datos históricos de la medición de los caudales y la fecha en que fueron medidos.

<sup>24</sup> Se ha mencionado que la variación de caudales modifica el ambiente físico y las respuestas ecológicas (ver *Principios del caudal ecológico*, 1. *Variabilidad del régimen natural de caudales*, en este cuaderno).

La norma mexicana de caudal ecológico es **única en el mundo**. Es una gran aportación y ejemplo mundial para la conservación de los ecosistemas acuáticos y otros relacionados con ellos, así como para la preservación de los bienes y servicios ecosistémicos que proveen.

La norma es adaptable a las condiciones y propósitos de diferentes niveles de gestión o de proyectos. Puede emplearse a niveles de planificación hídrica anual o para estudios muy detallados requeridos para la gestión mensual o incluso diaria de los caudales. Permite muy claramente obtener los objetivos ambientales de las cuencas hidrológicas de México evaluando dos criterios (la importancia ecológica y la presión de uso del agua) y elimina la parálisis que significaba definir la importancia ecológica mediante estudios largos y costosos.



### DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS AMBIENTALES EN FUNCIÓN DE LA IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y LA PRESIÓN DE USO

#### Importancia ecológica

- ANP
- Prioridades de conservación
- Sitios Ramsar

#### Presión de uso del agua

- Concesiones y asignaciones entre los usuarios

Objetivo ambiental

La norma establece formas prácticas y bien sustentadas para calcular el caudal ecológico mediante **métodos hidrológicos**, ya sea con las recomendaciones de caudales ecológicos en el Apéndice normativo C o los valores de referencia en el Apéndice normativo D.

Particularmente el Apéndice D, titulado “Metodología hidrológica para determinar el régimen de caudal ecológico en corrientes o cuerpos de agua nacionales a nivel de cuenca hidrológica. Aproximación metodológica propuesta por la Alianza WWF–Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.”, permite obtener resultados rápidamente una vez realizado el análisis de la serie histórica de datos hidrológicos y la determinación del tipo de corriente (permanente o temporal).

Este último aspecto no es trivial, ya que en México existe una gran variedad de ríos y una buena proporción de ellos son corrientes temporales que deben ser tratados de manera particular y no usar los mismos criterios que en los ríos de corriente permanente. (Ver la figura siguiente).

También en ese apéndice se propone el análisis hidrológico detallado que estudia el régimen anual de caudales ordinarios estacionales para las condiciones hidrológicas húmedas, medias, seca y muy seca.

Esto tiene implicaciones importantes en el planteamiento de escenarios para la gestión de los caudales dependiendo de las condiciones climáticas interanuales.

### VALORES DE REFERENCIA PARA ASIGNAR UN VOLUMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO CONFORME A LOS OBJETIVOS AMBIENTALES

Objetivo ambiental	Estado de conservación	Qec (% EMA)	
		Corrientes permanentes	Corrientes temporales
A	Muy bueno	>40	>20
B	Bueno	25-40	15-20
C	Moderado	15-25	10-15
D	Deficiente	5-15	5-10



## 5. EL AGUA COMO DERECHO HUMANO Y BIEN COMÚN: SU REGULACIÓN SUSTENTABLE

***Reconocer formalmente un derecho humano al agua y expresar la voluntad de dar contenido y hacer efectivo dicho derecho puede ser una manera de estimular a la comunidad internacional y a los gobiernos para que redoblen sus esfuerzos para satisfacer las necesidades humanas básicas y para la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio.***

IUCN, PNUD.

Los caudales ecológicos no sólo actúan como un límite en los usos del agua para alcanzar equilibrios, sino también para asegurar el derecho humano al agua y la regulación de un bien común.

Las modificaciones al artículo cuarto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos destacan que “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines”. (DOF, 2012).<sup>25</sup>

Si los caudales ecológicos se determinan y afectan los estudios de disponibilidad de agua de manera tal que estos volúmenes queden resguardados y no se destinen a asignaciones o concesiones para el uso de agua, se puede entender que en forma estratégica se están conservando los procesos y las funciones que permiten la sostenibilidad de las fuentes naturales de agua.

Si además, al implementar los caudales ecológicos se requiere la instrumentación eficaz de programas de manejo y gestión integrada de cuencas hidrográficas, todas las personas podrán ejercer seguramente su derecho al acceso al agua para consumo personal y doméstico de la manera expresada en el párrafo constitucional citado. Esa agua suficiente, salubre, aceptable y asequible será la que fluya como caudal ecológico por los ríos y cuerpos de agua beneficiando a los ecosistemas y al ser humano.

---

<sup>25</sup> Párrafo adicionado el 8 de febrero.

Por otra parte, **el agua es considerada como el bien común<sup>26</sup> por excelencia**. El agua que es para beneficio de todos, que la comunidad respeta y participa en su cuidado, que no tiene precio sino un valor que llega hasta ciertas consideraciones místicas, es el bien común por antonomasia. Este concepto enlaza con la idea del patrimonio de las comunidades y de los pueblos originales o con el ideal de patrimonio natural de los habitantes de una cuenca.

Sin embargo, la tragedia de los comunes se da en las sociedades porque cada individuo incrementa el uso del bien común ilimitadamente en un mundo limitado. Cada quien persigue sus óptimos intereses en una sociedad que cree en la libertad de los bienes comunes. Esta libertad lleva a todos a la ruina. (Hardin, 1992).

Si el agua es un bien común y nadie regula el uso ilimitado, más temprano que tarde se agotarán sus fuentes de abastecimiento y la comunidad se colapsará.

**Recuperar el agua como un bien común significa** reencontrar el saber de la comunidad e intercambiar conocimientos, aplicar soluciones alternativas a los sistemas tradicionales de manejo del agua en las comunidades y, sobre todo, retomar los regímenes hidrológicos naturales, preservar los ecosistemas (infraestructura natural) y sus funciones, y establecer bajo amplios consensos los límites y tipo de gestión que permitan reservar los volúmenes necesarios para cumplir con las necesidades humanas conservando la riqueza natural (González- Mora, en prensa), es decir, **una gestión basada en el caudal ecológico**.

El caudal ecológico proporciona los criterios para definir límites y establecer la regulación y el control de los aprovechamientos del agua -el bien común- para hacer sustentable su uso, siempre y cuando se logren los consensos necesarios en los espacios de gobernanza del agua establecidos en la ley.

---

<sup>26</sup> Es el principio formador de la sociedad y el fin al cual debe tender en su dimensión natural-temporal. Se distingue del bien individual y del bien público, que es el bien de todos en tanto que conjunto social. El bien común es el bien de los individuos en tanto que miembros de una comunidad, o sea el conjunto de los valores que los individuos necesitan pero que sólo pueden buscar y lograr en forma conjunta, en una relación social regida por la concordia. (Arnoletto, 2007).

## 6. LAS RESERVAS DE AGUA PARA LA PROTECCIÓN ECOLÓGICA

*La tierra no es herencia de nuestros padres, sino préstamo de nuestros hijos.*

Pensamiento indoamericano.

Una vez establecidos los métodos para la determinación del caudal ecológico y la generación de resultados en las cuencas mexicanas (**la solución técnica**) se buscó la manera de implementar esta medida de gestión sustentable del agua en el marco normativo vigente para que no quedara como simple ejercicio académico.

En la Ley de Aguas Nacionales se establece que para la protección ecológica, que incluye la conservación o restauración de ecosistemas vitales, y para la preservación de los humedales, **la solución legal** es la declaración o decreto de reservas totales o parciales de aguas nacionales o reservas ecológicas. Este acto de autoridad hace valer los argumentos vertidos en el apartado anterior respecto al derecho humano al agua y la regulación de un bien común para su uso sustentable.

El artículo 41 de esa Ley establece que el Ejecutivo Federal podrá declarar mediante decreto la reserva total o parcial de las aguas nacionales con el propósito de “garantizar los flujos mínimos para la protección ecológica, incluyendo la conservación o restauración de ecosistemas vitales”.

Por su parte, el artículo 86 bis 1 señala la atribución de la Comisión Nacional del Agua para “... promover las reservas de aguas nacionales o la reserva ecológica conforme a la ley en la materia, para la preservación de los humedales”.

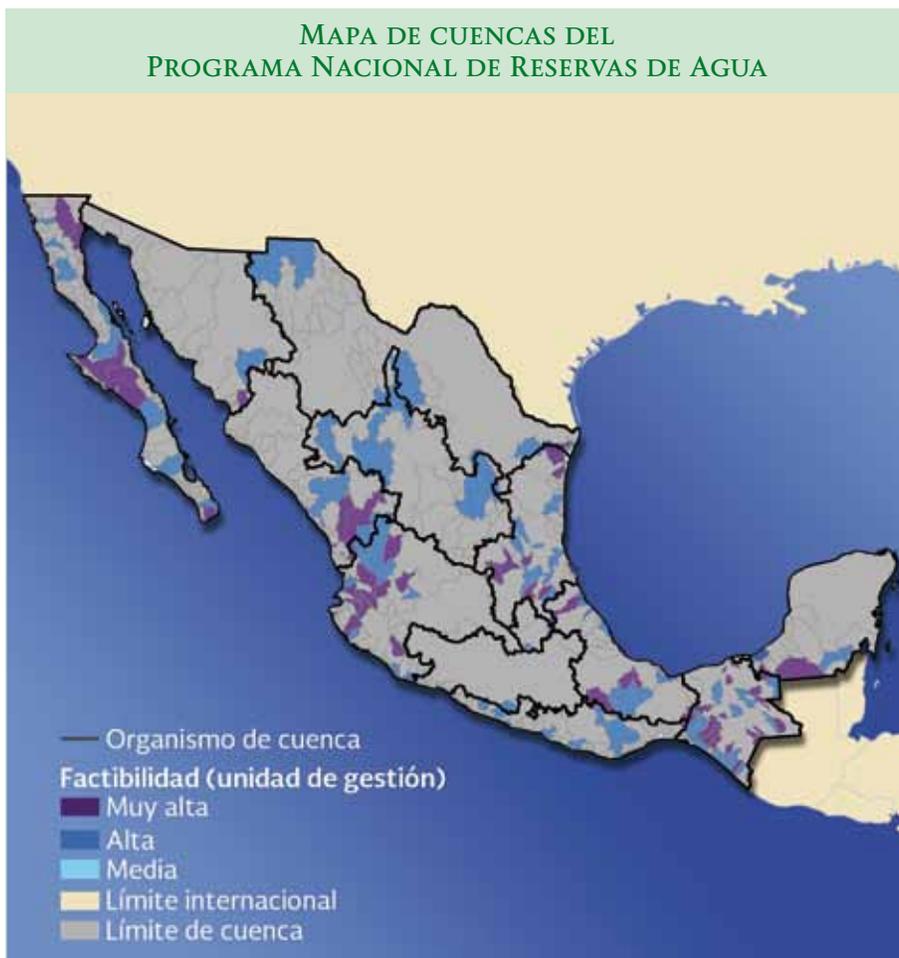
A fin de impulsar las reservas de agua se creó el **Programa Nacional de Reservas de Agua** (PNRA), iniciativa público-privada<sup>27</sup> de gran alcance para el fortalecimiento del manejo del agua para la conservación y la adaptación al cambio climático, fundamentada en el modelo desarrollado por la Alianza WWF-FGRA y otros socios desde 2005, y cuyos objetivos son:

- Establecer un sistema nacional de reservas de agua.
- Demostrar sus beneficios como instrumento garante de la funcionalidad del ciclo hidrológico y sus servicios ambientales.
- Fortalecer la aplicación de la norma mexicana de caudal ecológico en el país.

<sup>27</sup> Los principales socios del PNRA son la Comisión Nacional del Agua, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, la WWF, la FGRA y el Banco Interamericano de Desarrollo.

El impacto deseado del PNRA en la política pública nacional para la conservación es que cada área natural protegida (ANP) y cada humedal de importancia internacional (sitio Ramsar) o de alto valor para la conservación tenga asegurado su propia reserva de agua basada en la determinación de caudales ecológicos.

La CONAGUA y la Alianza WWF-FGRA lideraron el estudio para establecer la factibilidad de las cuencas hidrológicas de México, a efecto de implementar las reservas de agua. Los resultados muestran que 189 cuencas son factibles de ser decretadas si se completan los estudios necesarios y se tendría agua para la protección ecológica de 55 sitios Ramsar (41 por ciento del total) y para 97 ANP (50 por ciento del total). (CONAGUA, 2011).



Actualmente, en el marco del PNRA:

- Se han concluido los estudios técnicos justificativos y los estudios costo beneficio previos a la manifestación de impacto regulatorio de las cuencas de los ríos San Pedro-Mezquital (Durango-Nayarit-Zacatecas) y Copalita, Zimatán y Coyula (Oaxaca).
- Y se elaboran los estudios correspondientes para las cuencas del Papaloapan (Oaxaca-Veracruz), la zona de Chamela-Cuixmala-Purificación (Jalisco) y la zona de la Sierra Gorda (San Luis Potosí-Querétaro-Guanajuato).

Estas serán las **primeras cinco reservas de agua en el país**.

Las reservas de agua es un tema de **vanguardia en la agenda ambiental internacional** como estrategia de adaptación al cambio climático y se ha dado a conocer en el proceso latinoamericano de discusión denominado Diálogos por el agua, en el 6° Foro Mundial del Agua, y en la más reciente COP de la Convención Ramsar, donde se impulsa una resolución que establezca que las Partes deben garantizar el agua dulce para la conservación de los humedales.

RESERVAS DE AGUA PARA LA PROTECCIÓN ECOLÓGICA  
DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS COPALITA, ZIMATÁN  
Y COYULA, OAXACA. (GONZÁLEZ-MORA, 2013).

Las cuencas de los ríos Copalita, Zimatán y Coyula (CZC) forman un complejo hidrológico importante en la costa de Oaxaca por su biodiversidad. Las dos primeras han sido identificadas como cuencas factibles para las reservas potenciales de agua (RPA).

Con base en el trabajo de evaluación de caudal ecológico realizado por la Alianza WWF-FGRA, con el método holístico de Construcción por bloques, se obtuvieron los volúmenes anuales necesarios para mantener la funcionalidad ecológica de los tres ríos, considerando 10 sitios representativos. Los resultados permiten incorporar al río Zimatán en un estudio técnico justificativo que fundamenta la petición de reserva de agua (artículo 41 de la Ley de Aguas Nacionales) para las tres cuencas, en cinco unidades de gestión hidrológica, reconocidas por la CONAGUA.

Con esta reserva se asegurarían  $587 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  para Copalita,  $176 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  para Coyula y  $112 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  para Zimatán, lo que da un total de  $875 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  para la protección ecológica de las cuencas. Estos volúmenes se obtuvieron empleando el caudal ecológico promedio y garantizarán la provisión de bienes y servicios ecosistémicos para sus habitantes y los 300 mil visitantes del centro turístico Bahías de Huatulco.

RESERVAS DE AGUA PARA LA PROTECCIÓN ECOLÓGICA DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS COPALITA, ZIMATÁN Y COYULA, OAXACA. (GONZÁLEZ-MORA, 2013).

Ubicación del complejo hidrológico CZC.

Cuencas con ríos permanentes: A= Copalita, B= Coyula y C= Zimatán



Sitios de estudio de caudal ecológico



RESERVAS DE AGUA PARA LA PROTECCIÓN ECOLÓGICA  
DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS COPALITA, ZIMATÁN  
Y COYULA, OAXACA. (GONZÁLEZ-MORA, 2013).

Propuesta de reserva de agua basada en caudales ecológicos para las cuencas de los ríos Copalita, Zimatán y Coyula.

Caudal ecológico como porcentaje del escurrimiento medio anual	Copalita		Zimatán		Coyula
	Río Copalita 1	Río Copalita 2	Río Zimatán 1	Río Zimatán 2	Río Coyula
Año seco	42.7%	43.9%	42.6%	44.4%	32.9%
Año húmedo	87.4%	87.2%	80.6%	87.0%	70.8%
Promedio	65.1%	65.6%	61.6%	65.7%	51.9%

Resultados del estudio de disponibilidad considerando los caudales ecológicos para años promedio en los ríos Copalita, Zimatán y Coyula.

Cuenca hidrológica	Escurrecimiento medio anual <sup>28</sup> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Caudal ecológico anual (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Disponibilidad anual restando el caudal ecológico (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Río Copalita 1	868.35	565.54	302.81
Río Copalita 2	895.46	587.16	308.30
Río Coyula	338.97	175.79	163.18
Río Zimatán 1	73.10	45.04	28.06
Río Zimatán 2	169.77	111.59	58.18

Nota: En los cinco casos se cuenta con disponibilidad.

<sup>28</sup> Volúmenes obtenidos del Diario Oficial de la Federación del 8 de junio de 2007. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas de los ríos San Francisco, Río Grande, Río Manialtepec, Río Colotepec 1, Río Colotepec 2, Río Cozoaltepec 1, Río Cozoaltepec 2, Río Tonameca 1, Río Tonameca 2, Río Copalita 1, Río Copalita 2, Río Coyula, Río Zimatán 1, Río Zimatán 2, Río Ayuta 1, Río Ayuta 2, Río Astata 1, Río Astata 2 y Río Mazatán, mismos que forman parte de la región hidrológica número 21 denominada Costa de Oaxaca.



## 7. LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS HUMEDALES

*El agua es el elemento y principio de las cosas.*

Tales de Mileto.

Como se ha mencionado, el caudal ecológico y la conservación y recuperación de los bienes y servicios ecosistémicos garantizan la conectividad a lo largo de la cuenca y el soporte de múltiples bienes y servicios ecosistémicos que ofrece la conservación de los ecosistemas fluviales a la sociedad. Estos servicios son, entre otros, el almacenamiento, la conducción y el abastecimiento de agua, la mejora de la calidad del agua, la regulación del clima y la protección contra eventos extremos.

Es indudable que un río funcional lleva beneficios a otros ecosistemas, especialmente a los humedales, cuando acarrea materiales y energía en su caudal y éste desciende cuenca abajo por su dimensión longitudinal.

Los humedales, por su intrínseca relación con el agua, también requieren de un régimen de aportes de agua que los mantengan funcionales. En el ámbito de la gestión del agua, el principio de uso racional se apoya en los conceptos de caudales ecológicos en el caso de los ríos y de **necesidades hídricas en el de los humedales**, entendidos como una reserva de agua para los sistemas naturales de tal forma que sigan conservando sus valores naturales, proporcionando al mismo tiempo otras funciones y servicios útiles para la sociedad. (Sánchez y Viñals, 2012).

La variación espacial y temporal de la profundidad de las aguas, el régimen de circulación de las mismas, la calidad de los recursos hídricos, así como la frecuencia y duración de las inundaciones suelen ser factores ambientales muy importantes que determinan las características ecológicas de un humedal, su estructura y funcionamiento.

Así pues, para poder conservar las características ecológicas es necesario garantizar los aportes hídricos y un régimen hidrológico que deberá acercarse a su dinámica natural en tanto se desee aproximar el humedal a las características ecológicas naturales.

El agua dulce que fluye hasta los humedales costeros estuarinos y marinos no es agua que se pierde; su función es vital para la integridad de estos ecosistemas, por lo que esta idea debe ser erradicada de quienes manejan las cuencas y la zona costera.

## EL AGUA DE LOS RÍOS NO SE PIERDE EN EL MAR

La función natural de una cuenca hidrográfica es drenar el agua que se precipita en la misma. En su recorrido el agua transporta numerosas formas de vida, al mismo tiempo que se enriquece de nutrientes y sedimentos.

Por esta razón las concentraciones de nutrientes en las aguas fluviales son muy superiores a las propias del mar. La menor densidad del agua dulce favorece su expansión por la superficie marina, mientras que el fitoplancton en presencia de luz aprovecha estos nutrientes rápidamente. De este modo se inicia una cadena trófica alimentada por el río, que alcanzará a todos los niveles de las poblaciones marinas. La *productividad pesquera* es una muestra de este fenómeno.

Por otra parte, la erosión en una cuenca produce la exportación de sedimentos al mar, que son distribuidos en las playas mediante las mareas y corrientes. Esta relación río-costa se ha mantenido a lo largo de siglos, dando lugar a la configuración costera que actualmente conocemos. La construcción de presas corta el transporte de sedimentos, contribuyendo al balance negativo de playas y deltas.

En este sentido, los caudales ecológicos juegan un papel relevante para especificar los regímenes de caudales y por consiguiente de sedimentos y nutrientes necesarios para la conservación de sistemas costeros altamente productivos y con alta potencialidad turística, como las lagunas costeras, caso de Marismas Nacionales en la desembocadura del río San Pedro-Mezquitil o los corales de Huatulco en Copalita-Zimatán-Huatulco.

Tanto los caudales ecológicos en las cuencas, como el cumplimiento de las necesidades hídricas de estos importantes humedales, ambos sitios Ramsar, los mantendrá en condiciones adecuadas de conservación. Si estos humedales se conservan, lo mismo que la provisión de sus bienes y servicios ecosistémicos, la derrama económica continuará siendo regionalmente significativa y considerablemente mayor que si el agua se destinará para otros usos productivos.

## Manglares de Marismas Nacionales



Fotografía:  
Jaime Rojo, WWF México.



## CONCLUSIONES

México es líder en América Latina en los temas de caudal ecológico y reservas de agua para la protección ecológica y un ejemplo internacional por su norma que establece los procedimientos para la determinación del caudal ecológico en cuencas.

### EL CAUDAL ECOLÓGICO:

- Asegura el agua para la conservación de los ecosistemas fluviales, su integridad y funcionalidad.
- Asegura la sostenibilidad de los bienes y servicios ecosistémicos de los cuales depende el desarrollo social, cultural y económico de las comunidades locales y a lo largo de la cuenca.
- Es un instrumento valioso e innovador para la gestión y administración del agua, en el marco del manejo integrado de las cuencas hidrográficas.
- Define, en el ámbito legal vigente, el agua que es:
  - Un derecho humano constitucional.
  - Patrimonio natural.
  - Patrimonio de las comunidades y de los pueblos originales.
- Representa un límite en los usos del agua para alcanzar equilibrios. Límite de las extracciones de agua para la sostenibilidad y límite consensuado en los espacios de gobernanza.
- Mantendrá los ríos fluyendo y lagos, humedales y acuíferos hacia el equilibrio (condición basada en el régimen hidrológico natural), lo que permitirá la sustentabilidad y la resiliencia de los ecosistemas y de las comunidades locales ante la variación climática de nuestros tiempos

### LAS RESERVAS DE AGUA:

- Son una solución legal para implementar los caudales ecológicos y separan los volúmenes sustentables de agua disponible tanto para su asignación como para concesión.
- Es una reconocida estrategia de adaptación ante el cambio climático.

Los humedales, importantes ecosistemas por su potencial productivo y turístico, tienen también requerimiento de regímenes de agua denominados necesidades hídricas. Humedales conservados, con el aporte necesario de agua, posibilitarán la realización de actividades humanas como el turismo y la pesca, cuya contribución económica seguirá siendo muy importante para muchas regiones del país y mayor que si el agua se destina a otros usos productivos.



## FUENTES

- Arnoletto, E.J. (2007). *Glosario de conceptos políticos usuales*. Ed. Eumed.net. En: [www.eumed.net/dices/listado.php?dic=3](http://www.eumed.net/dices/listado.php?dic=3). Consultado el 26 de septiembre de 2013.
- Arriaga, L., V. Aguilar y J.M. Espinoza (2009). “Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad”, en: *Capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio*, Vol. II. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 433-457.
- Bunn, S.E. y A.H. Arthington (2002). “Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity”, en: *Environ Manage* 30: pp. 492–507.
- Caballero, C. (s/f). “Notas de clase de Ciencias de la Tierra”. Facultad de Ciencias/UNAM. En: <http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/AmbientesFluvioAluv.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (2011). *Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México*. México: SEMARNAT/ CONAGUA, 85 pp.
- Cotler, H., A. Galindo, I.D. González, R.F. Pineda y E. Ríos (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Cuadernos de Divulgación Ambiental, México: SEMARNAT/CECADESU, 32 pp. En: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>.
- Davies, S.P. y S.K Jackson (2006). “The biological condition gradient: a descriptive model for interpreting change in aquatic ecosystems”, en: *Ecological Applications* 16 (4): pp. 1251-1266.
- González-Mora, I.D., G. de la Lanza-Espino y R. Sánchez-Navarro (2009). “Memoria del taller. Propuesta de caudal ecológico en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco”, en: *Manejo del agua en cuencas hidrográficas: desarrollo de nuevos modelos en México*. México: WWF/Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P., 19 pp.
- González-Mora, I.D. (2013). “Reservas de agua para la protección ecológica de las cuencas de los ríos Copalita, Coyula y Zimatán, Oaxaca”, en: *Memorias del III Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Artículo 102, Morelia, Michoacán.
- “El agua de todos: cómo recuperar el bien común”, en: *Memorias del XXXIV Coloquio de Antropología e Historia Regionales. El valor de lo rural. Su apropiación social, simbólica y material*. Morelia: El Colegio de Michoacán. En prensa.

- Hardin, G. (1992). “La tragedia de los espacios colectivos”, en: H. E. Daly (Ed.), *Economía, ecología y ética: ensayos hacia una economía en estado estacionario*. México: Fondo de Cultura Económica, pp. 111-124.
- King J., R. Tharme y M. DeVilliers (2000). *Environmental flow assessments for rivers: manual for the building block methodology*. Pretoria, South Africa: WRC, 340 pp.
- LAN: Ley de Aguas Nacionales. En: [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf)
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. Washington D.C.: World Resources Institute, 86 pp.
- Moreno-Casasola, P. (2012). *Los humedales en México. Oportunidades para la sociedad*. Cuadernos de Divulgación Ambiental, México: SEMARNAT/CECADESU, 24 pp. En: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Humedales.pdf>
- NMX-AA-159-SCFI-2012. Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. En: *Diario Oficial de la Federación*, 20 de septiembre de 2012.
- NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua - Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. En: *Diario Oficial de la Federación*, 17 de abril de 2002.
- NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. En: *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre de 2010.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks y J.C. Stromberg (1997). “The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration”, en: *BioScience* 47 (11): pp. 769-784.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, R. Wiginton y D.P. Braun (1997). “How much water does a river need?”, en: *Freshwater Biology* 37: pp. 231-249.
- Richter, B.D., R. Mathews, D.L. Harrison y R. Wiginton (2003). “Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity”, en: *Ecological Applications* 13(1): pp. 206-224.
- Sabater, S., J.C. Donato, A. Georgi y A. Elosegi (2009). “El río como ecosistema”, en: A. Elosegi y S. Sabater (Eds.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA, pp. 23-37.

- Sánchez, R. y M.J. Viñals (2012). *Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español*. Ed. Fundación Biodiversidad, 68 pp.
- USEPA (2005). *Use of biological information to better define designated aquatic life uses in state and tribal water quality standards: tiered aquatic life uses*.
- WWF (2009). *Caudales ecológicos, conceptos y recomendaciones*. España: WWF.
- ----- (2012). *Informe planeta vivo 2012*. Gland, Suiza: WWF Internacional, 160 pp.
- *10<sup>th</sup> International River Symposium and Environmental Flow Conference*. Brisbane, Australia, septiembre, 2007.

**Ríos libres y vivos**, introducción al caudal ecológico y reservas de agua se imprimió en 2014, en los talleres gráficos de XXXXXXXX XXXXXX, ubicados en XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX.

El tiro consta de XX mil ejemplares



La colección de los Cuadernos de Divulgación Ambiental forma parte de la producción editorial del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable, de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que se realiza en coordinación con instituciones del gobierno federal, de educación superior y de la sociedad civil.

Está dirigida a docentes, promotores y educadores ambientales, así como a madres y padres de familia interesados en el tema, y busca contribuir a la reflexión sobre la problemática ambiental de México y el mundo. Constituye un acercamiento inicial a tópicos ambientales de nuestro tiempo, abordados con una visión amplia y considerando diferentes ópticas.

En la presente edición la alianza WWF México - Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P y la Red Mexicana de Cuencas nos comparten una mirada enriquecedora a uno de los tópicos de vanguardia en la agenda ambiental internacional: el caudal ecológico y las reservas de agua.

En el mundo, nuestro país es ejemplo por la expedición de la norma para la determinación del caudal ecológico en cuencas. Y en América Latina, es líder en el diseño de políticas públicas en temas de caudal ecológico y reservas de agua para la protección ecológica.