

## A 10 años de la declaración de Brisbane: mirada a los caudales ecológicos y ambientales

Yaset Martínez Valdés

email: [yaset@cih.cujae.edu.cu](mailto:yaset@cih.cujae.edu.cu)

Profesor Auxiliar, Depto. de Ingeniería Hidráulica, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Facultad de Ing. Civil, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.

Victor Michel Villalejo García email: [victorv@hidro.cu](mailto:victorv@hidro.cu)

Especialista Superior en Manejo y Desarrollo de los Recursos Hídricos, Dirección de Infraestructura Hidráulica, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), La Habana.

### RESUMEN

Ya pasaron 10 años desde la declaración de Brisbane en 2007 en la homónima ciudad australiana donde se consensuó, por primera vez, el concepto de caudales ambientales. La adopción de los caudales ecológicos y ambientales asegura la cuota natural de renovación del agua necesaria para conservar los ecosistemas para las generaciones presentes y futuras y garantiza el desarrollo de actividades productivas mediante su uso eficiente. Aunque sus definiciones son sencillas, el mayor reto es aceptar que el mantenimiento de los ecosistemas de los ríos sanos, es la base para el desarrollo de las actividades humanas dentro de una cuenca. De esta forma, los caudales ecológicos y ambientales son herramientas ecohidrológicas asentadas en conocimientos científicos multidisciplinarios y con base en el consenso entre diversos actores para la administración sostenible del agua.

**Palabras clave:** ambientales, Brisbane, caudales, declaración, ecológicos.

## 10 years of the Brisbane declaration: a look at ecological and environmental flows

### ABSTRACT

Already 10 years passed since the declaration of Brisbane in 2007 at the Australian homonymous city where it was agreed, for the first time, the concept of environmental flows. The adoption of ecological and environmental flows ensures the natural share of water renewal necessary for the conservation of ecosystems, for present and future generations, and guarantees the development of productive activities through its efficient use. They recognize nature as the only water supplier. Although their definitions are simple, the major challenge is to accept that the maintenance of ecosystems from healthy rivers, is the basis for human activities development within a watershed. In this way, the ecological and environmental flows are tools built with solid information and based on the consensus among diverse actors for the sustainable management of water.

**Keywords:** environmental, Brisbane, flows, declaration, ecological.

## **INTRODUCCIÓN**

El manejo del agua se ha dirigido tradicionalmente a satisfacer las demandas de consumo, riego, industrias y generación de electricidad. A partir de la publicación del Reporte Brundtland o Nuestro Futuro Común, de Cuidados para la Tierra 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 que se interrelacionaran dos conceptos: desarrollo sustentable y la vida de las personas y el medio ambiente están profundamente interconectados. Esto permite introducir una alternativa más a la definición de desarrollo sustentable: incrementar la calidad de vida de los seres humanos dentro de la capacidad de soporte de los ecosistemas (Aqualimpia 2015).

Bajo los principios de desarrollo de la Conferencia del Agua, en Mar del Plata, Argentina y de Dublín, Irlanda en 1992, se desarrolla el concepto de manejo o gestión integrada de los recursos hídricos, reconociendo al agua 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. 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, aún en la práctica, el valor de los ecosistemas es raramente considerado.

El ambiente representa un tipo especial de usuario del agua y en muchos aspectos constituye la parte central del manejo de los recursos hídricos. Las estrategias ambientales deben de enlazar y balancear los intereses entre el manejo sostenible del recurso hídrico, sustentabilidad ambiental y el desarrollo sostenible.

Hace varias décadas se escuchó en el contexto mundial el tema de la reducción de la oferta de agua, al igual que la necesidad de organizar mancomunadamente todo lo referente al recurso hídrico, a su disponibilidad, calidad, aprovechamiento responsable y otros aspectos que hacen parte de la gestión de este recurso y que redundan en la calidad de vida de la población. En la década de 1960 empezaron a considerarse los requerimientos de los ecosistemas (especialmente aguas abajo de los sitios de aprovechamiento) con el conocido caudal ecológico, también aceptado socialmente como caudal ambiental (Aqualimpia 2015).

## **DESARROLLO**

Los caudales en los ríos de todo el mundo se modifican a través de la construcción de presas, embalses y sustracciones para los usuarios, 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 (Aqualimpia y Castro 2012). La alteración en la cantidad y calidad del agua no solo 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 (Tharme 2003), (King et al. 2008).

Se considera que en el mundo existen aproximadamente más de 55 000 grandes presas (cortinas con altura mayor de 15 m), lo que implica que más del 60% de los ríos del planeta se encuentran alterados de manera importante y que dos terceras partes del agua que debería llegar a los océanos hoy se encuentra represada (Alonso et al. 2007).

En la actualidad, en el mundo se viven situaciones de conflicto en torno a la gestión del recurso hídrico. Las conclusiones de muchas investigaciones y diferentes eventos realizados al respecto, coinciden en que es urgente la adopción de medidas enfocadas al planteamiento de estrategias con soporte científico para la aplicación real de políticas de regulación que impidan el uso descontrolado del recurso por parte de diferentes beneficiarios. Actualmente se trabaja en considerar los ecosistemas relacionados como usuarios del recurso, por lo cual, el caudal de conservación de estos y el que permita garantizar funciones ambientales, debe respetarse y estar disponible para tal efecto (Aqualimpia 2015).

Es poco conocida la reflexión sobre la sostenibilidad efectiva del recurso hídrico, es decir el mantenimiento de los caudales de conservación de los ecosistemas fluviales. La acción generada por las actividades que realiza el hombre durante el proceso de transformación de los paisajes, tiene efectos negativos, los cuales pueden mitigarse mediante la aplicación de medidas de control al escurrimiento mejorando la infiltración del agua en el suelo, con lo cual se muestra la importancia que cumple el suelo en la regulación de los caudales ambientales. La implementación de prácticas de manejo a las unidades de tierras que componen los ecosistemas fluviales, permite controlar el escurrimiento de aguas superficiales mediante la ejecución programada de la restauración y conservación de las coberturas vegetales (Aqualimpia y Castro 2012).

La disponibilidad de agua para los ecosistemas fluviales depende de la distribución de las lluvias y de condiciones físicas que se relacionan con la captación de esas lluvias (tamaño y forma de la cuenca), conducción y distribución hídrica en una zona hidrográfica en particular, pendiente del sector (factor relieve) y densidad de drenajes cuya variable permite estudiar los niveles de evacuación de las aguas de escorrentía. En conjunto estas variables muestran los límites hidráulicos que sería pertinente considerar en los estudios de caudales de conservación de los ecosistemas fluviales.

Para lograr el propósito de conocer cómo garantizar el caudal necesario para la conservación de los ecosistemas fluviales, no deben desligarse disciplinas del saber y del hacer que intervienen en la obtención del mismo, ni buscar el protagonismo de una sobre otra. Se debe, a través de la interrelación de las mismas, buscarse el mejoramiento de procedimientos, métodos y metodologías que finalmente propendan a la consecución de este caudal (Aqualimpia 2015)

## **UNA INTRODUCCIÓN A LOS CAUDALES ECOLÓGICOS Y AMBIENTALES**

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 resoluciones ministeriales, agendas y acuerdos internacionales. Algunos países han revisado, incluso, la prelación del uso del agua en sus leyes nacionales de aguas y reconocido 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 legislación del agua en el mundo tiene un gran desafío: distribuir los recursos de agua de una manera justa, eficiente y sostenible. Tradicionalmente la agricultura, la industria, el abasto a la población, generación de electricidad, etc., han competido por este recurso limitado. Las estructuras legales han sido creadas para cumplir con las demandas de los usos económicos y domésticos, sin embargo, se ignoró el uso del ecosistema que hasta hace poco no era bien comprendido científicamente.

Como resultado de este enfoque no inclusivo con el medio ambiente, muchos ríos y cursos de agua no se asemejan hoy en día a las aguas ni al ecosistema que usualmente fueron. Los diferentes usos del agua han manipulado y degradado los recursos de agua dulce de manera abrupta respecto al medio ambiente. La gestión ambiental de los recursos hídricos afronta un gran desafío puesto que se maneja un recurso imprescindible para la vida que ha sido reconocido como escaso y que seguirá siendo demandado con altas tasas.

Para mantener el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, así como permitir la protección de los ecosistemas riparios, ecosistemas acuáticos terrestres y costeros, es necesario que se garantice un régimen de caudal ecológico en los cursos de agua. Existe una problemática internacional relativa a la disminución del agua en los ríos, derivada de la competencia entre usos y la falta de una regulación conforme con la disponibilidad del recurso, como por ejemplo, la demanda de agua en sitios aguas arriba de las cuencas hidrológicas, no considera la conservación de un escurrimiento hacia las partes bajas, así como en el caso del agua subterránea no se considera la descarga del acuífero hacia cuerpos de agua superficiales.

Las obras hidráulicas son tan abundantes en los ecosistemas fluviales que, en la actualidad, son pocos los ríos cuyos caudales no están regulados artificialmente. El uso de esas obras origina una regulación artificial de caudales que afecta profundamente a la fauna reófila, no ya por las grandes fluctuaciones de nivel provocadas por la torrencialidad natural, sino también por el desfase temporal en que ocurren respecto a la fenología natural (Arthington et al. 2006). Por ello, la gestión del agua y de los recursos biológicos con ella relacionados debe enfrentarse con frecuencia a la problemática que estas obras originan y en concreto cuantificar los caudales circulantes mínimos capaces de mantener los ecosistemas de los tramos de río regulados. Todo proyecto que conlleve la derivación de agua de cauces hídricos naturales, debe por tanto, considerar la conservación del caudal ecológico aguas abajo de las obras, para evitar la alteración de los corredores ecológicos constituidos por estos cauces hídricos.

En la cuantificación del caudal ecológico se busca un umbral que fije los valores por encima de los cuales el ecosistema ripario 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 del ecosistema. Por otra parte, se define el 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 (Alonso et al. 2007).

## **TÉRMINOS Y DEFINICIONES DE CAUDALES ECOLÓGICOS Y AMBIENTALES**

En la abundante literatura sobre el tema, se encuentran términos sinónimos de caudales ambientales y ecológicos conceptualmente entremezclados, 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. Otros autores sugieren el término caudal ecológico por tener connotaciones claras, tanto para el público general como para los técnicos, políticos y gestores del agua.

Según Alcázar (2007) en la literatura sobre el tema se recogen diferentes denominaciones asociadas con el caudal ecológico como son:

1. Caudal Ecológico Mínimo
2. Caudal de Mantenimiento
3. Caudal Ambiental
4. Régimen de Caudal Ambiental
5. Caudal de Acondicionamiento
6. Caudal de Compensación

El Caudal Ecológico Mínimo es aquel que restringe el uso durante las estaciones de caudales bajos y mantienen la vida en el río. No aporta una solución ecológica. Se calcula de forma directa y arbitraria, producto de un pacto más que de una formulación científica.

Se entiende como Caudal de Mantenimiento el que se requiere para mantener todas las funciones ecosistémicas del río, incluyendo la incorporación continua y balanceada de las especies acuáticas y riparias. Es un caudal calculado y dirigido hacia la conservación de los valores bióticos del ecosistema fluvial.

El Caudal Ambiental es el régimen hídrico que se establece en un río, humedal o zona costera para sustentar ecosistemas y sus beneficios donde hay usos del agua que compiten entre sí y donde los caudales están regulados. El caudal ambiental es usado para valorar cuánta agua puede ser extraída del río sin causar un nivel inaceptable de degradación del ecosistema ribereño en el caso de ríos gravemente alterados. Se considera caudal ambiental la cantidad de agua necesaria para restablecer el río y rehabilitar el ecosistema hasta un estado o condición requerida.

Como Régimen de Caudal Ambiental se entiende aquel que permite cumplir con una condición establecida del ecosistema ribereño. En él se detallan caudales específicos en magnitud, periodicidad, frecuencia y duración, tanto de caudales base, ordinarios en la escala de variabilidad intra e interanual y de avenidas, todo ello diseñado para mantener en funcionamiento todos los componentes del ecosistema.

El Caudal de Acondicionamiento es el caudal que puede establecerse como complemento de caudales mínimos o de mantenimiento, para una finalidad concreta, ajena a la conservación de

valores bióticos del ecosistema fluvial y referido a aspectos abióticos (dilución, paisaje, usos recreativos).

El Caudal de Compensación se establece como un caudal mínimo necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido.

Por su parte Agualimpia (2015) establece en su tesis doctoral una nueva definición para referirse a los caudales que deben dejarse en un río para que éste subsista, llamándoles caudales de conservación de los ecosistemas fluviales.

### **Caudales ecológicos**

En la literatura especializada sobre los caudales ecológicos se pueden encontrar varias definiciones en función de distintos enfoques.

Según la WWF (2010) el caudal ecológico se define como aquel que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando valores ecológicos como el hábitat natural y las funciones ambientales tales como purificación de aguas, amortiguación de extremos hidrológicos mínimos, recreación y pesca.

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 (Tharme 2003), (Arthington et al. 2006).

La definición de caudal ecológico es la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos (lóticos y lénticos) y terrestres (riparios) que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales (Alonso et al. 2007).

Por su parte Poff et al. (1997) reconocen que el establecimiento arbitrario de un caudal mínimo es inadecuado, ya que la estructura y la función de un ecosistema ribereño y adaptaciones de 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 (Tharme 2003), (Arthington et al. 2006), (King et al. 2008).

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 (Tharme 2003).

En muchas legislaciones a nivel mundial, se señala que los caudales ecológicos son 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 (Secretaría de Economía 2012).

En la práctica, el caudal ecológico debe buscar reproducir en alguna medida el régimen hidrológico natural (RHN), conservando los patrones estacionales de caudales mínimos y máximos -temporada de sequías y lluvias, respectivamente-, su régimen de crecidas y tasas de cambio de especial interés para la gestión de la infraestructura hidráulica.

Estos componentes del régimen hidrológico natural determinan la dinámica de los ecosistemas acuáticos y su relación con los ecosistemas terrestres tal y como se describe en la tabla 1 (WWF 2010).

Aunque existen diversas metodologías para su determinación, el principio científico del cálculo de los caudales ecológicos consiste en entender el papel que desempeñan los componentes del régimen hidrológico natural en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, para así definir los caudales mínimos que necesitan para su conservación o restauración.

La puesta en práctica de los caudales ecológicos incluye aguas de diferentes naturalezas y diferentes fines (WWF 2010), (Endesa Chile 2011):

- Sincroniza ciclos de vida de organismos acuáticos (reproducción, migración, etc.).
- La descarga natural comprometida, es decir, las aportaciones de los acuíferos como caudal base.
- Los escurrimientos superficiales: el agua que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos.
- El régimen de extracción en la cuenca, considerando los retornos y descargas de aguas tratadas, las transferencias comprometidas aguas abajo y, de requerirse, un caudal específico para conservación (ej.: reserva de agua).

A partir de estos elementos, un caudal ecológico se define por un régimen hidrológico para mantener procesos ecológicos (reproducción, migración, alimentación, sucesión de especies, etc.), la conectividad en toda la cuenca y el balance hidrológico a largo plazo, de lo que depende la disponibilidad de agua para todos (figura 1).

Al no existir normativas específicas con respecto al caudal ecológico en la mayoría de los países del mundo -entre ellos Cuba-, las concesiones y asignaciones, así como los permisos de descarga, no han considerado plenamente la necesidad de establecer un régimen de caudal, que es de gran importancia para la preservación de los ecosistemas fluviales, lacustres, lagunares y estuarinos.

**Tabla 1. Componentes del régimen hidrológico natural (RHN) y las funciones ecológicas que desempeñan sus componentes**

Componentes del régimen hidrológico natural	Funciones ecológicas	Beneficios para la gestión del agua
Régimen anual de caudales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sincroniza ciclos de vida de organismos acuáticos (reproducción, migración, etc.)</li> <li>▪ Renovación de hábitats</li> <li>▪ Provisión de agua y alimento para flora y fauna acuática y terrestre</li> <li>▪ Mantiene la conectividad de ecosistemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acuerdo social sobre el volumen sostenible de extracción</li> <li>▪ Manejo conjunto de aguas superficiales y subterráneas</li> <li>▪ Maximiza un almacenamiento sustentable del recurso (cuerpos de agua, humedales, suelos, presas y bordos)</li> </ul>
Caudales mínimos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Humedad residual para flora y fauna, en especial para la vegetación riparia</li> <li>▪ Conservación de hábitats (charcos, lodos, pozas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caudales base aportados por acuíferos en equilibrio</li> <li>▪ Elimina malezas acuáticas</li> </ul>
Caudales máximos y régimen de crecidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Renovación de hábitats, dispersión y migración de especies acuáticas</li> <li>▪ Transporte de sedimentos y nutrientes</li> <li>▪ Activa fases de desarrollo en peces e insectos</li> <li>▪ Mantiene el balance salino en zonas estuarinas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantiene la capacidad hidráulica del cauce (arrastre de desechos y vegetación invasora)</li> <li>▪ Restablece condiciones de calidad del agua</li> <li>▪ Limita invasiones por asentamientos en la zona federal</li> <li>▪ Redistribuye materiales y reconfigura el cauce</li> <li>▪ Recarga la zona de subálvea (mantos freáticos)</li> </ul>

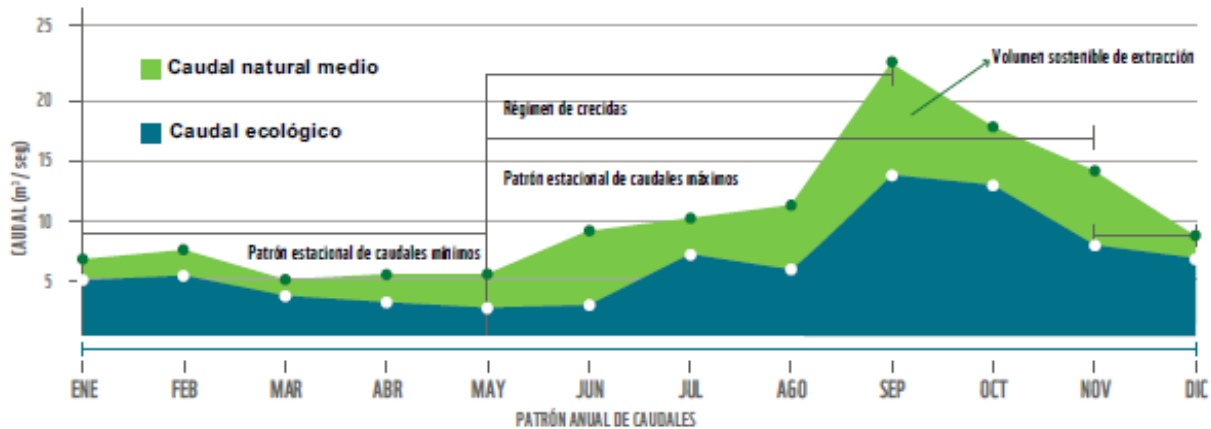
[Fuente: WWF (2010)]

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.

### Caudales Ambientales

Los caudales o flujos ambientales pueden ser definidos como aquella cantidad de agua por unidad de tiempo 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. Los procesos que se utilizan para determinar estos flujos ambientales se conocen como “evaluaciones o requerimientos de caudales ambientales” (Tharme 2003).





**Figura 1. Régimen de caudal ecológico para un objetivo de manejo dado a partir del caudal natural medio interanual y las funciones ecológicas que desempeñan sus componentes**  
[Fuente: WWF (2010)]

En la declaración de Brisbane, Australia, durante el 10<sup>mo</sup> Simposio Internacional de Ríos y la Conferencia Internacional de Caudales Ambientales, celebrada en septiembre de 2007 y a 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 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 (Alonso et al. 2007).

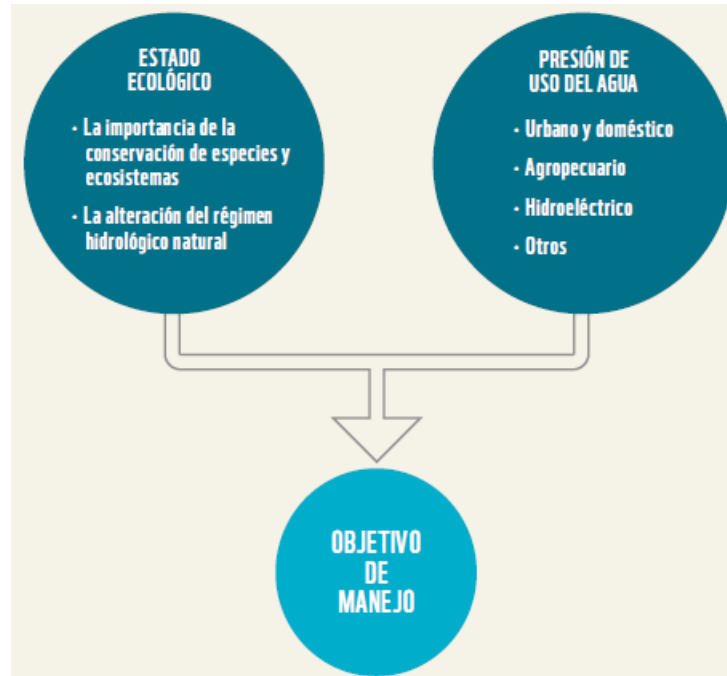
A partir de ese enfoque, acordaron definir los caudales ambientales como: “la cantidad, calidad y régimen de flujo necesario para sostener los ecosistemas dulceacuícolas, además de los componentes, procesos y funciones ecológicas de los que depende la sociedad humana”.

El objetivo del manejo de los caudales ambientales consiste en restaurar y mantener la integridad de los ecosistemas, 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.

Para conciliar las demandas ambientales y socio-económicas por el agua, la determinación de los caudales ambientales se basa en la definición de objetivos de manejo para cada tramo de río, subcuenca o cuenca, dependiendo de su estado ecológico y del grado de presión en su uso (figura 2).

El establecimiento de objetivos de manejo permite el análisis de las necesidades ambientales y de los usuarios del agua, para conciliar sus demandas o requerimientos y orientar la discusión colectiva sobre cuál es el estado de conservación que se desea para un río.

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.



**Figura 2. Diagrama conceptual para la asignación de un objetivo de manejo**  
[Fuente: WWF (2010)]

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 natural (Alonso et al. 2007).

El caudal ambiental en ríos y humedales es un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, que establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad (Secretaría de Economía 2012). El caudal ambiental concilia la demanda económica, social y ambiental del agua, reconoce que los bienes y servicios de las cuencas hidrológicas dependen de procesos físicos, biológicos y sociales, y que únicamente conservando el agua que éstos necesitan, se puede garantizar su provisión futura.

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 incluya 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 (Arthington et al. 2006).

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 (Arthington et al. 2006)

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 macro invertebrados bentónicos (King et al. 2008). Por otro lado, la implementación del caudal ambiental se ha incorporado al marco regulatorio y normativo de los recursos hídricos, y también ha encontrado una expresión de su impacto o importancia económica tangible e intangible.

## **METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES AMBIENTALES Y ECOLÓGICOS**

Para determinar los caudales ecológicos y ambientales se han desarrollado, a nivel internacional, más de 207 metodologías. Éstas se clasifican por la forma en que se aproximan o abordan al problema. El reto en la actualidad es cómo elegir el método más adecuado y esto depende de que cumplan con los principios o fundamentos actualmente válidos.

Los principales principios científicos para la determinación de los caudales ecológicos son el paradigma del régimen hidrológico natural y el del gradiente de la condición biológica. Lo anterior implica que cualquier metodología será válida si se enfoca en entender el significado ecológico de cada componente del régimen natural y genera propuestas para su conservación o restablecimiento total o parcial, desde el punto de vista funcional. Asimismo, cualquier metodología será válida si reconoce que un ecosistema acuático modifica sus servicios como respuesta al aumento de los niveles de estrés.

De esta manera y desde el punto de vista conceptual, cualquier procedimiento para la determinación de caudales ecológicos, partirá de reconocer las condiciones naturales del régimen hidrológico, su estado de alteración, las posibilidades de conservación o recuperación de los componentes del régimen hidrológico para alcanzar o mantener un estado ecológico deseado u objetivo ambiental. El régimen de caudales ecológicos es un instrumento de la gestión del agua, fundamentado en el principio ecológico del régimen natural y el gradiente de la condición biológica, que busca establecer un régimen para sostener a los ecosistemas, los usos del agua y las necesidades de almacenamiento a lo largo del año.

Diferentes autores han agrupado de varias maneras los métodos existentes teniendo en cuenta el tipo de información requerida, las variables utilizadas o los objetivos pretendidos. La aplicación de metodologías de estimación de caudales ambientales surge por la necesidad de establecer límites para la alteración del régimen hidrológico, de forma que la cantidad de agua

sea suficiente ya sea para mantener los diversos usos del agua, cierta especie de importancia comercial o de interés para la conservación, o la integridad del ecosistema. Existen variadas metodologías de estimación de caudales ambientales que se pueden agrupar en métodos hidrológicos, hidráulicos, ecohidráulicos y holísticos (Endesa Chile 2011), (Secretaría de Economía 2012). La elección del método dependerá del objetivo ambiental planteado para el sistema en donde se quiere aplicar dicha herramienta de gestión integrada.

Los métodos hidrológicos representan el abordaje más simple, menos costoso y más utilizado a nivel mundial. Estos se basan en el análisis de series temporales de los caudales de un curso de agua, datos que pueden obtenerse del registro histórico de estaciones de aforo o mediante modelación numérica hidrológica-hidrodinámica, entre otras formas. Estos métodos se pueden dividir en dos grupos: 1) los que establecen un único valor de caudal ambiental para todo el año o mes, y 2) los que establecen un régimen completo de caudales ambientales. Si bien son de menor costo, las relaciones entre los indicadores hidrológicos y ecológicos no han sido evaluadas. Los métodos de régimen completo de caudales proporcionan valores para cinco componentes del régimen hidrológico (magnitud, frecuencia, duración, momento y tasas de cambio de los diferentes caudales), los cuales son reconocidos como determinantes para la integridad ecológica de los sistemas fluviales (Poff et al. 1997).

En Cuba se ha venido aplicando desde el año 1999, el método que establece un único valor de gasto sanitario o ecológico para todo el año para los principales ríos que se encuentran regulados mediante presas. La asignación de este único valor está respaldada legalmente por la Resolución 24 de ese mismo año del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). La misma establece el valor del gasto sanitario o ecológico, que se debe entregar aguas abajo de una presa de forma compensada, teniendo en cuenta los aportes de la cuenca y el resultado de la medición del caudal que aporta esta, con el fin de garantizar la preservación y el saneamiento de los cursos naturales de agua y cuerpos de aguas superficiales y subterráneas.

Los métodos hidráulicos son similares a los anteriores pero incorporan parámetros hidráulicos como la velocidad y profundidad del agua, el perímetro mojado, etc. Los requerimientos mínimos de caudal se fijan generalmente como el punto de inflexión entre el incremento del caudal y del perímetro mojado o también fijando un porcentaje de hábitat a reservarse con un determinado valor de caudal. Los métodos hidrológicos e hidráulicos han sido desarrollados y aplicados por ingenieros (Poff et al. 1997).

Los métodos ecohidráulicos o de simulación de hábitat determinan un valor de caudal ambiental integrando el análisis hidrodinámico del tramo del curso bajo estudio y los requerimientos o preferencias de las especies que caracterizan el ecosistema fluvial. Los primeros métodos ecohidráulicos se aplicaron a especies de peces de interés comercial o de interés para la conservación. Actualmente, también se toma en cuenta la comunidad biológica (grupos de especies de un mismo sitio) y el mantenimiento de la integralidad del ecosistema. Estos métodos son replicables pero para su aplicación se requiere información de la topografía del curso de agua y de la ecología de las especies o comunidades que se quiere conservar, por lo que son más costosos. En general han sido desarrollados conjuntamente entre ingenieros y biólogos (Bovee et al. 1998).

Hace dos décadas se comenzaron a desarrollar métodos holísticos, que permiten determinar regímenes hidrológicos necesarios para mantener la integralidad del ecosistema, además de los usos sociales y productivos. Se basan en que el manejo debe contemplar todos los factores biológicos, abióticos, socioeconómicos y el espectro completo del régimen hidrológico, incluyendo tanto su variabilidad espacial como temporal. Por lo tanto, son esencialmente interdisciplinarios. Una de las metodologías holísticas más recientes es el DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation), la cual consiste en cuatro módulos: biofísico, sociológico, desarrollo de escenarios y económico (King et al. 2008).

El módulo biofísico implica la descripción de los elementos naturales y el funcionamiento del río y establece las bases para predecir cambios relacionados con modificaciones del caudal. El módulo sociológico identifica la población en riesgo, describe los usos del río y los perfiles de salud, que contribuyen a predecir los impactos sociales de los cambios en el río. Sobre esta base, en el tercer módulo se identifican escenarios hidrológicos posibles y se describen las potenciales consecuencias biofísicas y sociales. Por último, el cuarto módulo calcula los costos de compensación y mitigación de los impactos en la población en riesgo para cada escenario. El resultado es una serie de escenarios descritos que pueden ser utilizados para la toma de decisiones.

En cuanto a los métodos para determinar el caudal ecológico se observa que algunos son tan generales que difícilmente podría entenderse que un tema determinante como es la conservación ambiental pudiese remitirse a la definición de un valor de caudal o a lo sumo al estudio de regímenes de caudales con un valor logrado desde la oficina; contrariamente, otros métodos para el cálculo de caudales ambientales pretenden alcanzar tal grado de detalle que la información requerida para su aplicación resulta prácticamente imposible de adquirir, por tal motivo su adaptación a situaciones específicas no es viable debido a la carencia parcial o total de datos.

Es de anotar también que la determinación de los caudales ecológicos o ambientales (algunos métodos propuestos y otros utilizados) se realiza en su mayoría a partir de casos de estudio para corrientes con peces determinados no necesariamente críticos.

Por otro lado, se observa que existe tal variedad de métodos, trayendo como resultado que algunos de ellos tengan una nominación tan específica que de alguna forma restringe su uso de forma general. En varios métodos también se menciona la necesidad del conocimiento de la ecología de los ecosistemas fluviales.

Del análisis de las diversas metodologías de cálculo de caudal ambiental se puede observar que estas 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, 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 en 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.

## CONCLUSIONES

La creciente demanda social de un medio ambiente más limpio ha impuesto en la planificación hidráulica la consideración de que en los cauces regulados circulen caudales ecológicos o caudales mínimos medioambientales durante toda la vida útil del proyecto.

El concepto de estos caudales ecológicos comprende enfoques científicos multidisciplinarios que ocupan a profesionales de diferentes áreas de trabajo. Los caudales ecológicos han de ser representativos de la variabilidad natural del régimen de caudales del río y debe contemplar el correcto funcionamiento de las diversas componentes asociadas con el ecosistema fluvial, entre las que cabe destacar la flora y fauna propias del mismo.

La determinación de los caudales ecológicos o ambientales en los ríos debe constituirse como un proceso urgente pero iterativo, en el cual las acciones de los administradores 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 dichos caudales.

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 del recurso hídrico, 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 sobre el tema, permite ver que en el mundo ya se cuenta con un gran número de trabajos de aplicación de cálculo de los caudales ecológicos o ambientales, 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 y ambientales son los que se han derivado en países cuyo marco legislativo ha establecido las políticas de manejo del agua, desde una perspectiva de sustentabilidad integral.

## REFERENCIAS

- Agualimpia Y.** (2015). “Caudales de conservación de los ecosistemas fluviales en tramos de los ríos Cuja y Frío”, Tesis de doctorado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Habana, Cuba.
- Agualimpia Y. y Castro C.** (2012). “Aprovechamiento responsable del recurso hídrico fluvial”, Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 33 (3): 18-32, ISSN 1815-591X, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.
- Alcázar J.** (2007). “El método del caudal básico para la determinación de caudales de mantenimiento. Aplicación a la cuenca del Ebro”, Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria, Universidad de Lleida, Lleida, España.
- Alonso P. E., Gómez Ma. A. y Saldaña P.** (2007). “Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México”, Editorial IMTA-Alianza, WWF/FGRA-PHI/UNESCO-Semarnat, ISBN 978-968-5536-96-7, Jiutepec, Morelos, México.
- Arthington A. H., Bunn S. E., Poff N. L. and Naiman, R. J.** (2006). “The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems”, Ecological Applications, 16: 1311-1318, ISSN 1051-0761, Washington D.C., United States of America.
- Bovee K. D., Lamb B. L., Bartholow J. M., Stalnaker C. B., Taylor J. and Henriksen J.** (1998). “Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology”, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, ISSN 1081-292X, Information and Technology Report USGS/BRD-1998-0004, ISSN 1081-2911, USA.
- Endesa Chile** (2011). “Introducción al cálculo de caudales ecológicos. Un análisis de las tendencias actuales”, Editorial Empresa Nacional de Electricidad S.A., Endesa Chile, ISBN 978-956-8191-11-5, Santiago de Chile, Chile.
- King J. M., Tharme R. E., and de Villeers M. S.** (2008). “Environmental flow assessments for rivers: manual for the building block methodology”, Water Research Commission Report N°: TT 354/08, 364 pp., ISBN 978-1-77005-721-0, Freshwater Research Unit, University of Cape Town, South Africa.
- Poff N. L., Allan, J. D., Bain M. B., Karr J. R., Presteggaard K. L., Richter B., Sparks R., and Stromberg J.** (1997). “The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration”. *BioScience* 47:769-784, Oxford University Press, London, United Kingdom, ISSN 0006-3568.
- Secretaría de Economía** (2012). “Determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas”, Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, México D.F., México, Extraído de <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>, en agosto 2017.
- Tharme R. E.** (2003). “A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers”, *River Research and Applications*, 19: 397–441, ISSN 1535-1459, Wiley Inter Science, Washington D.C., United States of America.
- WWF** (2010). “Caudal ecológico: Salud al ambiente, agua para la gente”, Factsheet Octubre 2010: (Agua), World Wildlife Foundation (WWF) México y Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., México D.F., México, Extraído de: [http://awsassets.panda.org/downloads/fs\\_caudal\\_ecologico.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf) en abril 2017.