Umbral Científico
ISSN: 1692-3375
umbralcientifico@umb.edu.co
Universidad Manuela Beltrán
Colombia

Mesa, D.J
ALGUNOS ATRIBUTOS DE LOS FACTORES A FAVOR Y EN CONTRA EN LAS TECNICAS Y METODOS UTILIZADOS PARA LA ESTIMACION DE CAUDALES AMBIENTALES EN COLOMBIA
Umbral Científico, núm. 15, junio, 2009, pp. 81-93
Universidad Manuela Beltrán
Bogotá, Colombia

Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30415144010

Cómo citar el artículo
Número completo
Más información del artículo
Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ALGUNOS ATRIBUTOS DE LOS FACTORES A FAVOR Y EN CONTRA EN LAS TECNICAS Y METODOS UTILIZADOS PARA LA ESTIMACION DE CAUDALES AMBIENTALES EN COLOMBIA.

Fecha de recepción: Noviembre 11 de 2008

Fecha de Aceptación: Abril 16 de 2009

D.J*, Mesa

Grupo de Investigación Agua y Suelo, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad Manuela Beltrán Avenida Circunvalar 60-00, Bogotá- Colombia, Tel: +57 1 5460600 Ext 1171

e-mail: duvan.mesa@umb.edu.co

RESUMEN

En términos generales, la alteración y modificación de los caudales de los sistemas hídricos superficiales en Colombia y el mundo por la extracción y regulación de agua o por el funcionamiento de hidroeléctricas y grandes embalses ha causado cambios en la estructura, composición y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos. Por esta razón, surge en la década de los 70s el instrumento denominado "caudal ambiental" con el cual se pretende proteger y conservar, mediante la mantención de un cierto volumen de agua dentro del cauce, entre otros, los valores ambientales de los ríos. Sin embargo, las aproximaciones metodológicas utilizadas para determinar esa cantidad de agua necesaria han sido ampliamente criticadas por estimar caudales mínimos constantes sin criterios ambientales y desconsiderando la importancia de la variabilidad natural del régimen hidrológico, además de ser modelos creados en condiciones ambientales, socioeconómicas y biológicas muy distintas a nuestras particularidades.
En este trabajo se presentan algunos métodos empleados a nivel mundial para la estimación de un caudal ambiental y se proyecta para una posible evaluación y aplicación de este concepto en la gestión de los recursos hídricos en Colombia.

PALABRAS CLAVE: recursos hidricos, caudal, reservas de agua, ecosistemas acuáticos, variabilidad hidrológica,

ABSTRACT

In general, the alteration and modification of water flow and regulating the extraction of water or the operation of hydroelectric dams and has caused great changes in the structure and function of aquatic ecosystems. For this reason lies in the decade of the 70s the tool called "ecological flow" that seeks to protect and preserve the maintenance of a certain volume of water in the channel, among others, the ecological values of rivers. However, the methodological approaches used to determine the amount of water needed has been widely criticized for estimating minimum flow without constant green regardless and the importance of natural variability of the hydrological regime, as well as models created in environmental conditions, socio-economic and biological very different to our particularities.
This paper presents some methods used worldwide to estimate an ecological flow and is planned for a possible evaluation and implementation of this concept in the management of water resources in Colombia

KEY WORDS: instream flow, Water resources, Aquatic ecosystems, Watersheds, hydrological variability, IFIM.

INTRODUCCION

La mayoría de los ríos han sido inducidos a perturbaciones y modificaciones drásticas en la estructura, la composición y el funcionamiento del ecosistema fluvial, así como sus caudales medios, lo que ha repercutido negativamente, año tras año, tanto en los diferentes parámetros de calidad utilizados como en el grado de conservación de dicho ecosistema fluvial para los distintos fines.
Además de las circunstancias evidentes por vertidos contaminantes y de alteración/ocupación de riberas y márgenes fluviales, se ha unido la reducción de los caudales circulantes fruto de un aumento continuado de las demandas "extractivas" de agua, problema que ha venido a empeorar los actuales escenarios de contaminación y destrucción del medio.

La gestión y ordenación ambiental de los recursos hídricos del país afronta un gran desafío puesto que se trata de un elemento indispensable en el funcionamiento de la biota, permeando y articulando todos y cada uno de los sistemas vitales que sustentan la vida misma; este ha sido reconocido como escaso e ilimitado y que según las tendencias mundiales seguirá siendo demandado a altas tasas (Jackson et al., 2001).

Por otra parte, se intenta asegurar la disponibilidad y rendimiento del agua para múltiples usos dentro de los cuales se reconocen aquellos de tipo domestico, industrial y agropecuario que hacen parte de los mas importantes para e desarrollo y crecimiento del país y los de tipo ambiental, como lo son la navegación, la recreación y la conservación de los ecosistemas acuáticos, de seguro no menos importantes que los anteriores.

REFERENTES

Hace tres décadas, en países de América del Norte y la Unión Europea, se ha aplicó un instrumento denominado "instream flow" para intentar garantizar y compatibilizar esos usos ambientales manteniendo una cierta cantidad de agua (caudal) dentro de un cauce (Lamb, 1995). En Colombia, este instrumento se adopta a principios de este milenio bajo el nombre de caudal ambiental con el objetivo final de mantener los caudales mínimos de las corrientes superficiales en sus diferentes tramos, a fin de garantizar la conservación de los recursos hidrobiológicos y de los ecosistemas asociados (Proyecto de ley 365 de 2005 "por la cual se establecen medidas para orientar la planificación y administración del recurso hídrico en el territorio nacional")
Sin embargo, el tratamiento y proposición de este tema en aspectos reglamentarios y legales ha suscitado grandes discusiones con respecto a las tipologías y bases para instrumentalizar y ajustar estos métodos hasta el momento utilizados a nivel mundial. En el campo científico han sido debatidas desde múltiples posturas (Sociales, ambientales y económicas) las aproximaciones para calcular el caudal ambiental y la manera de cómo ha sido conceptualizado este instrumento (Richter et al., 1996; Poff y Allan, 1997; Arthington et al., 1998; Bragg et al., 1999; Verweij, 2000; Alves y Bernardo, 2000 y Tharme, 2002). Para varias entidades y organismos el caudal ambiental corresponde en la realidad a un caudal mínimo o base bajo preceptos hidrológicos e hidráulicos, mas no hidrobiológicos y/o recreativos. El caudal ambiental entendido como aquel que integra y armoniza los intereses de uso con los naturales para la preservación y protección de ecosistemas estratégicos, es decir de brindar las condiciones ambientales salvaguardando la integralidad biológica de la cuenca. Y el caudal mínimo que interpreta el caudal que deberá ser dejado para mantener los servicios ambientales requeridos por lo intereses privados y desarrollistas.

Frente a esta realidad, surgen las siguientes preguntas: ¿puede este instrumento funcionar como un mecanismo para alcanzar objetivos estratégicos en la ordenación de cuencas?, ¿es viable que con las técnicas existentes para el cálculo de un Régimen de Caudales Ambientales RCA se pueda asegurar la integridad de los ecosistemas ribereños?, ¿Cuáles son las bases conceptuales y teóricas para tales fines? y finalmente, a grandes rasgos, ¿cuales son las limitaciones y potencialidades para que este instrumento se introduzca en la gestión ambiental de las aguas en Colombia?
Como propósito central de este trabajo se estudia, de forma teórica, si al incorporar el instrumento caudal ambiental se puede alcanzar la conservación de los ecosistemas acuáticos como se ha planteado en la gestión ambiental de nuestro país. De esta manera, se pretende identificar las limitaciones de los métodos empleados y analizar la gestión en Colombia para que este instrumento pueda ser aplicado con éxito.

A nivel mundial se asume la nominación "caudal ambiental", como "environmental flow", que posee mayor espectro, e incorpora factores sociales y económicos.
Se han reportado al menos un centenar de diferentes métodos que esbozan en diferentes niveles el estudio de "caudales ambientales". Tharme (1999) propone categorizar las diferentes metodologías en cuatro grupos:
• Métodos nombrados "holísticos", que proponen analizar e independizar los factores ambientales fundamentales – los componentes biológicos– del régimen de flujo en estado natural, e intentan mantenerlos en un régimen artificial.
• Métodos que se basan fundamentalmente en la dinámica de condiciones biológicas concretas y buscan ajustar a éstos diferentes ámbitos de administración del caudal. Requieren el soporte de software y paquetes informáticos de simulación, por lo que también se conocen como métodos de simulación ecohidráulicos.
• Métodos estadísticos, matemáticos o hidrológicos.
• Métodos que relacionan caudal con parámetros físicos del hábitat (en contraposición a parámetros biológicos).

DESARROLLO METODOLÓGICO

La secuencia del estudio fue de tipo documental y evaluativa. Como primera instancia se sistematizó una revisión bibliográfica-teórica para identificar los objetivos de conservación que se pretendían alcanzar con la aplicación del instrumento caudal ambiental y cuáles serían los criterios ambientales que deben tomarse en cuenta para alcanzar esos objetivos. Posteriormente, la revisión documental se extendió para identificar los métodos de cálculo comúnmente utilizados. Finalmente se realizó una evaluación de la inserción de los conceptos y métodos relacionados con el instrumento caudal ambiental en el sistema legal de Colombia para verificar si, como se presentan hoy en día, pueden cumplir con los objetivos de conservación que un caudal ambiental se propone conceptualmente. La evaluación se realizó básicamente comparando los criterios ambientales identificados con las bases de las metodologías utilizadas e identificando cuáles de estos criterios han sido tomados en cuenta en la gestión de nuestro país.

ELEMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES

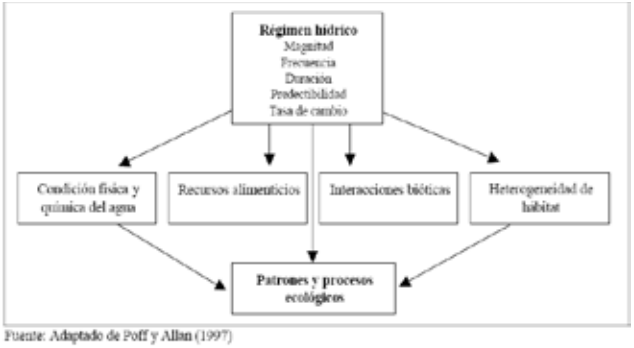
Desde un concepto proceso- funcional, el ecosistema es una unidad básica conformada por el binomio de los aspectos bióticos y abióticos en un espacio y tiempo determinado, siendo estos últimos parte del sistema (Margalef, 1991). Entre estos aspectos existen interacciones continuas y abiertas que permiten modificarse y evolucionar mutuamente. Por lo tanto, los organismos también pueden modificar los factores abióticos.

Dado que el ecosistema no posee límites espaciales ni temporales, se idean modelos para realizar estudios ecosistémicos y de simulación de fenómenos naturales, que articulen sistemas de manejo diferenciales y herramientas de gestión con la conectividad e integralidad biológica y ambiental presentes en el rio como ecosistema.

Al momento de conservar estos ecosistemas acuáticos, un nuevo mecanismo de gestión como el caudal ambiental debe consensuarse y definirse con el propósito de preservar aquellos atributos característicos de un ecosistema. Según Odum (1969) se presentan cuatro atributos característicos del ecosistema que guardan relación con su medio: i) la estructura de la comunidad, ii) el flujo de energía, iii) los ciclos biogeoquímicos y iv) la selección natural y la regulación u homeostasis. Sin embargo, eventos externos, ya sean antrópicos u otro fenómeno natural, pueden inducir un retroceso u otra dirección en el desarrollo hacia la estabilidad y madurez de un ecosistema acuático. Es relevante la variabilidad en la biocenosis y el biotopo desarrollado en cuanto la abundancia, distribución y predominancia de las comunidades a las cualidades fisionómicas de los ecosistemas acuáticos.

Incidencia del régimen hídrico en la evolución y funcionamiento de los ecosistemas lóticos

Con base en estudios de Poff y Allan (1997) se presentan 5 factores críticos del régimen hídrico que regulan los procesos ambientales en un ecosistema acuático, estos son: la magnitud, frecuencia, duración, predictibilidad y tasa de cambio. Un nuevo paradigma del "flujo natural" postula que las variaciones hidrológicas (con valores característicos y variables de estos cinco componentes) afectan directamente la estructura y persistencia de los ecosistemas acuáticos, como lo confirman Richter et al. (1996) y Poff y Allan (1997). El modelo desarrollado (figura 1) señala que cualquiera de estos cinco componentes puede cambiar la condición física y bioquímica del agua, los recursos alimenticios, las interacciones bióticas y la heterogeneidad del hábitat, lo que finalmente produce alteraciones en los patrones y procesos ambientales.



Fuente: Adaptado de Poff y Allan (1997)

Figura1. Modelo teórico de la influencia del régimen hídrico sobre los patrones y procesos ecológicos

Esta condiciones hidrodinámicas son elementos clave para mantener en determinado rangos las características geomorfológicas del cauce ya que las mismas son consideradas "per se" como variables externas que afectan directamente el funcionamiento del ecosistemas (Maddock, 1999).

Por otra parte, la variabilidad de caudal ocasiona una dinámica de interacciones abiertas con factores externos al acuático inherente a la estructura de los ecosistemas lóticos (substratos y aporte de materiales alóctonos y autóctonos de la cuenca). Según Maddock (1999) y Ward y Tockner (2001) existen cambios en los flujos de manera lateral, de la orilla de una zona inundable hasta la otra, y en dirección vertical de la zona hiporreica[1] hasta el agua superficial que influyen directamente en los sistemas de menor orden como quebradas y arroyos. Es por esto, que al determinar variables del flujo circulante o caudal es importante que se consideren las interacciones intersistémicas estructurantes del sistema hidrodinámico.

El caudal ambiental y sus regímenes idealmente deben ser un flujo variable expresado en frecuencia, magnitud, predictibilidad, duración y tasa de renovación que permita el desarrollo de los ecosistemas lóticos (definidos con criterios consensuados). Por ello la necesidad de adoptar el termino "régimen de caudales ambientales RCA", que va mas allá que el caudal mínimo o base circulante que pueda favorecer la dinámica ecosistémica de la biota acuática.

DESCRIPCION DE ALGUNOS DE LOS MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE UN CAUDAL AMBIENTAL

En este artículo se agrupan, con base en tipologías conceptuales similares teóricamente y de acuerdo con lo descrito por la Comisión Mundial de Embalses (King et al., 1999), en los siguientes métodos generales:

1. Métodos de tipo hidrológico

Base teórica: se asume que las comunidades biológicas ribereñas se han adaptado a las variaciones estacionales propias de un régimen hídrico de una región. Estas variaciones naturales inciden la conducta, los ciclos vitales y la estabilización y equilibrio dinámico de las poblaciones. Entre los métodos hidrológicos más usados, se citan:

Método de Curva de Permanencia: Reside en la construcción de curvas a partir de datos de caudales de frecuencia en alguna unidad de tiempo donde se presenta la relación entre ciertos picos de caudales y el rango de tiempo en que cada uno de esos intervalos es igualado o excedido. El caudal ambiental es definido como un valor fijo que corresponde a un porcentaje de caudal que se mantiene igualado o excedido en un horizonte de tiempo de interés (Silveira y Silveira, 2003).

Método de caudal base de 7 días con período de ocurrencia de 10 años (7Q10): Este método aporta el valor de un caudal mínimo estadístico que corresponde al valor que en media, durante 10 años, será igual o menor que el caudal medio en algún evento de siete días de sequía consecutivos (Silveira y Silveira, 2003).

[1] La Zona hiporreíca es el volumen de sedimentos saturados de agua debajo y a los lados de los arroyos y ríos donde el agua subterránea y el agua superficial se mezclan (Boulton, 2000).

El método supone que a valores menores que éste puede generarse una perturbación ecológica, de este modo, es apropiado para varios países de Suramérica, como Colombia, para ser aplicable. Existen también otras propuestas similares utilizando la estadística hidrológica que describe las condiciones de sequía como el "7Q2 "y el "10Q5".

Método de Tennant: Consiste en los estudios realizado por la US Fish and Wildlife Service en once cuerpos lóticos localizados en Nebraska, Wyoming y Montana. El propósito fue el la de encontrar una relación entre el caudal y la disponibilidad de hábitat para la biota acuática. Tennant fraccionó el año en un periodo seco y otro lluvioso, para los cuales planteó caudales expresados como porcentajes del caudal medio anual (CMA) relacionándolos con niveles de conservación. A partir de este se estableció que el hábitat comenzaba a deteriorarse cuando el flujo era inferior al 10% del flujo medio anual natural, esto asociado a una velocidad media de 0,25 m/s y una profundidad media de 0,3m (Tennant, 1976 citado en Bragg et.al, 1999).

Método RVA (Range Variability Approach) o Aproximación por Rangos de Variabilidad. este método ha sido creado para circunstancias en que se tenga como primer objetivo de manejo la preservación de los ecosistemas. Se sustenta en datos de prolongados periodos de tiempo donde se toma la variabilidad hidrológica antes y después de instalada una represa. Se ejecuta caracterizando el flujo natural a través de 32 parámetros definidos por Ritcher (1996) como críticos en el funcionamiento del ecosistema para luego evaluar un rango de variación máximo de estos parámetros. Bajo este método se sugiere un sistema de manejo con objetivos anuales intentando emular los parámetros del flujo natural después del funcionamiento de la represa, hidroeléctrica u otra regulación. Esta metodología requiere el monitoreo constante para conciliar distintas alternativas y objetivos.

2. Métodos hidráulicos

Base teórica: Consiste en que parámetros hidráulicos simples de la geometría del cauce como el radio hidráulico, altura de la lamina o las profundidades, son factores limitantes en la biota acuática. Generalmente estos métodos se basan en evaluaciones de una sección transversal para así relacionar la magnitud de la descarga con la profundidad de los cauces, perímetro mojado y velocidad.

Método del Perímetro Mojado: Se asume que la integralidad del hábitat está directamente relacionada con el área húmeda. Radica básicamente en la construcción de curvas de idoneidad que describen la relación entre el caudal y el perímetro mojado. A partir de ellas puede analizarse que hasta un cierto volumen de agua el perímetro del cauce se incrementa rápidamente a medida que aumenta la descarga pero sobrepasado este volumen el perímetro se mantiene casi constante. Generalmente el flujo aconsejable es aquel próximo de este punto de inflexión pues se presume es el nivel ideal para el desarrollo de los ciclos biológicos de la ictiofauna o para la producción estable de invertebrados bentónicos (Stalnaker et al., 1995).

Método de Múltiples Secciones transversales (Multiple Transect Methods): en este método se usa más de una sola sección transversal para definir los caudales ambientales en el río, pues tiene en cuenta características de conectividad y homogeneidad por tramos. Requiere protocolos de mediciones y muestreos en campo de variables como: velocidad, nivel de superficie, substrato y cobertura a diferentes descargas y en diferentes secciones transversales, con el fin de estimar por medio de simulación hidráulica el cambio y correlación de estas variables hidráulicas (habitabilidad) con cambios en el caudal Arthington y Zalucki, 1998]. Se considera un método conservativo, que usualmente determina caudales elevados [Richardson, 1986], [Swales et al., 1994], pero es uno de los pioneros donde se tiene en cuenta un enfoque de variabilidad de caudales y el consecuente cambio de variables hidráulicas de importancia ecosistémica.

Métodos ecohidráulicos de simulación de hábitat

Base teórica: Las comunidades piscícolas se encuentran mejor adaptadas a ciertas características hidráulicas, climáticas, estructurales y geomorfológicas. Al comprender cómo incide el caudal en estas características se pueden efectuar predicciones del caudal óptimo para mantener las poblaciones de estos peces y sus interacciones intra e inter especificas en estados adecuados. Entre los métodos más utilizados se encuentra:

Instream Flow Incremental Methodology IFIM

Desarrollado también por la UGS que compatibiliza modelos analíticos hidráulicos junto con el estudio de parámetros de calidad del agua, sedimentos, estabilidad de los cauces, temperatura y otras variables con los procesos de afectación en la producción y preservación de peces. Emplea un modelo informatizado (Phisical Habitat Simulation System - PHABSIM) que relaciona el caudal con datos levantados del hábitat físico (Washington Department of Fish and Wildlife, 2003).

El método se basa en la construcción de índices de preferencia que muestran el grado de respuesta de las especies objetivo a diferentes rangos de velocidad, profundidad y características geomorfológicas específicas.

3. Métodos de tipo holístico

Base teórica: Se trata de una identificación de las características esenciales del flujo hídrico que pueden generar un impacto ambiental y estas son introducidas en un régimen de flujo intervenido; con esto la biota acuática y la integridad estructural y funcional del ecosistema será mantenida. Generalmente los métodos holísticos tienen dos enfoques distintos o combinan estas dos (Arthington et al., 1998) entre las que se resaltan:

Método de B-B~ Aproximación B-Up: consiste en la sistematización de investigaciones de grupos multidisciplinarios, sustentados con trabajos de científicos ya realizados, que integran modelos para entender la respuesta caudal - características hidráulicas y juicios de expertos.

Una de las fases críticas es la determinación de la importancia económica y social de la zona de estudio, desarrollándose

una valoración de la inherencia social y económica de los ecosistemas ribereños en conjunto con la comunidad. Se establecen y describen en términos de duración y magnitud los caudales que se recomendarán. La priorización y caracterización de cada uno de los componentes del flujo son considerados como los B-B, constituyendo los requerimientos de flujo para una cuenca o corriente (IFR, Instream Flow Requirements).
Se denomina de tipo Bottom -Up ya que el caudal aconsejado es estimado a partir de un flujo mínimo hacia valores progresivos y crecientes.

Benchmarking~ Aproximación Top-down: Consiste en su fundamento a condiciones muy similares del método B-B. A diferencia de este, el caudal es fijado a partir de un flujo tope (máximo) aceptable hasta valores sucesivamente decrecientes (enfoque Top-Down). Con disponibilidad de información, esquemas conceptuales y juicio de experto se definen indicadores hidrológicos que son asumidos ecológicamente relevantes. Con estos indicadores son caracterizados biofisicamente cauces escogidos dentro de una corriente como "bench mark" o de referencia. En estas corrientes de referencia no existe necesariamente un flujo natural pero se cubren distintos tipos y niveles de flujo que se registran en la cuenca para criterios previamente definidos. Posteriormente en estos puntos se asocian efectos ambientales en función de variaciones en el flujo hídrico circulante, de esta forma se estudia cuánto puede cambiar el volumen del agua antes de que el ecosistema sea degradado (Brizga et al., 2002).

ANALISIS TEÓRICO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE UN CAUDAL AMBIENTAL

Comparando las bases teóricas de las diferentes clases de métodos (excluyendo los métodos del tipo holísticos y RVA) denotan la aspiración de mantener un cierto flujo de agua para conservar poblaciones biológicas, especialmente algunos peces, pero no procuran conservar a un nivel ecosistémico y de integridad biológica de la cuenca.

Los métodos de Curva de duración, el Método de Tennant, 7Q10, el método de Perímetro Mojado e Instream Flow Incremental Methodology, al parecer, únicamente consideran el valor mínimo del caudal como factor limitante en las necesidades bióticas, siendo que es ampliamente aceptada la importancia de los otros componentes del flujo en las interacciones propias de la biota acuática en su historia. Al fijar un caudal mínimo no consideran los requerimientos de flujo para mantener la vegetación riparia ribereña adyacente, la zona hiporreica del vaso y los pulsos de inundación. Desde una óptica ecosistémica no se tienen en cuenta intercambios de materiales, nutrientes y energía que afectan la funcionalidad y composición del ecosistema.

Las técnicas de tipo hidrológico, excepto RVA, manejan una expresión estadística simple; se determinan caudales por probabilidades de ocurrencia de ciertos eventos de estiaje o recurrencia de caudales bajos. Luego, estos caudales son asociados con tasas de productividad y sobrevivencia de alguna población objetivo. De lo anterior se han ocasionado dos cuestionamientos importantes. Al fundarse un instrumento en resultados estadísticos simples se subvalora el carácter complejo y multidimensional de los sistemas ambientales y ecológicos, y la baja certidumbre que los caracteriza. Por otro lado, los flujos mínimos que se dan inusualmente crean efectos inmediatos que difieren de los efectos prolongados que se generan por mantener estos flujos mínimos como continuos en el tiempo.

En tanto, el método RVA puede ser válido en términos biológicos si se evalúan las características primordiales de los ecosistemas y los efectos sinérgicos entre el cambio del caudal natural y los impactos asociados a actividades antrópicas en el ecosistema, por ejemplo los usos agrícolas. Una de las controversias de este método es que no se ha tenido en cuenta el estudio de las variables del flujo seleccionadas como independientes una de otras; atributos como la correlación, covarianza y multicolinealidad, no se han considerado (Puckridge et al., 1998).

En términos de gestión, el método RVA ha definido de forma apropiada los indicadores y la necesidad de un modelo de gestión continuo ya que este método se basa en sistemas adaptativos de gestión.

El Método de Perímetro Mojado tiene unos supuestos muy simplistas, con unas pocas variables hidráulicas pueden representar adecuadamente la necesidad de caudal para especies de interés. Por otra parte, se conoce que la relación entre el caudal y el perímetro mojado depende de la geometría de los cauces, por lo tanto, si se construye y define una curva con una sola sección transversal no se consideran las características de todo una corriente (Stalnaker et al., 1995). Además con este método se presupone que la geomorfología del lecho se mantiene estable y uniforme en el tiempo lo que hace poco reproducible su aplicación en cursos de agua con elevada variabilidad morfológica y topográfica como es el caso de los cursos de agua de las regiones de alta montaña (Alves y Bernardo, 2000). En el campo de la gestión, el método de Perímetro Mojado ha sido incorporado, principalmente en corrientes de agua que presentan secciones transversales relativamente prolongadas, rectangulares y someras, lo cual no es representativo de todos los ríos, mucho menos en los de Colombia (Stalnaker et al., 1995).

En cuanto a los métodos de simulación de hábitat (ecohidráulicos), estos son fundamentados en una serie de suposiciones fuente de criticas por no ser validadas y no corresponder a la realidad (Hudson y Chadderton, 2003). Por otra parte, con este método se han estimado caudales con unos valores similares a los estimados por métodos mas simples, como ha sido expuesto por estudios hechos por Orth y Leonard (citado en Benetti et al., 2003). Por último, la aplicabilidad de este método en cursos de agua de regiones semiáridas y ríos estacionales es restringido debido a que existen caudales muy disminuidos y con una alta diversidad morfológica lo que impide o dificulta caracterizar una sección

transversal de curso de agua en base a algunas secciones transversales (Alves y Bernardo, 2000).
Los métodos de tipo holístico, en tanto, a pesar de no solo orientarse hacia algunas poblaciones objetivo, aún no insertan estudios ecosistémicos integrales. Una de las bondades de este método es la incorporación de la participación ciudadana y la realización de estudios sociales y económicos de la interacción humana de los ecosistemas de manera bidireccional. En lo referente al ámbito de gestión, debe hacerse con precaución su aplicación, ya que en valores arrojados por estudios en otros países las recomendaciones y procedimientos en los pasos a seguir se tornan muy rigurosos e inflexibles (tomando en cuenta que la razón de este método es la decisión de expertos).

En la Tabla 1 (Dominguez J, Gabriela. Y Finotti R, Alexandra) contrastan los métodos en base a aspectos ambientales y del ámbito de gestión. Con respecto a estos últimos, se identifica si los métodos manejan indicadores para su revisión y seguimiento, así como su grado de ajuste y aplicabilidad en variados ecosistemas. Se toman de baja aplicabilidad métodos incapaces de ser usados en la mayoría de los ecosistemas acuáticos neotropicales, como por ejemplo, los métodos de tipología hidráulica que consideran ríos con cauces estables, homogéneos y secciones de geometría rectangulares. En tanto a técnicas de aplicabilidad alta pero con precaución, se refiere a que pueden ser adaptados en una gran variedad de ecosistemas acuáticos pero con la condición de no adoptar los valores que se establecen con los métodos para diferentes ecosistemas; únicamente podrían generalizarse sus procedimientos. Los costos se presentan de acuerdo a lo descrito por King, et al. (1999) son relativos a los rubros de las técnicas con que se contrastan, así mismo la complejidad fue estimada por estos investigadores considerando el tiempo aproximado para llevar a cabo la estimación, el nivel de conocimientos y la necesidad de personal especializado y calificado.

Tabla. 1 Comparación de métodos para la determinación de un caudal ecológico

	Aspectos Ecológicos			Aspectos de Gestión		
Tipo	**Objetivos de conservación**	**Componentes del flujo hídrico**	**Indicador**	**Aplicabilidad**	**Complejidad**	**Costos relativos**
Hidrológico						
a)cuyos resultados arrojan un flujo mínimo	En general, poblaciones de peces (depredadores tope)	Magnitud	NO	Baja	Baja	Bajos
b) RVA	Ecosistemas	Magnitud, predectibilidad, duración, frecuencia y tasa de cambio	SI	Alta con precaución	Baja a media	Medios
Hidráulicos	En general, poblaciones de peces	Magnitud	NO	Baja	Baja a media	Bajos a medio
De simulación de hábitat	En general, poblaciones de peces	Magnitud	NO	Baja	Media a alta	Altos
Holísticos	Ecosistemas, valores económicos y culturales	Magnitud, duración y predictibilidad	SI	Alta con precaución	Media a alta	Medios a altos

Fuente: Adaptado de King et al. (1999)

En términos generales los métodos empleados para fijar un caudal ambiental han tenido que ver con la instancia donde se adopta este instrumento. Dentro de estas instancias, se encuentran:

-En el otorgamiento de derechos de agua (concesiones y tasas de uso), en este caso, el caudal ambiental de forma general se determina como una norma mínima a ser respetada en nuevos otorgamientos de derechos de agua. Un cauce no puede abastecer con un volumen mayor o menor al que fue autorizado por la autoridad competente.

- En el caso de construcción de embalse, represa o centrales hidroeléctricas que modifiquen drásticamente el flujo hídrico, el caudal ambiental es adoptado como una medida de mitigación, en donde los ejecutores de estos proyectos deben asegurar un caudal ya sea variable o constante aguas abajo de la infraestructura. Para estos casos se determinan las condiciones de operación específicas para los derechos adquiridos en el proyecto de regulación.
- En procesos de planificación y ordenación, en esta instancia, se determinan las demandas y necesidades de flujo de una corriente o cuenca para lograr un cierto propósito de gestión anterior a la negociación u otorgamiento y a la ejecución de nuevos proyectos de desarrollo.
-En propósitos conservacionistas y preservacionistas donde se requiera proteger, mantener y mejorar las condiciones de hábitat proporcionadas por ecosistemas acuáticos y su productividad para la sostenibilidad de los recursos hidrobiológicos.

Uno de los aspectos de mayor relevancia y critica que se puede evidenciar en el sistema de gestión del patrimonio hídrico colombiano es la inexistencia de un manejo integrado de los recursos hidrobiológicos a nivel de cuencas (Orrego, 2003). Por un lado se administran los ríos fraccionalmente lo cual hace muy difícil conservar con un enfoque de integridad ecosistémica y por otra parte, se manifiesta una gestión estatal sectorizada y aislada del manejo y administración de las aguas con relación a otros factores que pueden afectar los ecosistemas acuáticos, como el control y manejo de los usos de suelo, cambios en las características geomorfológicas por canalizaciones y trasvases, el aprovechamiento de niveles freáticos y la conservación de vegetación de borde, entre otros, por lo que difícilmente se alcanzará la conservación y mantenimiento de los ecosistemas a pesar de instrumentar un caudal ambiental para tales fines.

En Colombia desde 2003 se conforma un sistema de manejo y ordenación por cuencas (POMCAS Decreto 1729 del IDEAM) facultado con un conjunto de herramientas jurídico-administrativos con la finalidad de articular y poner en marcha la Política Nacional en el tema del agua ley 365/05 y que fue hundida legislativamente por inconsistencias de variada índole. Uno de los aspectos más destacados que contiene los POMCAS desde su sistema de gestión es la formación de Comités de Cuencas Hidrográficas compuestos por organismos públicos, entidades civiles de los recursos hídricos y de diversos sectores de usuarios de la cuenca hidrográfica. Dentro de sus tareas se encuentran promover el debate sobre el patrimonio hídrico e integrar la actuación de las entidades participantes, arbitrar los conflictos relacionados a los recursos hídricos, aprobar los

POMCAS (donde se definen los objetivos de conservación, recuperación y utilización), entre otros. De esta forma se busca con la gestión que exista coordinación y participación verdadera. Sin embargo, aún no se han concretado y definido las prácticas para esta integración de los servicios. Por otra parte, un punto que vale la pena resaltar en la legislación de Colombia es la derrumbada Ley Forestal (Ley 264/04), que por similares razone al proyecto de ley del agua dejo aislado su aspecto estructurante e intersectorial dejando de cumplir sus objetivos fundamentales, sobre todo en lo relacionado con las cuencas y los pueblos asentados allí. No hay una política clara y contundente que este pensada para preservar los sistemas de vegetación de márgenes de los cauces bajo un enfoque de integridad ecosistémica y ecofluvial.

En cuanto nuestra legislación ambiental no se establecen regulaciones y relaciones serias, concretas y puntuales con respecto al caudal ambiental, en lo que tiene que ver con concesiones de agua, distritos de riego, almacenamiento y embalsamiento, generación de energía eléctrica, pesca, recreación, navegación, recreación y de los valores estéticos; y demás proyectos de infraestructura y desarrollo de tipo extractivo. Lo único que dice nuestra norma es que "entiéndase por caudal ambiental de las corrientes superficiales los caudales mínimos que, de acuerdo con los regímenes hidrológicos, deberán mantener las corrientes superficiales en sus diferentes tramos, a fin de garantizar la conservación de los recursos hidrobiológicos y de los ecosistemas asociados.
El caudal ambiental para cada corriente superficial o tramo de la misma será establecido por las autoridades ambientales competentes, de acuerdo con los lineamientos técnicos que para el efecto establezca el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM -.
Los lineamientos que hasta ahora se han establecido no tienen que ver con un caudal ambiental, sino con el cálculo de índices de escases hídrica (Res 865/04) por cuencas donde se habla de caudales promedio históricos y las entidades designadas por nuestro MAVDT no han adelantado criterios en esta materia.
Por ello, hasta tanto se establezcan los lineamientos a que se refiere este artículo (articulo 21° de Ley 365/05), se considerará como tal el caudal de permanencia en la fuente durante el 90% del tiempo, sin perjuicio de que se respeten los derechos adquiridos mediante concesiones vigentes".

ELEMENTOS DE REFLEXION
Problemática asociada al instrumento caudal ambiental

A.- ¿Solo una metodología? Grandes comunidades científicas y académicas quisieran una metodología técnica y socialmente solvente, flexible, versátil y consensuada para la estimación de los caudales ambientales, replicable a todas las cuencas hidrográficas. Actualmente es cierto que no se tienen los criterios científicamente más aceptables para su cálculo en los diferentes planes hídricos de cuenca, y que, en algunos lugares, incluso se hace de manera impositiva; sin embargo la receta de una solución única no deja de parecer un paradigma sesgado tremendamente rígido y sin realismo.
Por otra parte, la naturaleza específica de cada unidad fluvial o tramo de río obstaculiza el progreso de una normativa de fácil adaptación y generalista.

La caja negra, finalmente, no es tanto el cálculo de los caudales, como el medir y cuantificar si se satisfacen unos objetivos previamente establecidos, sean por ejemplo, para la trucha, la rana labialis o el nivel freático para el bosque de ribera, o para atributos recreativos y escénicos. El cálculo de los flujos no puede ser tarea fácil como establecer una fórmula generalista, del mismo modo que no se "fabrica" agua por la inercia propia del ciclo hidrológico o no se recrea un bosque plantado de árboles soltando animales. Existen distintos procedimientos para su cálculo, pero lo importante será verificar si el ecosistema se mantiene al restringir a aun límite muy bajo el caudal circulante en la corriente a dichos caudales.

B.- Dificultades de aplicación. De entre las metodologías que actualmente usan parámetros bióticos en sus operaciones de cálculo podemos citar dos principales: 1) las fundamentadas en el conocimiento de la variación del hábitat físico aprovechable para la ictiofauna básicamente y, 2) las fundamentadas en la conservación de la integridad de la biodiversidad en la extensión del continuo fluvial (River Continium Concept Cole 1999). Sin embargo, las metodologías fundamentadas en la evaluación del hábitat o aquéllas basadas en la conservación de la biodiversidad no son sencillas de confeccionar y son de aplicación compleja. A favor tienen que describen realmente los caudales que van a facilitar que el propósito señalado se efectúe. A su vez, las operaciones de evaluación de las series foronómicas de caudales se topan con la dificultad del déficit de datos apropiados para los tramos donde se debe estimar los caudales ambientales.

En mi opinión, técnicas fundadas en la conservación de los organismos de macroinvertebrados bentónicos pueden ser utilizadas apenas se disponga de redes de vigilancia de los parámetros de calidad de las aguas basadas en el uso de índices confiables bióticos y de diversidad para la construcción de curvas de preferencia o idoneidad que relacionen los ciclos y periodos vitales con los requerimientos y exigencias de hábitat en calidad y cantidad (Área aprovechable útil).

Del mismo modo que la inexistencia de ictiofauna en los tramos de la corriente en estudio no deberá anular la estimación del caudal ambiental, sino que esta ausencia debe estar considerada como uno más de los posibles escenarios de aplicación para la simulación y predicción. De otro lado, se necesita aunar esfuerzos para integrar otras variables biológicas, como son las macrófitas, y en aquellas corrientes en las que sean típicos, el zooplancton y el fitoplancton (Plancton).

Si todos las corrientes tuvieran condiciones naturales, es decir son artificialización, se debería procurar tratarlos con la misma perspectiva de integridad ecológica; pese, a la condición presente de muchos de nuestras corrientes muy distanciadas de estados naturales y prístinos por lo que el cálculo del caudal ambiental ha de contemplar bajo diferentes

alternativas de afectación hidrológica.

C.- Caracterización biótica del tramo fluvial. Los criterios para fijación de un módulo básico de caudal u otro flujo se establecen frecuentemente con base a las poblaciones piscícolas presentes. Ciertas normativas y lineamientos parten ya del fundamento de establecer un módulo fijo y único para la conservación y protección de las especies de salmónidos y otro para las de ciprínidos (básicamente, la trucha-Salmo Trutta) pero ninguna normativa establece módulos de caudal para el mantenimiento de las poblaciones de peces que no sean de estas especies, y que sin embargo, sí sean de gran valor e interés ambiental, por su alto endemismo, o en peligro de extinción

En Colombia no existen muchas especies piscícolas sobre todo en ríos de montaña que no se ajustan a la categorización de tramos entre ellos salmonícolas / ciprinícolas, y esto de debe contemplar en el momento de adoptar un régimen de caudal ambiental. Lo mismo se puede expresar de otros grupos de vertebrados: anfibios, reptiles y mamíferos y por supuesto de invertebrados y flora acuática, si que esto quiera decir que hay que establecer un caudal distinto para cada gremio, sino que el caudal o caudales que se asuman habrán de ser idóneos y dar respuesta al mantenimiento y protección de las comunidades faunísticas y florísticas como conjunto.
Adicional, el propósito de los caudales ambientales debe ser el mantenimiento de la biodiversidad en su globalidad, del ecosistema (tanto su factor biótico como el abiótico) y de las interrelaciones que dan lugar los distintos componentes y niveles del sistema. Si se aseguran las condiciones para el mantenimiento de estos equilibrios se habrá cumplido con la conservación de la trucha o del pez capitán de la sabana, pero nunca a la inversa.

D.- Prevalencia y priorización sobre otros usos. El caudal ambiental debe tener prevalencia sobre cualquier otra demanda, excepción consumo y abastecimiento doméstico. En realidad, un caudal suficiente facilita que la cuenca se mantenga viva, y es por ello garantía de que se puedan satisfacer otras demandas, como la pesca, valores escénicos y el efecto de tampón para dilución de cargas contaminantes.
E.- Conflicto con otras concesiones. La obligatoriedad de fijar estos caudales entra en conflicto, en la mayoría de los casos, con las actuales concesiones existentes sobre una corriente. En este sentido, las entidades administradoras del agua deberán necesariamente hacer un esfuerzo de revisión de concesiones y de determinar las indemnizaciones compensatorias, si lo que se persigue realmente es preservar los recursos loticos como los ecosistemas complejos que son.

F.- Disponibilidad de caudales de agua. El establecimiento de un régimen de caudal ambiental no es suficiente para una integra labor de gestión fluvial, ya que el problema es el de garantizar la disponibilidad de agua suficiente (tras las derivaciones humanas causadas de forma necesaria) para lo que podemos denominar la "los requerimientos del ecosistema". A este respecto, programas de minimización del consumo, políticas de reducción, ahorro y reuso de aguas residuales, unidos a la ampliación de los puntos de retorno al río de la red de abastecimiento-suministro / saneamiento básico, pueden favorecer un mayor rendimiento de caudal y flujo circulante, siendo posible su racionalización.

No hay que olvidar que una disminución de caudal también se da de forma natural, presumiblemente generados por anomalías globales como el 'cambio climático'; o por anomalías de ciclo corto, como son los episodios de escasez de lluvias que periódicamente parecen darse sin denotar un mecanismo de alteración especifico. En estos casos, la noción de caudal ambiental se ve forzado hasta condiciones de anormalidad, por lo que los criterios para su fijación habrán de deberán responder condicionados al alcance de esta situación de forma dinámica, abierta y adaptativa.

G.- Disponibilidad de datos. Al mismo tiempo que se requiere realizar un seguimiento y monitoreo de los caudales fijados con el objetivo de comprobar y verificar la idoneidad de los métodos empleados, es vital poseer un conocimiento más profundo y holístico del medio hídrico y de la composición de la cuenca hidrográfica, con el objeto de establecer con mayor aproximación los mecanismos de regulación y de afectación sinérgica sobre el ecosistema. De esta manera habrá que analizar, entre otros, aspectos geomorfológicos (vaso de la cuenca), transporte de sedimentos (Carga hidráulica y procesos de sedimentación) y aportación por conectividad de aguas subterráneas, como las Perdidas por infiltración o actividades humanas.

CONCLUSIONES

- En Colombia se puede observar que dentro de una amplio espectro de métodos utilizados para la estimación de un caudal ambiental, ninguno contempla un estudio de integridad ecosistémico como tal, por medio de índices biológicos u otros, donde se caracterice un ecosistema de acuerdo a una hipótesis de investigación, se definan en alcance los componentes según las magnitudes y semejanzas de la relaciones entre ellos y se identifique cómo la modificación del régimen hidrológico altera el flujo natural de los ciclos biogeoquímicos de materia y energía.

- Se considera, entonces, de urgente importancia una revisión de los productos y resultados que hasta ahora se han logrado con la implementación de este instrumento, de manera incipiente aun, en algunos de nuestros ríos. Una forma de iniciar su revisión es consultando datos en Estudios de Impacto Ambiental desarrollados y ejecutados para nuevas represas, diques o embalses y contrastándolos con datos del seguimiento a través de indicadores de evolución de un ecosistema, según lo descrito por Odum (1969). A pesar de que las técnicas hidráulicas y de simulación de hábitat han sido ampliamente utilizadas en países desarrollados, se prevé que no ayudarían a alcanzar las metas propuestas por la gestión del recurso hídrico en Colombia ya que como "caja negra" no han sido diseñadas y desarrolladas para conservar los ecosistemas lóticos neotropicales de nuestro país. El fundamento básico de esta afirmación es que no contemplan la variabilidad y complejidad dinámica de los

5 componentes del régimen hidrológico y se apoyan en el estudio de unas pocas especies muchas veces extratropicales. Los métodos de simulación de hábitat poseen como otra dificultad en la mayoría de los casos el de ser un método costoso relativamente.

- En Colombia se considera que en las cuencas donde los Comités se encuentren constituidos, es decir, donde se cuente con capacidad consultiva y técnica a través de un POMCA, es factible explorar y reproducir métodos como RVA y holísticos. Lo ideal sería usar combinadamente estos métodos con estudios de integridad ecosistémica sobre la variación de los circuitos y flujos de materia y energía que los conforma. Ya que estos métodos precisan record hidrológico muy robusto que a menudo no se tienen en muchos ríos de Colombia por bajas coberturas de redes de monitoreo y registros, estos pueden ser pronosticados a través de modelaciones hidrológicas confiables.

- Otro elemento importante es que se realice por completo la gestión integral y ordenada por cuencas (no por tramos, como hasta ahora) desde experimentales hasta grandes cuencas para utilizar nuevas técnicas de apropiación y prospección que logren el propósito final de conservar y mantener los ecosistemas y recursos hidrobiológicos cuando así se decida en consenso.

De la gestión se concluyen sobre algunos factores que dificultan la aplicación de un caudal ambiental, estos son:
El marco legal y jurídico Colombiano en que se inserta este concepto es incipiente para su implantación efectiva.

Se evidencia una ausencia total de gestión integrada y equitativa del patrimonio hídrico que contemple las interacciones de los cuerpos de aguas superficiales con los freáticos, los asuntos de cantidad y calidad, así como la gestión coordinada y armónica del territorio a nivel de cuenca, la vegetación, los usos del suelo y los recursos hidrobiológicos. Aun falta establecer parámetros u objetivos específicos y valorables y cuantificables de conservación cuando se estima un caudal ambiental.

El control y la vigilancia sensuescrito son limitadas, lo cual también entorpece y complica si no está acompañada de un sistema de indicadores de desempeño y eficacia u objetivos cuantificables fiables. Si no se determinan los propósitos de conservación de manera clara y consultiva se puede dar origen a conflictos por uso e intereses particulares por lo que su concepción es manipulada e incluso siguen presentándose conceptos de caudales ambientales que difieren entre organismos con lo que difícilmente se podrá controlar y manejar en qué grado se están cumpliendo esos objetivos concertados y negociados.

- Las intervenciones antrópicas sobre la dinámica de las cuencas hidrográficas y las fuentes de agua del país limitan los procesos naturales en las corrientes alterando el régimen de caudales de la corriente, las características de calidad del agua y por ende la calidad de los ecosistemas loticos asociados. Se necesita un modelo alternativo, flexible y adaptativo de gestión de los recursos hidrobiológicos, donde se vislumbre la importancia socioambiental, cultural y económica que representan los ecosistemas dulceacuícolas y por lo tanto, la importancia de su capital para su conservación en el desarrollo del país.

- Se puede decir que las diferentes metodologías discutidas en este artículo, son solo unas cuantas de las más de 200 reportadas hasta el momento mundialmente y estas han surgido en países donde las condiciones de sus ríos y ecosistemas presentan características muy particulares. Esta consideración es importante a la hora de implementar estas metodologías en Colombia, ya que estas deben contar con una evaluación previa que permita su correcta aplicación, adaptación, validación y verificación al contexto nacional en cada uno de sus mosaicos bioclimáticos regionales.

- El Método de Tennant muestra ciertas desventajas importantes: es reproducible solamente a corrientes de montaña en áreas de ecosistemas prístinos, lo que puede llevar a resultados equívocos si se aplica a otro tipo de corriente (p.ej, ríos meándricos, o de planicie); depende fundamentalmente de la información hidrológica histórica suministrada; y fija un caudal estacionalmente (periodos: seco y lluvia) y una especie en particular (salmónidos). Es pertinente que para su uso se haga una adaptación adecuada al contexto regional y local, donde se estudien y analicen los estados del hábitat de las especies superiores en el río y las condiciones hidrológicas inherentes del flujo de agua.

- El método del rango de variabilidad emplea un concepto técnico que ha sido validado teórica y empíricamente en los últimos años: el régimen de caudales ambientales debe estar representado por una variación natural para sostener la biodiversidad y la complejidad de los ecosistemas acuáticos. Es un método que cuestiona las aproximaciones simplistas y unidimensionales, y explica que las variaciones hidrológicas intra e inter anual conducen a implicaciones ecológicas importantes y que deben ser contempladas bajo una política de gestión competente del recurso hídrico. Es una de las mas exitosas metodologías hidrológicas en el mundo y es de gran utilidad cuando se proyectan obras hidráulicas de regulación y de embalses.

- El método del perímetro mojado tiene postulados importantes: 1- considera que una sola sección transversal es adecuada para calificar las modificaciones que se producirán en la longitud del río a causa de un cambio en el flujo; 2- la localización de la sección transversal más susceptible a los cambios de flujo siempre concuerda con la zona donde se constituyen los rápidos, lo que quiere decir que la evaluación se orienta a ese tipo de hábitat, considerando que éste es apto para satisfacer con todos los requerimientos de hábitat que exigen las especies acuáticas en todas sus fases biológicas; 3- hace la suposición que el perímetro del cauce es un soporte de muchos otros factores o procesos que establecen la integridad ecológica, la productividad y la salud acuática de toda la corriente y los ecosistemas asociados. Más favorable sería

entonces utilizar el método de las múltiples secciones si se trata de estudiar de manera rigurosa la variación de los parámetros hidráulicos en relación a cambios en el caudal.
- La técnica IFIM al igual que los métodos holísticos requieren abundante información (registros completos de series de tiempo hidrológica, hidráulica, calidad fisicoquímica, calidad microbiológica, biótica, social y económica), tiempo y capital económico, que les dan atributos de alternativas viables y factibles, en macroproyectos o en programas donde hay voluntad de trabajo.

- Es importante que la resolución del régimen de caudales ambientales se encuentre definido dentro de un conglomerado de prácticas de gestión y planificación en la cuenca, asociadas con los usos del suelo, los derechos en equidad del agua, el control y mitigación de las acciones contaminantes y el manejo sostenible de las actividades humanas. Limitarse a determinar un caudal ambiental en un río con estados avanzado de degradación puede resultar inoficioso o incluso perjudicial a nivel territorial.

- Otro punto de gran relevancia es la de no confundir el término de caudal ambiental con el volumen requerido para efecto tampón de la carga contaminante y mejorar su calidad en procesos de dilución y autodepuración natural. Una corriente contaminada necesitará indudablemente de estrategias interinstitucionales y regionales para mejorar la calidad del agua antes de dar inicio a la aplicación de este tipo de metodologías.

- La fijación del régimen de caudales ambientales en el país es relativamente nueva en el entorno institucional y gubernamental nuestro son muy pocos los estudios o investigaciones para determinar las bases metodológicas de los caudales que deben mantenerse en corriente hídrica especifica después de un aprovechamiento antrópico. Por tanto, es inminente comenzar a avanzar en trabajos que permitan construir, estructurar y aplicar conocimiento sobre el régimen de caudales ambientales en los panoramas del contexto nacional. Dichas metodologías servirán de línea base a las autoridades ambientales en la toma de decisiones equitativas para conceder derechos, cobro de tasa por uso del agua y retributivas, permisos de construcción de obras hidráulicas, entro otros.

- En este tema no hay planteada una receta o pauta operativa única para seguir una metodología determinada de manera protocolaria; es más acertado establecer las propias conceptualizaciones sobre la particularidad de la región y el río objeto de estudio, donde se evalué la variación hidrológica en magnitud, duración, frecuencia y predictibilidad los rangos en los que se mueve los mejores escenarios, y que facilite la tarea de monitorear las condiciones de habitabilidad de las especies acuáticas objetivo, la calidad del agua y las demandas potenciales con los caudales definidos, entre otras variables de negociación.

- Por último, es primordial aclarar que los instrumentos y mecanismos de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en concordancia con el ordenamiento territorial debería anteponerse a la determinación de un caudal ambiental. En primer lugar es indispensable acordar con la comunidad, instituciones, legisladores y sociedad académica la compatibilidad de los usos del suelo y agua que se deben dar en el territorio y posteriormente estimar unos caudales correspondientes a brindar tales demandas. Ya que resulta inevitable que al alterar el flujo hídrico circulante por la extracción y regulación artificial del agua para los múltiples usos se modifiquen los ecosistemas acuáticos, en lo que se debe estar claro es el impacto que estas perturbaciones producen y hasta qué nivel se está dispuesto a exponer y arriesgar los ecosistemas loticos. Solo, después de trazar objetivos concertados y claros de preservación y conservación con todos los agentes implicados, se podría empezar a discutir con elementos de juicio sobre el método más idóneo y responsable para tales efectos.

RECOMENDACIONES

De forma paralela a la determinación de los regímenes de caudales ambientales RCA, es preciso comenzar un proceso en el que se han de ir estructurando y ejecutando, desde diferentes niveles políticos y sectoriales, estrategias de trabajo complementarios al calculo de caudales y canalizados a una restauración del medio fluvial. En seguida se muestran algunas relaciones de estas estrategias de trabajo:

A- Se deben conocer más profundamente los mecanismos y procesos inherentes a la complejidad del ecosistema fluvial, con especial atención para las cuencas compartidas, y bajo la perspectiva del "concepto del río como continuo", donde afectaciones puntuales y locales repercuten sobre la integridad y calidad de la cuenca.

B- Deben darse los propósitos o condiciones de referencia dentro de un marco jurídico consecuente en el ámbito de los lineamientos de política de aguas del país, considerando la variabilidad estacional, espacial y temporal.

C- Se debe prever un fortalecimiento institucional del país para aumentar la cantidad y calidad de datos y registros, tanto de la variabilidad de la dinámica hidrológica (series hidrológicas) como de condición biológica del medio fluvial (peces macroinvertebrados, anfibios, coberturas etc.).

D- La adopción del caudal ambiental debe estar ligado a un proceso de restauración general del continuo fluvial, de tal forma que, los equipamientos de regulación, extracción y derivación de agua existentes permitan la subsistencia del régimen de caudal ambiental en cada uno de los tramos fluviales, y que, desaparezcan las barreras y limitantes al flujo y estabilidad de las especies.

E- Conviene revisarse el estado de las concesiones y derechos de agua vigentes en aquellos tramos fluviales más conflictivos, haciendo una priorización por cuencas. Para muchas cuencas, dichas concesiones tendrán que sustraerse, excluirse y/o restringirse en aras de la protección del domino

público.
F- Las anomalías de los fenómenos climáticos pronosticadas, de mayor o menor escala, implicarán, probablemente, regímenes de precipitación más inestables, lo que agudizará y volverá extremos las frecuencias de los períodos de déficit de caudal. Se vuelve preciso diseñar y montar ante esos contextos unas políticas sectoriales y regionales de actuación que busquen la reducción del impacto sobre el ecosistema fluvial; políticas que trasciendan la regulación de unos flujos de agua que puede que no existan y se den caudales en equidad, calidad, cobertura y transparencia.

G- Es vital generar unos espacios de diálogo desde los diferentes ámbitos sociales implicados para converger y hacer sinergias en la elaboración conjunta de un plan estratégico (algunos lo llaman pacto social) sobre la conservación de nuestras corrientes, la valoración de las demandas y los usos permitidos de manera sostenible. Se requiere un ejercicio de reflexión-prospección en estos términos que permita consensuar los imaginarios de ríos que deseamos y el con que mecanismos los vamos a proteger.

H- Mientras se resuelven los anteriores puntos, se deben instaurar los medios e instancias de comunicación entre los estamentos técnicos y científicos (Universidad, empresas y corporaciones) y de los servicios y cuerpos técnicos de la administración en el tema, con el fin de trabajar en pos de metodologías y criterios comprensibles y de ejecución factible.

I- Es importante que las entidades estatales y privadas con injerencia en el tema estudien las alternativas de que el caudal ambiental también estén en función del mantenimiento de las napas freáticas, de manera que siempre que sea viable, estos sistemas se comporten como "cuerpos lenticos" subterráneos que garanticen una aportación regular a las corrientes en los periodos de estiaje.

J- Es de suma importancia proteger aquellos tramos o segmentos de río que todavía poseen rasgos inalterados, prístinos o poco explotados, que sirvan como referencia relativa del funcionamiento del río en su condición natural. Son insuficientes los tramos vinculados en espacios ya protegidos por el estado, se requiere establecer corredores de borde fluviales (cinturones verdes) que pongan en contacto dichos espacios protegidos.

K- En cada gran proyecto, reglamentación o concesión de agua que se realice en una corriente es preciso tener un estudio ambiental y socioeconómico que fije las bases operativas para garantizar que la intervención de los caudales sea lo mas compatible posible con el mantenimiento del ecosistema fluvial, de forma que se asignen los volúmenes y se especifique el sistema para su vigilancia.

L- Adicional al análisis de la dinámica fluvial en asocio con el componente biótico se requieren criterios de manejo y gestión de los sedimentos, así como de las avenidas y eventos torrenciales que los limpien, arrastren y trasladen hasta los deltas, ciénagas, estuarios y áreas litorales en general.
M- Por ultimo, en cuanto la ausencia de datos e información mas fidedigna, ¿por qué no apoyarse y vincular a tantos colaboradores indirectos (pescadores, técnicos y conservacionistas) en cumplir labores de recopilación de información y de manera reciproca ¿darla a conocer? Esta información puede contribuir significativamente de cara a valorar las repercusiones del uso de regímenes de caudales ambientales, así como para hacer veeduría en el río de abusos por particulares y degradaciones por fuentes fijas y difusas.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, M y Bernardo, J. 2000. Contribução para uma metodologia de determinação do caudal ecológico em cursos de água temporarios. 5° Congreso da Água. Lisboa-Portugal

ANA. BRASIL., 2004. Gestão das águas. Disponível em <http://www.ana.gov.br>. Acessado
em 15/09/2004

AGUIRRE, A., Vicuña, B., 2000. Desarrollo metodológico sobre determinación de caudales Ecológicos en la CAPV: Criterios y consideraciones. 1º Congreso sobre Caudales Ecológicos. Ponencias y conclusiones. APROMA (Asoc. Profesionales del Medio Ambiente). Barcelona. 407 pp.

ARTHINGTON, A; Pusey, B; Brizga, S; Mccosker, R; Bunn, S; Growns, I. 1998. Comparatives Evaluation of Environmental Flow Assessment techniques: R & D Requirements. LWRRDC Ocassional paper 24/98.

ARTHINGTON, A.H., et al. Development of a Holistic Approach for Assessing Environmental Flow
Requirements of Riverine Ecosystems. En: Pigram J.J., Hooper B.P. (eds). Proceedings of an international Seminar and Workshop on Water Allocation for the Environment. The Centre for Water Policy Research, University of New England. Armidale, Australia, 1992.

ARTHINGTON, A.H., Conrick, D.L., Bycroft, B.M. Environmental Study: Barker-Barambah Creek. Volume 2. Scientific Report: Water Quality, Ecology and Water Allocation Strategy. 457 pp. Report for the Water Resources Commission, Queensland Department of Primary Industries. Centre for Catchment and In-Stream Research, Griffith University, Brisbane, 1992.

BENETTI, A; Lanna, E; Cobalchini, M. 2003. Metodologías para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasilera de Recursos Hídricos. Vol.8, nro. 2, p. 149-160.

BOOVE K. D., MILHOUS, R. T. Hydraulic Simulation in Instream Flow Studies: Theory and Techniques. Instream Flow Information Paper No. 5. US Fish & Wildlife Service, FWS/OBS, 78-33, 1978.

BRIZGA, S.O., A.H. Arthington, B.J. Pusey, M.J. Kennard,

S.J. Mackay, G.L. Werren, N.M. Craigie, and S.J. Choy. 2002. Benchmarking, a "top-down" methodology for assessing environmental flows in Australian rivers. In: Proceedings of International Conference on Assessing Environmental Flows for Rivers. Southern Waters Consulting, Cape Town, South Africa.

CAMPO, Y., RUIZ, D. Determinación del régimen de caudales ecológicos en el río Palacé (Cauca). Tesis de Pregrado en Biología. Popayán: Universidad del Cauca, 2001.

COLE, R.L.J. Wong, J.F. Arthur, and D.M. Ball. 1983. River discharge controls phytoplankton dynamics in the northern San Francisco Bay estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science 16: 415-429.

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Ambiente. Proyecto de Ley 365 de 2005.

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Ambiente. Resolución 865 de 2004.

COLOMBIA. Presidencia de la República. Decreto Ley 2811 de 1974. Código de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente.

CONAMA. Chile, 1998. Documento de Discusión: Gestión Integrada del Recurso Agua www.conama.cl/cds/cat_10acta

DAZA, C.P., Determinación de Caudales ecológicos en el río Las Piedras (Cauca), tesis Fundación Universitaria de Popayán (Popayán), Lic. en Ecología, 2002.

DIEZ Hernández, J.M. and Martínez de Azagra, A., Directrices para la Modelación Hidráulica de Caudales Ambientales con la Metodología IFIM. IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Tortosa (España), Fundación Nueva Cultura del Agua, 8-12 diciembre 2004, 2004b, en CD.

DIEZ Hernández, J.M. and Martínez de Azagra, A., Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas DGA. Chile, 1999. Política Nacional de Recursos hídricos. Disponible en <www.dga.cl>.

DGA. Chile, 2002. Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos. www.dga.cl/secuencias/servicios/derech_criterios.htm

GARCÍA DE JALÓN, D., González del Tánago, M. El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles. Madrid: Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, s.f.

IDEAM, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Estudio Nacional del Agua, Bogotá, http://www.ideam.gov.co/publica/index4.htm, 2000, pp. 27-39.

IDEAM, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). El Medio Ambiente en Colombia,Bogotá, http://www.ideam.gov.co/publica/index4.htm, 2001, pp. 458-461.

JACKSON, R; Carpenter, S; Dahm,C; Mcknight,D; Naiman, R; Postel, S; Running, S. 2001. Water in changing World. Issues in Ecology. Vol. 9, p. 1-16.

JAMETT, G. 2005. Evaluación del concepto caudal ambiental para alcanzar la conservación de ecosistemas lóticos. Tesis de Post-grado en desarrollo para optar al título de Master en Gestión y Planificación Ambiental. Programa de Inter - facultades, Universidad de Chile.

KING, J y Low, D. 1998. Instream Flow Assesment for regulated rivers in South Africa using Building Block Methodology. Aquatic Ecosystem Health and Management. Vol. 1, nro 2, p. 109-124.

KING, J; Tharme, R; Brown,C. 1999. Definition and Implantation of Instream Flows. Reporte final para World Comission of Dam. University of Cape Town. Sur Africa.

LAMB, B.L. 1995. Quantifying instream flows: matching policy and technology. Pages 7-1 to 7-22 in: L.J. MacDonnell and T.A. Rice, editors. Instream flow protection in the West. Revisededition. University of Colorado Natural Resources Law Center, Boulder.

MADDOCK, I. 1999. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. Freshwater Biology. Vol. 41, p. 373-391.

MARGALEF, R. 1991. Teoría de los sistemas ecológicos. Publications Universitat de Barcelona.

MINISTERIO de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial de Colombia. Resolución 0865 de 2004 por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el decreto 155 de 2004, Diario oficial N° 45630 de Agosto 4 de 2004, 2004.

MINISTERIO de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial de Colombia. Proyecto de Ley del Agua. http://www.miniambiente.gov.co/, 2006.

ODUM, W.E., E.P. Odum, and H.T. Odum. 1995. Nature's pulsing paradigm. Estuaries 18: 547- 555.

ORREGO, J. 2002. Legislación e institucionalidad para la gestión de las Aguas. Ed. Fundación TERRAM. Chile.

ORTH, D.J., and P.M. Leonard. 1990. Comparison of discharge methods and habitat optimization for recommending instream flows to protect fish habitat. Regulated Rivers: Research and Management 5(2): 129-138.

PALAU, I Antoni. Los mal Llamados Caudales "Ambientales". Bases Para Una Propuesta de Calculo. Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Departament de Medi Ambient

i Ciències del Sòl. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida. 1994.

PALAU, A. Régimen ambiental de caudales: estado del arte. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2003.

PALAU, A., Alcázar, J. The Basic Flow: An Alternative Approach to calculate Minimum environmental Instream Flows. En: Proceedings of Second International Symposium on Habitat Hydraulics. Québec, A, 1996, 547–558

POFF, N.L Y Allan, J.D. 1997. The Natural Flow Regime. Bioscience. Vol.47, nro 11, p. 769-785.

PUCKRIDGE, J.T., F. Sheldon, K.F. Walker, and A.J. Boulton. 1998. Flow variability and the ecology of arid zone rivers. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 49: 55-72.

STALNAKER, C.B., K.D. Bovee, and T.J. Waddle. 1996. Importance of the temporal aspects of habitat hydraulics to fish population studies. Regulated Rivers: Research and Management 12: 145-153.

SWALES, S., A.W. Storey, I.D. Roderick, and B.S. Figa. 1999. Fishes of floodplain habitats of the Fly river system, Papua New Guinea, and changes associated with El Nino droughts and algal blooms. Environmental Biology of Fishes 51: 399-410.

TENNANT, D. Instream Flow Regimes for Fish, Wildlife, Recreation and related Environmental Resources. En: Fisheries, 1, 1976, 6-10.

Tharme, R. Review of International Methodologies for the Quantification of the Instream Flow Requirements of Rivers. Water Law Review Final Report for Policy Development for the Department of Water Affairs and Forestry. Pretoria, 1996

TOCKNER, K., F. Malard, and J.V. Ward. 2000. An extension of the flood pulse concept. Hydrological Processes 14: 2861-