

Revista de Ingeniería

ISSN: 0121-4993

reingeri@uniandes.edu.co

Universidad de Los Andes

Colombia

Diez-Hernández, Juan Manuel

Evaluación de requerimientos ecológicos para el diseño de régimenes ambientales de caudales  
fluviales

Revista de Ingeniería, núm. 28, noviembre, 2008, pp. 15-23

Universidad de Los Andes

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015051003>

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

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

# Evaluación de requerimientos ecológicos para el diseño de regímenes ambientales de caudales fluviales

## Assessment of Ecological Requirements for the Environmental Fluvial Flows Setting

Recibido 19 de febrero de 2008, aprobado 17 de octubre de 2008, modificado 20 de octubre de 2008

**Juan Manuel Diez-Hernández**

Ph.D. Profesor titular, Grupo de Hidráulica e Hidrología, ETS. Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid. Valladolid, España.

jmdiez@iaf.uva.es ✉

### PALABRAS CLAVES

Caudales ambientales, conservación fluvial, recursos hidráulicos.

### KEY WORDS

Environmental flows, fluvial conservation, water resources.

### RESUMEN

Las sociedades avanzadas medioambientalmente están reclamando progresivamente una gestión fluvial auténticamente integral, que implemente Planes de Manejo de Cuencas Hidrográficas fundamentados en el paradigma del Régimen Ambiental de Caudales (RAC). Este trabajo sugiere una metodología genérica para establecer RAC confiables, que posibiliten el aprovechamiento hídrico a un coste ecológico admisible. Adicionalmente, plantea los criterios y técnicas preferentes para la evaluación de los requerimientos ecosistémicos de caudal, los cuales componen el RAC mediante el Régimen de Caudales Ecológicos (RCE). La adaptación de estos procedimientos para los ríos de Colombia favorecerá la conservación de su valiosa biodiversidad.

### ABSTRACT

The environmentally advanced societies are claiming progressively an authentically integral fluvial management, that implements Watershed Management Programs based on the paradigm of the Environmental Flows Regime (EFR). This work suggests a generic methodology for the reliable EFR setting, that facilitate the water use with an environmental acceptable cost. Additionally, it outlines the approaches and outstanding techniques for the evaluation of instream flow requirements, which constitute the EFR by means of the Instream Flow Regime (IFR). The adaptation of these approaches to the Colombian rivers will contribute to the conservation of their valuable biodiversity.

## **LOS CAUDALES AMBIENTALES PARADIGMÁTICOS DE UNA GESTIÓN HÍDRICA INTEGRAL**

Las utilidades de los hidrosistemas fluviales han contribuido de modo significativo al progreso histórico de la sociedad mundial, de modo especialmente intenso durante las últimas décadas. Sin embargo, la consideración efectiva del coste ecológico asociado a las intervenciones hidráulicas y el cambio climático es un aspecto proyectivo relativamente reciente. Las comunidades científica y política respaldan explícitamente la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) como la herramienta idónea para aprovechar el agua de modo sostenible y socialmente equilibrado como se estableció en el IV Foro Mundial del Agua, México 2006, [1]. Por consiguiente, los Planes de Manejo y Ordenación de Cuencas Hidrográficas dirigidos a una GIRH verdadera deben fundamentarse en unos Regímenes Ambientales de Caudales (RAC), los cuales posibilitan el aprovechamiento racional del recurso hídrico salvaguardando la integridad ecosistémica global.

Un RAC fluvial confiable considera las dos facetas de un río como reserva hídrica y ambiental, e incorpora la variabilidad de flujos necesaria para el aprovechamiento conveniente de los bienes y servicios del medio fluvial, de modo compatible con la preservación de su patrimonio hidrobiológico y cultural. La serie de caudales con escala y duración variables que conforma el RAC compagina la explotación de los valores externos del recurso hídrico (hidroelectricidad, abastecimiento humano, riego, etc.) con el mantenimiento de una condición estipulada de los valores internos del hidrosistema [2]. La circulación de caudal remanente confiere al río una funcionalidad intrínseca para facilitar los usos no consumtivos del agua, ligados a cuatro categorías de valores internos: ecológico, cultural, recreativo y paisajístico [3]. A pesar del esfuerzo investigador realizado durante las dos últimas décadas hacia el desarrollo de técnicas para establecer RAC, la armonización de los usos activos y pasivos del agua en una cuenca sigue siendo uno de los asuntos más

contenciosos de la planificación hídrica en el ámbito mundial [4].

Este trabajo expone un marco operativo lógico para determinar los RAC fluviales en los contextos de la gestión de cuencas hidrográficas y en la evaluación ambiental de proyectos hidráulicos que alteren el régimen de caudales. Posteriormente, se revisan los enfoques principales utilizados para evaluar las demandas hídricas pasivas asociadas al valor interno ecológico: los conocidos Caudales Ecológicos (CE). No se presentan "recetas" sencillas para determinar deprisa los RAC ni los CE, sino aproximaciones operacionales hidro-científicas para regir la GIRH enfocada a la conservación de ecosistemas lóticos.

### **ESTABLECIMIENTO DE RAC EN LA PLANIFICACIÓN DE CUENCAS**

Las peculiaridades medioambientales y socioeconómicas involucradas en la planificación hidrológica de una cuenca determinan las especificaciones de su proceso definitorio de caudales medioambientales. A pesar de la casuística amplia, es posible plantear un enfoque genérico para determinar RAC satisfactorios que concilien los intereses de todos los colectivos implicados en los múltiples usos del agua. El esquema operativo de la Figura 1 constituye un procedimiento lógico para implantar RAC, compuesto de siete fases que estructuran cooperativamente los cometidos de los distintos grupos de interés, los órganos de decisión y la comunidad científica. Su aplicación facilita el licenciamiento de aquellas intervenciones que alteren significativamente alguno de los componentes del régimen de caudales preexistente: magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad y tasa de cambio [5]. La monitorización de los caudales modificados permite evaluar la eficacia ecológica del RAC, y optimizar su adaptación a los objetivos de conservación.

### **IDENTIFICACIÓN DE LOS VALORES FLUVIALES**

La primera fase de esta aproximación consiste en identificar la significación de las utilidades extrínse-

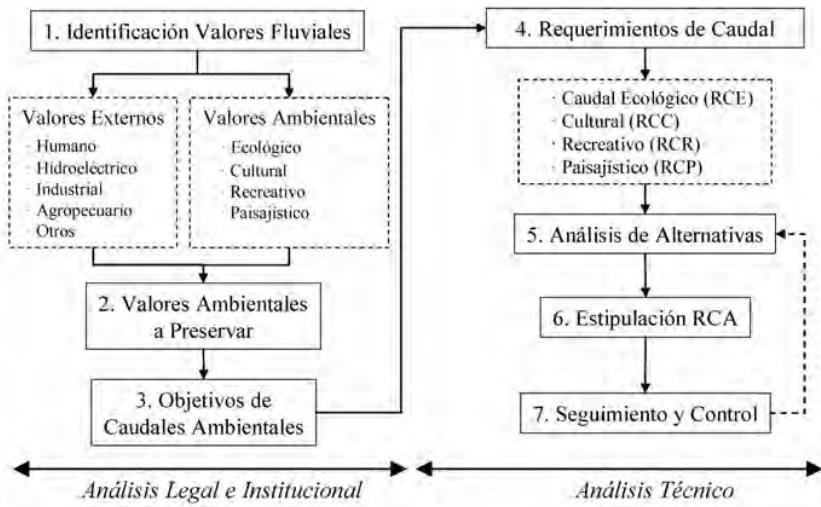


Figura 1. Procedimiento genérico para el establecimiento de Regímenes Ambientales de Caudales (RAC).

cas e intrínsecas del sistema fluvial, denominadas Valores Externos y Ambientales, respectivamente. Los primeros derivan de la concepción de río como un suministrador primordial del agua-recurso que precisa la sociedad para el abastecimiento humano (derecho fundamental) y para las diversas actividades económicas. Los valores ambientales sustentan la idea esencial del río como ecosistema que requiere una dotación hídrica suficiente para mantener unos usos fluviales pasivos cada vez más reclamados, los cuales se incluyen en las siguientes cuatro categorías amplias: ecológico, cultural, paisajístico y recreativo. A modo de ejemplos simples, se pueden citar las necesidades de unos caudales mínimos para posibilitar: (i) la supervivencia de la ictiofauna (desove, migración, etc.); (ii) la celebración de ritos comunales vinculados a una condición fluvial particular; (iii) el deleite escénico de un corredor fluvial de apariencia cuasi/prístina; y (iv) la práctica de actividades lúdico-deportivas (canotaje, pesca, etc.).

#### ESTIPULACIÓN DE LOS VALORES AMBIENTALES A MANTENER

El contexto legal e institucional particular en el que se desarrolla la ordenación hidrológica de una cuenca define la prelación de los distintos usos activos y pasivos del agua. Para ello, los marcos normativos en

materia de planificación hidrológica regidores en los diferentes ámbitos hidrográficos deben explicitar dicho criterio de preeminencia, o bien aportar las directrices para su definición. En el caso de España, la Ley de Aguas (RDL 1/2001) considera al abastecimiento humano como valor hegemónico en la asignación del recurso, juicio compartido en el ámbito mundial. El segundo lugar priorizado lo ocupan las demandas ecológicas, consideradas como un valor ambiental esencial que se impone como restricción general a la explotación. El código Colombiano destaca en el proyecto de Ley del Agua [6] la importancia estratégica del agua como facilitadora del desarrollo sostenible del país en los contextos social, económico, ambiental y cultural (Art. 2). El criterio de prioridad se concreta en el requisito para el otorgamiento de concesiones (Art. 23), que subordina la autorización de una explotación al mantenimiento de un “caudal ecológico” garantizador del patrimonio hidrobiológico (Art. 21).

Los órganos decisarios en la planificación hidrológica deben seleccionar los valores ambientales a conservar, para promover un manejo sostenible de los hidrosistemas. Generalmente, los caudales necesarios para sustentar los diferentes valores ambientales son desiguales y no es raro que entren en conflicto. Un ejemplo de esta contraposición de intereses es la que

puede producirse entre las descargas que optimizan la práctica del descenso de rápidos en balsa (“rafting”) y los requeridos para el desove exitoso de un pez. Cuando aparezcan estos escenarios con objetivos enfrentados, los gestores deberán priorizar los valores ambientales amparados.

#### **DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE CAUDALES**

##### **AMBIENTALES**

En la tercera fase se concretan las condiciones fluviales con las que se pretenden mantener los valores ambientales preseleccionados, denominadas Objetivos de Caudal Ambiental (OCA). En consecuencia, cada valor ambiental lleva asociado su correspondiente OCA, que detalla el grado de conservación pretendido. Algunos ejemplos posibles de objetivos son: optimizar la extensión del hábitat físico para la reproducción de una especie autóctona (ecológico); reducir el 10% la superficie de hábitat utilizable por el adulto de un pez (ecológico); extender 15 días el período hábil para el descenso estival de rápidos en balsa (recreativo-comercial); minimizar la alteración de caudales durante los festejos de una localidad con tradición fluvial (cultural); o incrementar la heterogeneidad de ambientes hidráulicos para mejorar un 25% la calidad escénica de un río (paisajístico). El modo de expresión de los OCA puede ser dual y jerarquizado, incrementándose la especificación progresivamente, desde un planteamiento general en el ámbito institucional (p.ej. caudal para mantener un estado ecológico aceptable de la ictiofauna) hasta el máximo detalle en el nivel técnico (maximizar la superficie de las zonas reproductivas).

#### **EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CAUDAL**

Cada OCA estipulado está ligado a un requerimiento de descargas fluviales que posibilitan su consecución. En consecuencia, dependiendo del valor ambiental amparado, se determinan distintos tipos de Regímenes de Caudales: Ecológicos (RCE), Culturales (RCC), Recreativos (RCR) o Paisajísticos (RCP). Una parte esencial de este proceso es identificar los parámetros críticos evaluadores de cada objetivo, los cuales

varían ampliamente dependiendo de la situación. Este trabajo aborda el cálculo de los Caudales Ecológicos, remitiendo a criterios específicos para definir los otros requerimientos [3].

#### **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS**

Cada colectivo implicado en la gestión hídrica tiene intereses diferentes y propone alternativas acordes con sus prioridades. Habitualmente, existen discordancias y contraposiciones entre los objetivos de caudal vinculados con los distintos valores externos y ambientales considerados. Por ello, la única alternativa de RAC potencialmente exitosa es la que deriva de una negociación que satisfaga razonablemente los objetivos de todos los interesados, en términos de efectividad, factibilidad, riesgo y valoración económica. En esta fase se valoran los efectos de cada uno de los requerimientos de caudal predefinidos sobre el ecosistema fluvial, comparando el régimen de caudales resultante con el de la línea base referencial. La adecuación progresiva de las múltiples alternativas (usos activos y/o pasivos) a las restricciones impuestas por los valores ambientales determina un RAC comprensivo y defendible. Es destacable que la gestión medioambiental de caudales en una cuenca puede incorporar medidas complementarias de corrección y mitigación ecológica (p.ej. mejora de la vegetación ribereña para reducir los efectos adversos de los caudales reducidos, limpieza de frezaderos, repoblación piscícola, etc).

#### **ESTIPULACIÓN DEL RAC**

Una vez consensuado el RAC, todos los usuarios representados formalizarán su compromiso de hacerlo respetar como signatarios del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCH). En Colombia, parece lógico que cada POMCH esté comprendido en su respectivo RAC, de modo coherente con los criterios concertados de prelación de usos y objetivos de manejo. El proyecto de Ley del Agua de Colombia [6] designa para ello al Consejo de Cuenca como órgano regidor fundamental de la planificación hídrica ambiental que propugna este trabajo (Art. 15).

#### SEGUIMIENTO Y CONTROL

La incertidumbre inherente a este enfoque reduccionista del sistema fluvial conlleva la necesidad de unos programas de seguimiento, que evalúen la eficacia real de los RACs implementados. Por ello, el Artículo 15 de la proposición colombiana de Ley del Agua explicita la obligación de que los POMCH incluyan los mecanismos de seguimiento y los indicadores ambientales evaluadores de la eficacia ambiental. Bajo esta premisa, el régimen de caudales constituye un indicador valioso del estado ecológico fluvial, puesto que condiciona otros indicadores hidromorfológicos y está vinculado con indicadores biológicos, fisicoquímicos y contaminantes [7].

#### EVALUACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS ECOLÓGICOS DE CAUDAL

Una vez definida la naturaleza del Régimen de Caudales Ecológicos (RCE) como elemento constitutivo básico del Régimen Ambiental de Caudales (RAC), se propone un procedimiento para su determinación en el ámbito del licenciamiento ambiental en Colombia. El inicio debe ser la formulación del Objetivo de Caudal Ambiental - Ecológico (OCAE), que indica los organismos y hábitats de valor, así como el nivel de protección de los mismos. Salvo en los contextos fluviales de una preservación ecológica estricta (p.ej. *in statu quo* en una reserva hidrobiológica), el OACE propenderá la optimización del equilibrio entre el necesario aprovechamiento hídrico y la reducción de la calidad ecosistémica.

Los tres componentes que determinan la capacidad de un RCE para mantener una condición ecológica fluvial determinada son: calidad de agua, calidad de hábitat y variabilidad de caudal. La importancia de los requerimientos anteriores depende del ambiente ecohidráulico específico, pero invariablemente los dos parámetros críticos de un RCE son: un caudal mínimo que satisfaga las exigencias ecohidráulicas de calidad de agua y de hábitat; y una variabilidad de caudal que satisfaga las exigencias ecohidrológicas. En

resumen, un RCE emula la fenología primigenia mediante una serie temporal de caudales que es coherente con la adaptabilidad de la biocenosis y asegura una condición de hábitat acuático tolerable en términos de calidad y cantidad.

#### CAUDAL MÍNIMO PARA LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA

Este aspecto se tendrá en cuenta en los casos con: (i) previsión de calentamiento del agua causado por una reducción de caudal; (ii) emisión puntual de nutrientes, materia orgánica o contaminantes tóxicos; y (iii) proliferación difusa de nutrientes, efecto de una biomasa vegetal elevada. En general existen estándares confiables de los parámetros de calidad hídrica relacionados con la tolerancia biológica, los cuales son considerados en los criterios que siguen las instituciones reguladoras del medio fluvial. La evaluación de caudales mínimos aplica modelos de calidad hídrica para estimar los umbrales de caudal que limitan el impacto biológico aceptable. A modo de ejemplo, el paquete informático QUAL2K [8] modela los contaminantes convencionales (nitrógeno, fósforo, DBO, demanda de oxígeno de sedimentos, algas), pH, perifiton y patógenos.

#### CAUDAL MÍNIMO PARA LOS REQUERIMIENTOS DE HÁBITAT FLUVIAL

Es conocido el papel condicionante del hábitat acuático físico en la actividad vital y en la dinámica poblacional de los organismos fluviales [9]. Los métodos evaluadores del caudal mínimo basado en el hábitat determinan la descarga que produce las condiciones hidráulicas precisas para el desempeño de las estrategias vitales de alimentación, refugio y reproducción de la biocenosis fluvial (profundidad, velocidad, etc.). El hábitat suele ser un aspecto crucial en la determinación de RCE, puesto que la alteración de caudal afecta invariablemente la potencialidad biogénica de una corriente [10]. Estas demandas medioambientales se han calculado desde hace más de dos décadas, mediante casi 200 métodos diferentes [11], que pueden clasificarse en seis categorías: hidrológicos (30%),

hidráulicos (11%), ecohidráulicos (28%), holísticos (8%) y otros (23%). Las principales técnicas anteriores se revisan en el trabajo de Diez-Hernández [12]. La práctica en los países desarrollados del hemisferio norte aplica masivamente los métodos ecohidráulicos, mientras que las regiones con legislaciones recientes prefieren los enfoques holísticos más generales. Los modelos ecohidráulicos explícitos de hábitat son los más aplicados, difundidos y aceptados científicamente para un rango amplio de condiciones ambientales, y su capacidad en Colombia es prometedora [13]. En esencia, este marco analítico avanzado evalúa el hábitat acuático utilizable para un organismo objetivo bajo múltiples regímenes de caudales y escenarios de estructura biológica configurables.

La evaluación espacial del micro-hábitat físico (Figura 2) combina las predicciones de las variables micro-hidráulicas determinantes de su idoneidad con los criterios de preferencia de los organismos objetivo (OCAE), para generar las relaciones funcionales entre el caudal y un índice evaluador de la calidad del hábitat en el tramo fluvial. El modelamiento hidráulico del cauce puede regirse por enfoques con dimensionalidades variadas (1D/2D/3D) que comparten la misma finalidad de predecir en cada elemento discretizador del dominio al menos la profundidad y la velocidad asociadas a cada evento de flujo analizado (adicionalmente el esfuerzo cortante, número de Froude, etc.). El sistema de caracterización fluvial clásico uni-dimensional 1D (Figura 2a) resuelve flujos uniformes y/o variados en un conjunto de secciones transversales representativas, compuestas de múltiples subsecciones caracterizadoras de la heterogeneidad micro-hidráulica del álveo. Las soluciones multidimensionales 2D/3D conforman un modelo digital de elevaciones batimétricas detallado sobre el que se resuelven los sistemas hidrodinámicos discretizados que gobiernan el flujo, produciendo los campos explícitos de las variables hidráulicas [2]. El criterio de preferencia biológica del ambiente micro-hidráulico más utilizado [14] se incorpora mediante las denominadas Funciones de Preferencia (Figura 2b), cuyas

idoneidades de hábitat varían entre cero (inadecuado) y uno (óptimo).

El Índice de Hábitat de cada elemento discretizador ( $IH_i$ ) agrega las idoneidades individuales de las variables constitutivas mediante una ponderación con significación biológica:  $IH_i = Iv_i^a \cdot Ip_i^b \cdot Im_i^c$ . Los índices de idoneidad para la velocidad ( $Iv$ ), la profundidad ( $Ip$ ) y el material del lecho ( $Im$ ) están ligados a sus respectivos pesos ( $a+b+c=1$ ). La extensión del algoritmo a todo el dominio ecohidráulico (Figura 2c) produce la descripción predictiva del hábitat espacialmente distribuido durante una descarga. Integrando las contribuciones de todas las celdas mojadas durante cada uno de los caudales del intervalo analizado (Figura 2d), se desarrollan las decisivas relaciones entre el Índice de Hábitat ( $IH$ ) y el Caudal ( $Q$ ). Los intervalos de caudales que optimizan estas funciones identifican los caudales mínimos para los distintos organismos objetivos de un estudio de caudales ambientales.

#### VARIABILIDAD DE CAUDAL PARA LOS REQUERIMIENTOS ECOSISTÉMICOS

La cantidad y frecuencia del caudal son variables hidrológicas esenciales que rigen los procesos geomorfológicos, físicos, químicos y biológicos de un río. De este modo, condicionan la distribución y la abundancia de las especies de ribera, y regulan la integridad ecosistémica [15]. La caracterización adecuada de la variabilidad de un RCE incluye cinco variables con significación ecológica: magnitud, frecuencia, duración, predictibilidad y tasa de variación [5]. Las especificaciones del procedimiento de cálculo dependen del tipo de proyecto de regulación, pero persiguen invariablemente un escenario hidrológico que respete los caudales mínimos precalculados y emule lo más posible la fenología prística. Una herramienta muy empleada para esta finalidad es la evaluación ecohidrológica temporal (Figura 2e) que calcula las respuestas de las diferentes alternativas de manejo de caudales en términos de hábitat global en el tramo. Para ello, cada valor (a) de una serie temporal de caudales (iz-

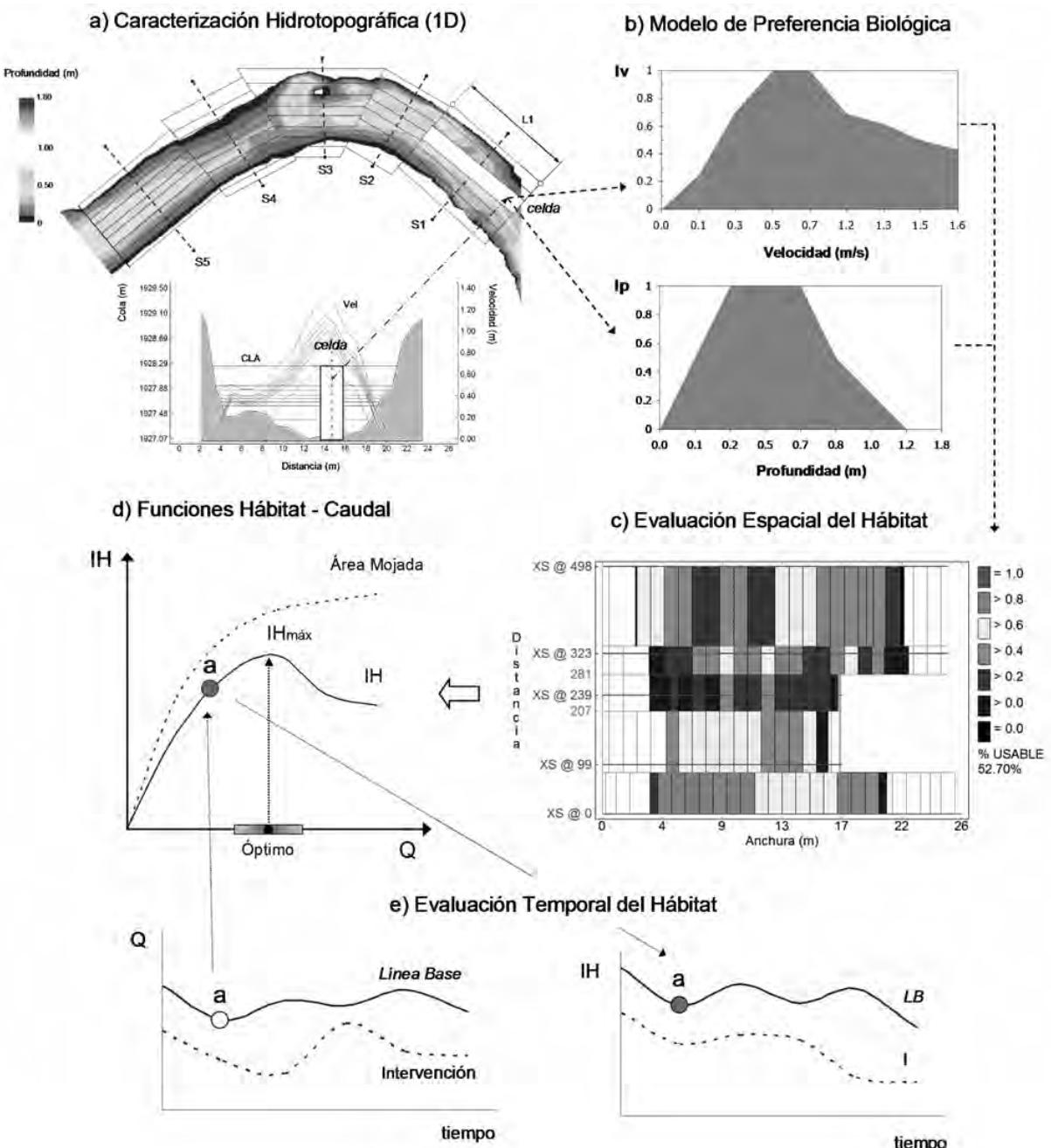


Figura 2. Esquema procedimental de la evaluación echohidráulica espacio-temporal del hábitat fluvial, enfocada a la determinación de Regímenes de Caudales Ecológicos (RCE). Los campos de profundidad y velocidad media (a) se combinan con las funciones de preferencia biológica (b), para generar el campo de idoneidad de hábitat (c). La agregación del microhábitat en todo el dominio fluvial produce la función Índice de Hábitat (IH) – Caudal (Q), cuyo intervalo óptimo identifica los caudales mínimos (d). El análisis temporal del hábitat permite diseñar la variabilidad de caudales de un RCE, comparando la Línea Base con la Intervención (e). Cada valor de caudal (a) de una alternativa (izquierda) se vincula con su IH respectivo, generando la serie de hábitat (derecha).

quierda) se vincula con su ordenada respectiva de la función IH-Q, estimando así el efecto ecológico en la serie temporal de hábitat (derecha).

Adicionalmente, un RCE debe programar unos eventos de flujo extraordinarios que reproduzcan el papel natural de las crecientes en las dinámicas geomorfológicas y biológicas del tramo fluvial (cauce-márgenes) y de ambientes aguas abajo (estuarios, costas, etc.) [16]. El caudal de lavado elimina los sedimentos y el perifiton depositados sobre el medio intersticial, conservando su potencial biogénico. El caudal de inundación proporciona la humedad necesaria para ciertos procesos biológicos en las márgenes y transporta materia orgánica al cauce durante la recesión. Otros caudales ecológicos operan procesos diversos, como la conformación de la morfología del cauce (generador), el control de la cuña salina, etc.

Las consideraciones anteriores plantean los criterios y procedimientos básicos para implementar una gestión integral del recurso hídrico fluvial. Los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas en Colombia que sean verdaderamente ambientales deberán cimentarse sobre unos Regímenes Ambientales de Caudales (RAC) confiables, que incorporen los requerimientos ecosistémicos (caudales ecológicos) como una demanda hídrica pasiva y prioritaria.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CONAGUA (Comisión Nacional del Agua de México). “Informe Final del IV Foro Mundial del Agua”. Fecha de consulta: 18 Octubre 2008. Disponible en: <http://www.worldwaterforum4.org.mx>
- [2] J.M. Diez-Hernández y L. Burbano-Burbano. “Revisión de los modelos eco-hidráulicos uni-dimensionales y bi-dimensionales en corrientes fluviales”. *Avances en Recursos Hidráulicos*, N° 15, Septiembre 2007, pp. 75-88.
- [3] A.H. Arthington, S.O. Brizga y M.J. Kennard. *Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques*. Canberra, Australia: Land and Water Resources Research Corporation, 1998, pp. 34.
- [4] J. King. “Environmental Flows for fluvial maintenance and conservation”. *Proceedings V International Symposium on Ecohydraulics*. D. García de Jalón y P. Vizcaíno (ed). Madrid: IAHR, 2004, pp. 25-37.
- [5] B.D. Richter, J.V. Baumgartner, J. Powell and D.P. Braun. “A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems”. *Conservation Biology*. Vol. 10, No. 4, 1996, pp. 1163-1174.
- [6] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. *Proyecto de Ley del Agua (Colombia)*. Fecha de consulta: 28 Diciembre 2007. Disponible en: <http://www.miniambiente.gov.co>
- [7] J.M. Diez-Hernández. “Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas”. *Ingeniería y Competitividad*, Vol. 7, N° 2, Septiembre 2005, pp. 11-18.
- [8] EPA (US Environment Protection Agency). *River and Stream Water Quality Model (QUAL2K 2.07)*. Fecha de consulta: 14 Febrero 2008. Disponible en: <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>
- [9] C.J. Gippel and M.J. Stewardson. “Development of an environmental flow management strategy for the Thomson River, Victoria, Australia”. *Regulated Rivers: Research and Management*. Vol. 10, N° 2-4, August 1995, pp. 121- 135.

- [10] R.T. Milhous.  
“History, theory, use, and limitations of the Physical Habitat Simulation System”. *Third International Symposium on Ecohydraulics*. Logan, UT: Utah State University Extension, August 1999, pp.1-25.
- [11] R.E. Tharme.  
“A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers”. *River Research and Applications*. Vol. 19 No. 5 - 6, 2003, pp. 397- 442.
- [12] J.M. Diez Hernández y L. Burbano.  
“Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas”. *Ingeniería e Investigación*, Vol. 26, No. 1, Abril 2006, pp. 58-68.
- [13] J.M. Diez Hernández y D.H. Ruiz-Cobo.  
“Determinación de caudales ambientales confiables en Colombia: el ejemplo del río Palacé (Cauca)”. *Gestión y Medio Ambiente*, Vol. 10, No. 4, Mayo 2007, pp. 153 -166.
- [14] K.D. Bovee.  
*A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. Fort Collins, Colorado, EEUU: U.S. Fish and Wildlife Service, 1982, pp.172.
- [15] V. Resh, A. Brown, A. Covich, M. E. Gurtz, H.W. Li, G. W. Minshall, S. R. Reice, A.L. Sheldon, J. B. Wallace and R. C. Wissmar.  
“The role of disturbance in stream ecology”. *Journal of The North American Benthological Society*. Vol. 7, No. 4, 1988, pp. 433-455.
- [16] R. T. Milhous,  
“Relating Streamflows to the health of an aquatic ecosystem”. *Proceedings VI International Symposium on Ecohydraulics*. Jowet, I, Chritchchurch, New Zealand: 2007.