

# HACIA UNA GESTIÓN INTEGRAL DE LAS PLANICIES INUNDABLES EN LA CUENCA MAGDALENA-CAUCA\*

---

Thomas Walschburger / Héctor Angarita / Juliana Delgado\*\*



---

\* Este documento hace parte de una serie de ocho artículos contratados para presentar en los foros regionales "¿Para dónde va el río Magdalena? Riesgos sociales, ambientales y económicos del proyecto de navegabilidad". Foros que se llevaron a cabo en 2015 en Bogotá (14 de abril), Barranquilla (28 de julio) y Honda (septiembre).

Los documentos se publicarán próximamente en un libro, editado por el Foro Nacional Ambiental y Fescol.

\*\* Investigadores The Nature Conservancy, Programa Nasca, Bogotá.

## Introducción

A lo largo de su historia, la cuenca del río Magdalena ha sido el eje articulador del desarrollo de Colombia, importancia que se visualiza por medio de algunos indicadores, como que a pesar de representar solo 24% de la superficie del país, alberga 77% de su población, casi toda la actividad económica se centra allí y, por tanto, genera 80% del PIB así como también 70% de la energía hidráulica, 95% de la termoelectricidad, 70% de las cosechas agrícolas, 90% del café y 50% de la pesca de agua dulce.

No obstante, estas actividades del desarrollo han significado también cambios notables en su entorno natural, se ha transformado y deforestado 77% de su cobertura vegetal original, la pesca ha caído en más de 50% en los últimos treinta años (Valderrama et al., 2014), la sedimentación se ha incrementado en 30% (Restrepo et al., 2005), y la minería ilegal ha vertido toneladas de mercurio a los ríos (180 toneladas no más en Segovia, Antioquia: *Nota UniAndina*, 2014), lo cual hace que la mayoría de peces presenten hoy en día niveles muy por encima de lo permitido para el consumo humano. A pesar de este declive, persisten aún más de 35.000 pescadores en la cuenca media y baja del Magdalena y más de 150.000 personas dependen todavía de la pesca como su fuente principal de proteína, aun cuando no sea la más saludable.

¿Por qué hemos llegado a esta situación en la que los indicadores de sostenibilidad ambiental son poco alentadores y más bien preocupantes? El problema principal es, quizá, la falta de coordinación interinstitucional y la ausencia total de una gestión integral a nivel de la cuenca. La desarticulación de esfuerzos oficiales para su protección ha sido considerada por el procurador delegado para Asuntos Ambientales como de extrema gravedad. En el

mismo Plan nacional de desarrollo 2010-2014 se consideró como prioritario continuar con el desarrollo de infraestructura vial y la navegabilidad del río Magdalena, pero sin visión de cómo avanzar hacia el manejo integral de la cuenca resaltando la necesidad de equilibrar desarrollo y medio ambiente. Igualmente, el plan de expansión hidroeléctrico continúa centrado en la cuenca del Magdalena, viendo a los ríos simplemente como fuente de agua pero no como un recurso del cual dependen también un sinnúmero de otras actividades económicas y servicios ecosistémicos importantes para el bienestar humano. Es sorprendente que nadie mencione que la salud del río depende de un caudal ecológico (no de un caudal mínimo) y una determinada calidad de aguas. En ninguno de estos planes se adopta una visión de cuenca ni se incluye el análisis de efectos acumulativos ni se han tenido en cuenta la intensificación de eventos climáticos extremos, como el último fenómeno de la Niña de 2010-2011, cuyas inundaciones afectaron a más de 2'200.000 personas y cuya eventual recurrencia puede ser mucho más alta a la observada en las series históricas. Finalmente, la expansión de la agroindustria de la palma ha sido muy fuerte en el Magdalena medio, más de 100.000 hectáreas, con una demanda muy alta de agua para irrigación.

Proyectando hacia el futuro todas estas actividades económicas, el impacto esperado sobre la hidrodinámica natural del río va a ser muy alto, la calidad de sus aguas seguirá deteriorándose y es de esperar que la integridad ecológica y la preservación de sus servicios ecosistémicos sea también fuertemente afectada. Entre estos servicios hay varios muy importantes que ni siquiera se valoran económicamente y se siguen considerando externalidades, como son la depuración natural de aguas servidas, el control de la erosión, la provisión de recurso pesquero, amortiguación de inundaciones, regulación de flujos, conservación de la vida silvestre y la recreación, entre otros muchos más.

Este artículo analiza algunos de estos posibles escenarios futuros y aporta algunas ideas para avanzar hacia su gestión integral y evitar su degradación más allá de niveles irreversibles.

## **Impactos esperados sobre caudales por la ampliación del sector hidroeléctrico a 2025 y 2050**

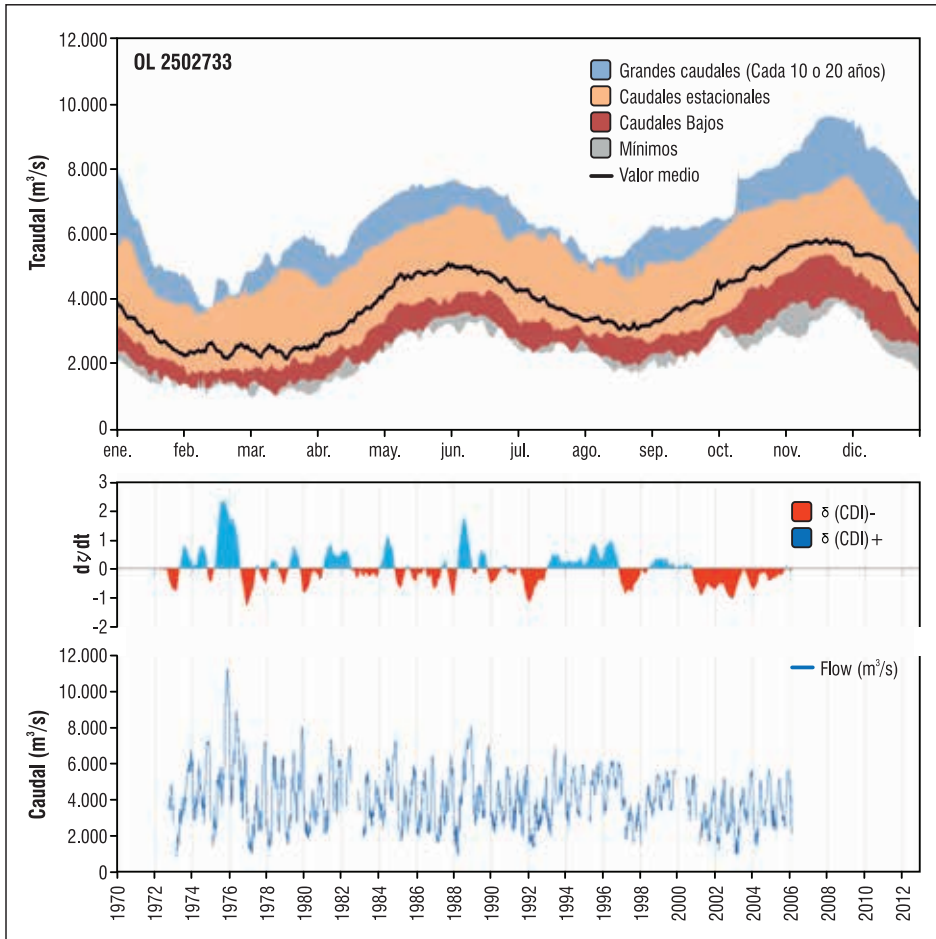
El régimen natural de flujo de un río es quizás el principal componente para su salud, y hace referencia al conjunto de atributos que describen la magnitud y la temporalidad del agua que fluye por él. Esta hidrología permite ca-

racterizar la disponibilidad de agua en los sistemas fluviales y su relación con procesos físicos y ecológicos. La estacionalidad de los caudales (los periodos húmedos y secos alternados en el año) está asociada a los ciclos de vida de diferentes especies de peces y a la floración y fructificación de la vegetación riparia. También determina la conectividad del río con su planicie, en donde se ubican las ciénagas en las que ocurre la reproducción y el crecimiento de muchas especies. Los picos de descarga (inundaciones grandes) son importantes también, porque permiten la redistribución del agua, movilizar sedimentos, materia orgánica y nutrientes, y renovar así los sistemas fluviales.

Existen numerosos casos documentados en el mundo (véanse, por ejemplo, Poff et al., 2010; Bunn y Arthington, 2002) que ilustran cómo los cambios en el régimen de caudales de los ríos, ocasionados por proyectos de infraestructura como embalses, desviaciones, diques longitudinales, dragados, etcétera, son los responsables de la degradación de ecosistemas de agua dulce y de los servicios que estos proveen. En el contexto actual de crecientes presiones regionales sobre el recurso hídrico en la cuenca Magdalena-Cauca, como son la construcción de una serie de grandes represas (Quimbo, Sogamoso, Ituango) y otras previstas a mediano plazo en los principales afluentes de este río, sumado a proyectos de navegación e intensificación de la irrigación en cultivos agroindustriales, todas estas presiones representan escenarios de cambios progresivos con efectos acumulativos sobre el régimen hidrológico de ríos y ciénagas, cuyas implicaciones para la salud de los ecosistemas son muy graves. Por ejemplo, al modificar la estacionalidad de los caudales se puede impedir la reproducción o el crecimiento de especies de peces autóctonas o el reclutamiento de vegetación en la riberas de los ríos, o al eliminar los eventos de caudales máximos, como las inundaciones pequeñas y medianas de cada cinco o diez años, se modifica el equilibrio morfológico del río y se pierde, a su vez, la conectividad entre las ciénagas y los ríos que proporcionan hábitat y medios de vida a ecosistemas y comunidades. Si se tiene en cuenta que el sistema fluvial Magdalena-Cauca alberga más de doscientas veintinueve especies de peces, cerca de la mitad endémicas y con rangos de distribución limitados por la especificidad de las condiciones biofísicas e hidrológicas (Maldonado-Ocampo, Vari y Usma, 2013), las alteraciones del régimen hidrológico suponen riesgos significativos de pérdida de especies y/o servicios ambientales (figura 1).

Es por ello que desde una perspectiva de la conservación y uso sostenible de la cuenca, la planificación del recurso hídrico en ella debe considerar, desde ya, cuestiones tales como:

Figura 1. Régimen de caudales del río Magdalena a diferentes escalas de tiempo\*



\* Esas escalas de tiempo abarcan desde eventos específicos a escalas diarias, tales como crecientes de inundación o periodos secos, hasta oscilaciones de varios años (deca- dales). En este caso, la primera gráfica muestra el patrón estacional en un año de los caudales del río Magdalena aguas arriba de la ciénaga de Zapatosa (2502733), y los rangos en los que se presentan los caudales observados. En este caso, puede verse que los rangos de ocurrencia de caudales son bastante amplios.

La segunda figura señala las oscilaciones macroclimáticas presentes en el río, con los periodos comparativamente secos (en rojo) y húmedos (en azul) y sus duraciones variables.

La tercera gráfica muestra los caudales diarios observados y sus atributos de alta frecuencia, como los eventos extremos máximos (por ejemplo 1976) y mínimos (1988, 1992, 1998). En su conjunto, elementos presentes en estas tres gráficas son responsables de diferentes procesos físicos y ecosistémicos en el río.

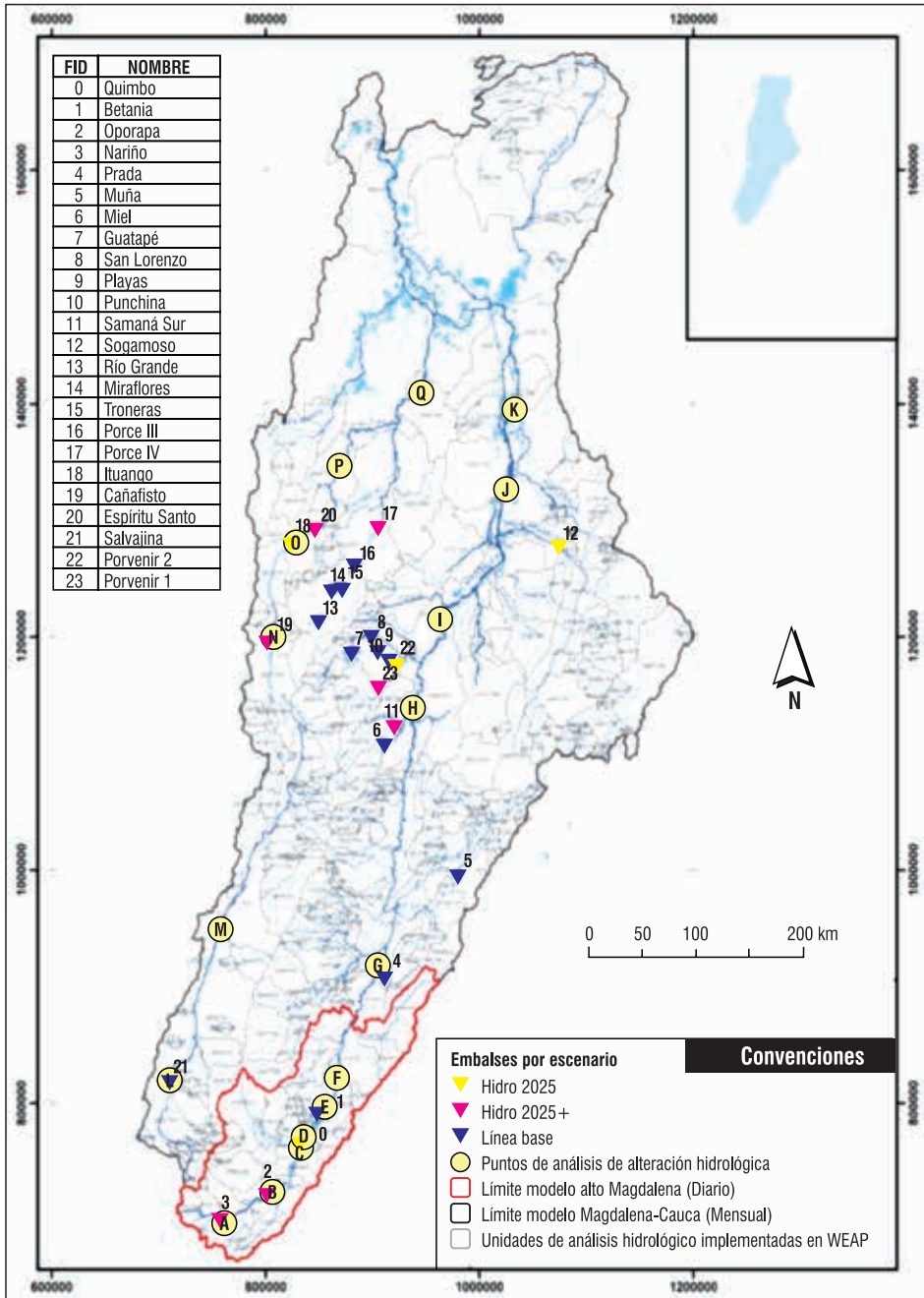
- ♦ ¿Cuáles son los atributos particulares del régimen de caudales de un río que son fundamentales para los procesos de los ecosistemas lóticos (ríos y quebradas) o lénticos (lagos y ciénagas) presentes en la cuenca Magdalena-Cauca?
- ♦ ¿Cuáles son los cambios esperados sobre el régimen de caudales a escala regional que resultan de múltiples intervenciones, actuales y proyectadas, en diversos puntos de la cuenca?
- ♦ ¿Qué nivel de riesgo representa para un ecosistema y sus servicios asociados la puesta en marcha de un régimen de flujo determinado?

Con el fin de profundizar en los cambios en los regímenes de caudales y contribuir en la planificación regional de la cuenca, este estudio analizó escenarios futuros de modificación del régimen de caudales enfocados al desarrollo del sector de hidroenergía, y, a su vez, sus vínculos con la variabilidad del clima y diferentes escenarios potenciales de cambio climático. Los resultados buscan proporcionar una perspectiva crítica en los procesos que guían la planificación a escala de cuenca, y la aplicación tanto del desarrollo de infraestructura, así como los proyectos de conservación de los ecosistemas.

Para este fin, se implementó un modelo para el análisis integrado de oferta y demandas hídricas de la cuenca Magdalena-Cauca utilizando la herramienta WEAP21 (Yates, Sieber, Purkey y Huber-Lee, 2005), disponible para consulta de los usuarios de la cuenca. El análisis consideró varios escenarios, en tres horizontes de tiempo: 1) línea base: 2010; 2) implementación del plan de expansión de referencia al año 2025; y 3) proyectos por desarrollar posteriores a 2025 (2025+), que se resumen en las figuras 2 y 3.

El primer caso evalúa las condiciones actuales de intervención de la cuenca, que corresponden a trece grandes embalses de generación hidroenergética. El segundo escenario, por su parte, se basa en el plan de expansión nacional de generación eléctrica de largo plazo (2012-2025), elaborado por la Unidad de Planeación Minero Energética (Upme, 2012), que define los proyectos necesarios para la ampliación de la infraestructura de generación para Colombia. Este plan obedece a proyecciones de demanda eléctrica del país hasta el año 2025 y considera también exportaciones promedio de 250 MW. Conforme al mismo, se prevé que en 2025 se encuentren en operación veintiséis grandes centrales hidroeléctricas en Colombia. Respecto a la condición actual, las nuevas centrales (seis en total) incrementan en aproximadamente 62% la capacidad instalada de hidro-generación a 2012. Finalmente, el tercer

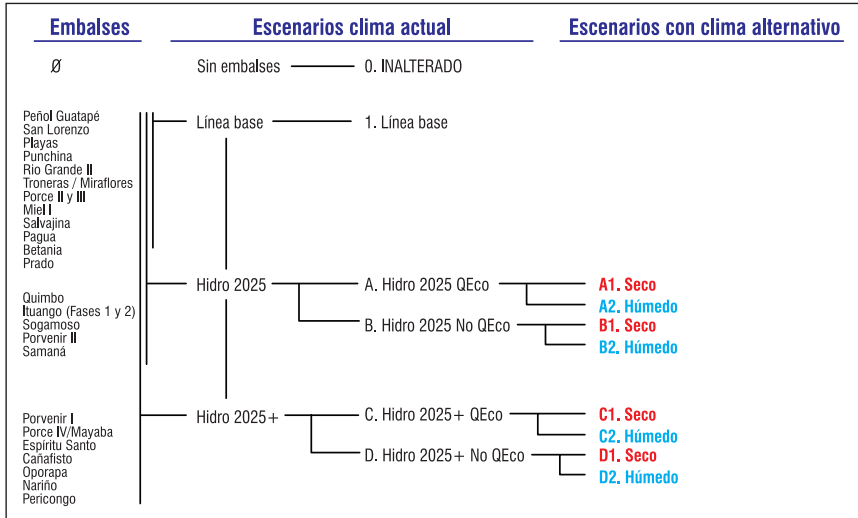
Figura 2. Área de estudio\*



\* Se muestra la localización de intervenciones actuales y proyectadas analizadas (números 0-23), y los sitios de análisis de alteración hidrológica (letras A-Q).



Figura 3. Escenarios de análisis de alteración del régimen hidrológico en la cuenca asociados al desarrollo del sector hidroeléctrico

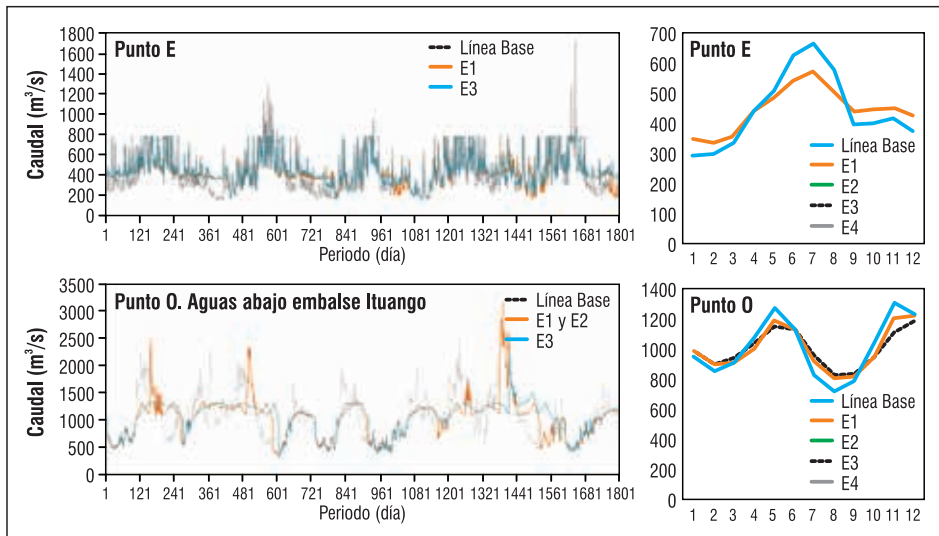


horizonte incluye ocho proyectos actualmente en seguimiento o evaluación en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (Anla), y que, por tanto, podrían desarrollarse en el futuro. Cada escenario se analizó respecto a diferentes condiciones climáticas (presente, seca y húmeda), basadas en proyecciones climáticas a 2040 derivadas del estudio más reciente del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2014).

El estudio revela que en los escenarios futuros se presentarán modificaciones del régimen de caudal en tramos extensos de los ríos Magdalena y Cauca por el efecto de la regulación de los embalses. Los niveles de alteración observados, sin embargo, varían considerablemente en función de las características y el número de intervenciones localizadas aguas arriba del tramo analizado y también de la atenuación de estas alteraciones una vez se reciben aportes de otros ríos tributarios sin regulación.

La figura 4 muestra algunos ejemplos de las series de caudal esperadas en diferentes escenarios, siendo posible observar cómo los ciclos de flujos máximos/mínimos diarios y semanales se reducen en los tramos próximos a los embalses. El efecto acumulativo de varios proyectos es especialmente notable en las cadenas de embalses, como Oporapa, Quimbo y Betania en el alto Magdalena, o Cañafisto, Ituango y Espíritu Santo en el río Cauca. Estas alteraciones hidrológicas pueden tener un efecto considerable sobre la ecología de tramos extensos de estos ríos (Poff y Zimmerman, 2010), donde los

Figura 4. Ejemplo de series de caudales simuladas para diferentes escenarios de desarrollo hidroeléctrico (Izquierda, caudales medios diarios. Derecha, caudales medios mensuales multianuales)\*

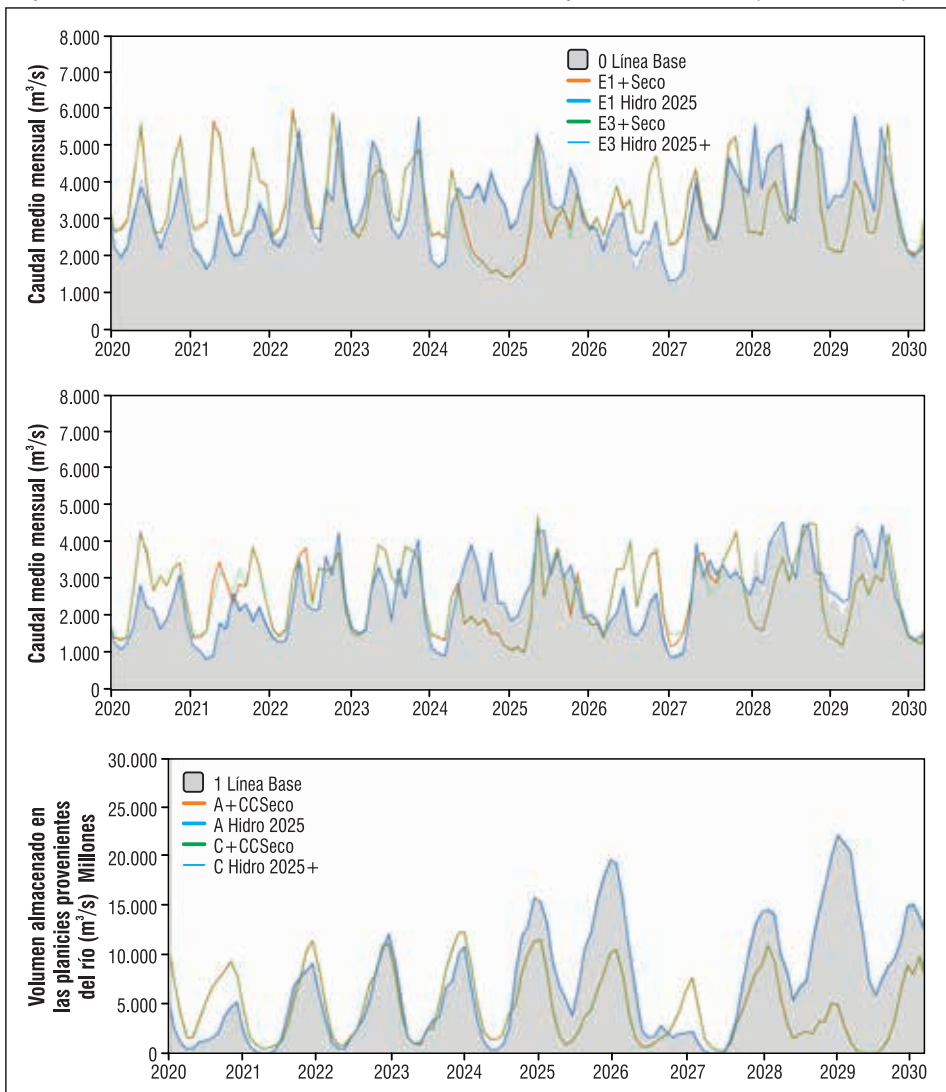


\* Punto E., río Magdalena aguas abajo de Betanía.  
 Punto O., río Cauca aguas abajo de Ituango.  
 Véase la figura 2 para la ubicación de los puntos.

patrones migratorios y/o reproductivos de las especies se encuentran adaptados a las señales producidas por la variabilidad hidrológica intraanual (mensual y diaria), principalmente asociados a los procesos de reclutamiento de la vegetación riparia autóctona, la reproducción de peces o su migración hacia las corrientes tributarias, la acumulación de material orgánico en el lecho y la producción primaria de comunidades asociadas a las rocas (perifiton). La eliminación de eventos de caudales máximos puede facilitar a su vez la proliferación de especies de peces no-nativas que originalmente no toleran las inundaciones, y, en consecuencia, también modifica las redes alimentarias del río (Bunn y Arthington, 2002; Ingfolcol y TNC, 2010).

El estudio revela también cómo la dinámica de la operación del sector de hidroenergía está fuertemente dominada por las fluctuaciones seculares en el clima, lo que puede generar sinergias negativas durante las sequías que se presentan cada cinco o diez años, debido a que la captación y el almacenamiento de agua en los embalses durante estos periodos secos puede disminuir los caudales en los ríos durante periodos excepcionalmente extensos. En la figura 5 puede observarse cómo en escenarios de cambio climático los

Figura 5. Ejemplos de realizaciones del régimen de caudales en la cuenca para diferentes escenarios de desarrollo hidroeléctrico y cambio climático (escenario seco)\*



- \* A) Río Magdalena aguas arriba de la ciénaga de Zapatosa.
- B) Dinámica del almacenamiento esperado en las planicies de inundación de la de presión Momposina en los diferentes escenarios.

Puede verse como las fluctuaciones en los volúmenes almacenados por el sistema de humedales de zonas bajas del río Magdalena están influenciadas por los caudales que transitan por el río, y que durante periodos secos los escenarios futuros pueden exacerbar la duración de los periodos secos en el sistema cenagoso de la depresión Momposina.

periodos de sequías sumados a la regulación y el almacenamiento de los embalses pueden inducir periodos secos más extensos a los históricamente observados en el río.

Los resultados revelan también que la dinámica hidrológica de los humedales de zonas bajas (localizados en la depresión Momposina y la Mojana), depende de las fluctuaciones hidrológicas a escala de la cuenca, que a su vez puede verse influenciada por las prácticas de gestión y uso del agua en las zonas medias y altas de la misma. En términos de implicaciones de la gestión, se estima que las cantidades de agua que pueden almacenarse por la infraestructura aguas arriba de los tributarios a la depresión Momposina son del mismo orden de magnitud al almacenamiento episódico de la llanura de inundación durante los periodos secos, aproximadamente 5.000 y 15.000 millones de m<sup>3</sup>, respectivamente, que sugieren la necesidad de establecer reglas de asignación de agua a escala de cuenca durante los periodos críticamente secos para permitir la conservación de los ecosistemas de las planicies inundables del bajo Magdalena.

Al proporcionar una mejor comprensión de los vínculos de la variabilidad y los flujos de clima y la dinámica de las planicies de inundación, los resultados aquí presentados pueden proporcionar una perspectiva crítica en los procesos que guían la planificación a escala de cuenca y la aplicación tanto del desarrollo de infraestructura como de los proyectos de conservación de los ecosistemas.

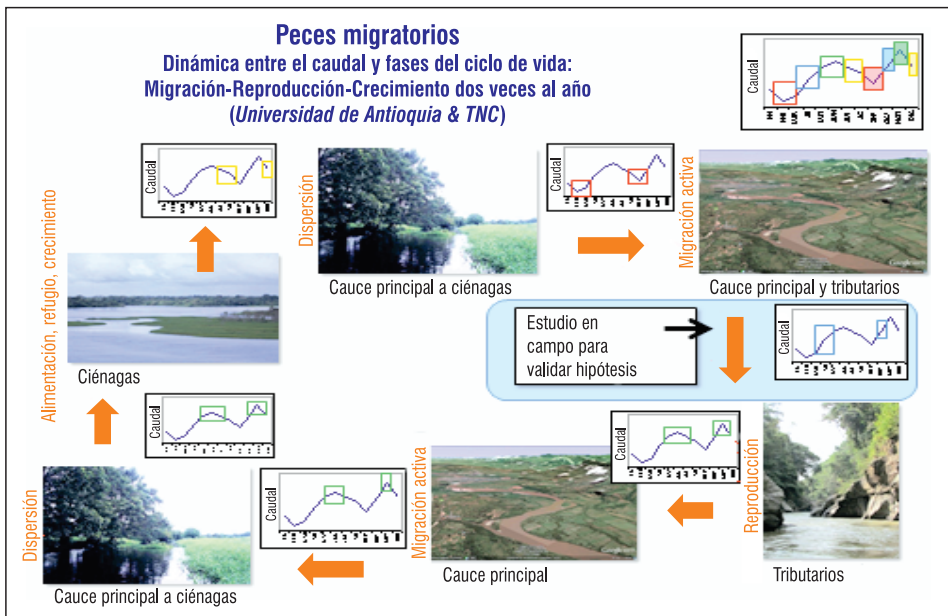
## **Posibles impactos en las comunidades de peces por el embalsamiento de la cuenca Magdalena-Cauca**

La cuenca Magdalena-Cauca posee una riqueza de doscientas veintinueve especies, de las cuales 77% son endémicas de Colombia, 48% son endémicas de la cuenca y 7% son migratorias. El régimen hidrológico del río en su cauce principal es bimodal y el ciclo de vida de la mayoría de especies acuáticas está adaptado y depende de este régimen. Si este patrón de flujo es alterado más allá de ciertos umbrales, se espera que 68% de la ictiofauna resulte amenazada por la regulación del caudal (pérdida de eventos de flujos altos y muy altos) (crecientes) y de flujos bajos y muy bajos, importantes para mantener, por ejemplo, playas de anidación de tortugas. Otro problema es la pérdida de la conectividad longitudinal por la obstrucción de pasos por la presencia de embalses. La pérdida de especies puede tener un impacto importante en

el ciclaje y captura de energía y nutrientes (Carvajal-Quintero y Maldonado-Ocampo, 2014). Por ejemplo, el bocachico del género *Prochilodus* (principal recurso pesquero de la cuenca Magdalena-Cauca), es importante para el flujo del carbono orgánico y el metabolismo del ecosistema, al transportar y remover detrito dentro de las cuencas (Taylor et al., 2006). El detrito es la principal vía de flujo de materia y energía en la mayoría de los ecosistemas (Moore et al., 2004).

En la figura 6 se observa cómo las especies migratorias (bocachicos, bagres) dependen de ciertos niveles, época del año y duración de caudales para completar su ciclo vital en diferentes hábitats del río principal, afluentes y ciénagas. Los peces salen de las ciénagas a finales de la época de aguas bajas del río Magdalena y comienzan a remontarlo al iniciarse el incremento de caudales con las lluvias de abril. Luego entran a desovar en varios de los afluentes o tributarios principales del río una vez estos hayan alcanzado cierto nivel de aguas. Desovan en estos afluentes y las larvas eclosionan y derivan aguas abajo conformando el denominado ictioplancton. Una vez entran de nuevo al cauce principal del río son arrastrados aguas abajo y cuando pasan

Figura 6. Relación entre el régimen de caudales del río Magdalena y el ciclo de vida de las especies migratorias

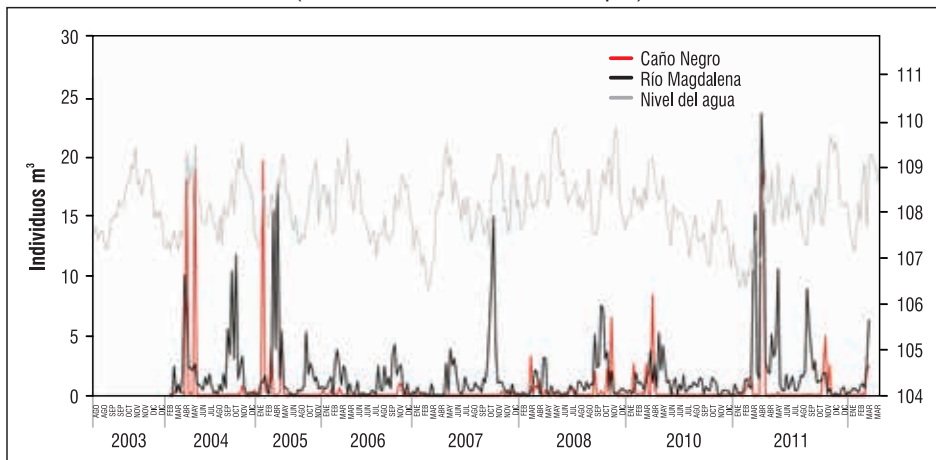


Fuente: adaptado de Jiménez-Segura et al., 2014.

por diferentes bocas de ciénagas son arrastrados aguas adentro de estas. En estas ciénagas, en donde el río aporta anualmente nutrientes, se inician cadenas alimentarias (fito y zooplancton) de las cuales se alimentan estas larvas y juveniles de peces. Si el río no alcanza ciertos niveles se desconectan las ciénagas del río y se pierden estos hábitats esenciales para la alimentación y reproducción de la mayoría de especies migratorias y residentes. En la figura 7 se observa cómo el incremento en ictioplancton en los afluentes (Caño Negro) está perfectamente acoplado a los niveles de agua en el cauce del río Magdalena.

De las especies reportadas como amenazadas en el Magdalena por Mojica, Castellanos, Usma y Álvarez R. (eds., 2012), veintiocho son explotadas como recurso pesquero, y si además de la presión pesquera pierden sus hábitats principales, lo más seguro es que al menos ciento cincuenta y cinco especies nativas y/o endémicas, más de dos tercios de las especies que componen el ensamblaje de peces de la cuenca Magdalena-Cauca, estén amenazadas por los embalses en operación y los proyectos hidroeléctricos del país. Estos impactos sobre la composición de especies no son inmediatos, pueden tomar desde años hasta décadas y dependen de la longevidad, los hábitos alimentarios, la dependencia de hábitats, y la presencia de predadores, etcétera. Sin embargo, en el Magdalena ya se han reportado extinciones locales de algunas

Figura. 7 Distribución semanal de la densidad de ictio-plancton en la cuenca del río Magdalena (sector de Puerto Berrío, Antioquia)\*



\* 80% de la densidad pertenece a especies migratorias.

Fuente: Jiménez-Segura et al., 2014.

especies endémicas aguas arriba del embalse por la construcción de la hidroeléctrica de Betania (Cala, 1995), como la dorada (*Brycon moorei*), la picuda (*Salminus affinus*), el bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) y el pataló (*Ichthyoelephas longirostris*). Igualmente, la introducción de especies exóticas como la tilapia están desplazando especies nativas y en muchos lugares del Magdalena medio y bajo ya son el 50% de la captura.

## Discusión y conclusiones

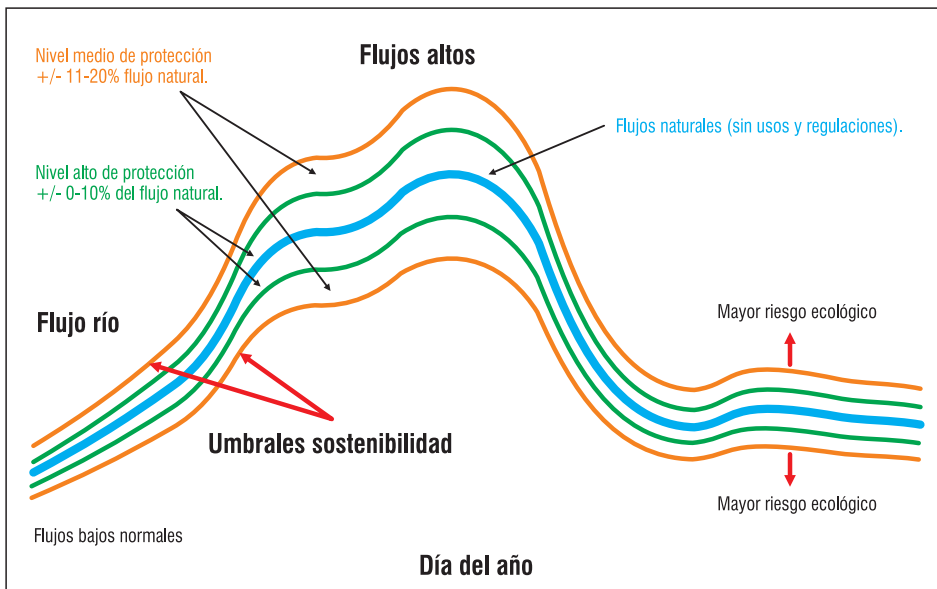
Los regímenes hidrológicos determinan la presencia de determinados hábitats a lo largo y ancho de los ríos. Estos hábitats pueden ser permanentes o temporales, pero son importantes para el forrajeo, desove y el reclutamiento de numerosas especies. Si la dinámica anual del río cambia, por ejemplo, por alteraciones de la operación de hidroeléctricas y la construcción de canales navegables, muchas veces se favorece a ciertas especies con ciclos de vida adaptadas a los nuevos tipos de hábitat que comienzan a dominar en el río. En el caso de perderse hábitats de planicie inundable, como las ciénagas, numerosas especies podrían desaparecer localmente, entre estos el bocachico y el bagre rayado. En ríos disturbados generalmente empiezan a dominar especies generalistas y oportunistas como la especie introducida tilapia (mojarra), que presentan altas tasas de propagación y compiten muy eficazmente con las especies nativas.

Si queremos realmente que la riqueza biológica del río Magdalena se mantenga, es importante mantener los regímenes hidrológicos bajo un patrón de flujo lo más similar posible al patrón natural. La figura 8 muestra cómo se podrían determinar caudales ecológicos con base en desviaciones aceptables sobre el caudal medio interanual. Entre mayor la desviación, más alto es el riesgo de perder la integridad o salud de los ecosistemas acuáticos.

La hidrología, como se ha mencionado recurrentemente en este artículo, es el factor determinante en la integridad de los ecosistemas acuáticos, como lo muestra la figura 9. De ella depende la hidráulica, la geomorfología y la fisicoquímica de las aguas y, por ende, la biología de los ecosistemas acuáticos. Si no se define un caudal ecológico con los criterios adecuados, todo el sistema jerárquico dependiente del patrón de flujo se vería alterado.

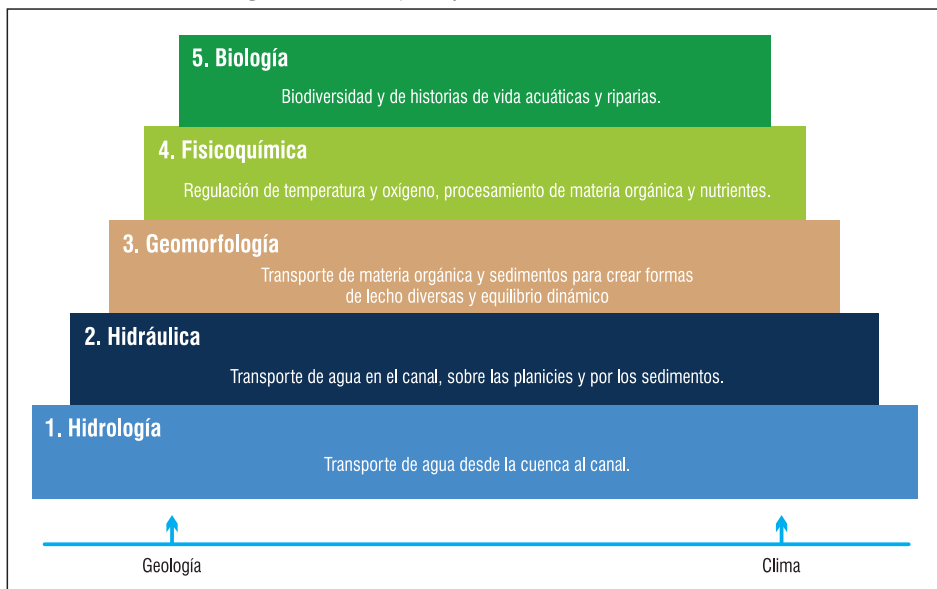
Como se ha mostrado a lo largo del documento, las planicies inundables y grandes humedales son ecosistemas importantísimos para la salud del río

Figura 8. Definición de caudales de precaución con base en isopercentiles sobre el flujo natural de un río



Fuente: Richter, 2010; Richter et al., 2011.

Figura 9. Sistema jerárquico de las funciones del río



Fuente: Hamman et al., 2012.



Magdalena, y entre sus funciones más importantes se pueden mencionar las siguientes:

- ◆ Reducen el riesgo de los daños por inundaciones por aumentar la capacidad hidráulica de los ríos.
- ◆ Los bosques presentes en planicies inundables reducen la velocidad de flujo de las aguas durante crecidas.
- ◆ Las planicies proveen una altísima diversidad de hábitats para la vida silvestre, como las ciénagas, que son zonas de desove, forrajeo, producción primaria, etcétera.
- ◆ Recargan los acuíferos y regulan flujos durante aguas bajas.
- ◆ Mejoran la calidad del agua: retención de sedimentos y nutrientes, filtración y bio-depuración de contaminantes, entre otros.
- ◆ Retienen y acumulan carbono.
- ◆ Son espacios importantes para la cultura local y nacional y ofrecen diversos espacios para la recreación: pesca, ecoturismo, canotaje, otros.
- ◆ Beneficios ecológicos: hábitats, biodiversidad, especies amenazadas, especies invasoras, otros.
- ◆ Protección de riberas y reducción de erosión.

De todos estos puntos podemos concluir que prevenir la degradación de cuencas saludables nos protege de la pérdida de servicios ecosistémicos, los cuales nos proveen de múltiples beneficios económicos. Si perdemos estos servicios y bienes, la sociedad debe asumir costos de reemplazo y restauración, que muchas veces son altísimos. Por ejemplo, en la ciudad de Nueva York, la pérdida del servicio de depuración del agua que se da actualmente por la conservación de la cuenca abastecedora, costaría alrededor de 8 mil millones de dólares anuales. Se sabe también que el tratamiento de aguas negras cuesta alrededor de US\$8,56 dólares por lb de nitrógeno y en planicies inundables saludables e íntegras se reduce a \$3,10/lb; y en general, el tratamiento de aguas servidas cuesta alrededor de US\$3,24/1.000 galones y en humedales el costo se reduce a \$0,47/1.000 galones (Hanson, Craig et al., 2011). En este momento, el río Magdalena y sus planicies inundables todavía asumen este costo, aunque no se incorporan en análisis costo-beneficio con otras obras de infraestructura. La restauración de 800 ha de planicies inundables en Illinois, Estados Unidos, costó alrededor de US\$8 millones (TNC, 2008). En el Magdalena medio se han pagado alrededor de \$4 millones por

hectárea para restaurar algunas ciénagas degradadas. El costo para recuperar una ciénaga de 100 hectáreas, por lo tanto, sería alrededor de \$400 millones (TNC, 2015 en preparación).

Lamentablemente, no hemos avanzado en incorporar este ahorro en prestación de servicios ambientales en los beneficios monetarios que nos ofrece un río saludable. Estos beneficios (depuración agua, pesca, ecoturismo, regulación hídrica, amortiguación inundaciones, etcétera) en la cuenca del Magdalena podrían estar, por tanto, muy por encima de los beneficios derivados de algunos aprovechamientos hidroeléctricos. La idea es seleccionar aquellos proyectos con menor impacto acumulativo y que afecten en menor grado la conectividad de la red hídrica.

Si realmente queremos que el río Magdalena siga siendo el eje del desarrollo del país, debemos promover muchas acciones urgentes para la recuperación de sus planicies inundables, algunas de las cuales mencionamos a continuación:

- ♦ Recuperar la conectividad entre río y planicies inundables: eliminar diques en zonas de bajo riesgo para la población humana.
- ♦ Mantener o recuperar un patrón hidrológico natural determinando caudales ecológicos y re-operando embalses no solo con criterios de mercado, sino con requerimientos de caudal ecológico.
- ♦ Analizar efectos acumulativos del sector hidroeléctrico, minero y agropecuario a nivel de cuenca y definir estrategias para minimizar sus impactos.
- ♦ Definir mecanismos efectivos para avanzar en la delimitación de humedales con categorías de manejo que hagan viable su apropiación por autoridades y pobladores locales.
- ♦ Definir el valor de los principales servicios ecológicos de los humedales y planicies inundables del río, para contar con herramientas costo-beneficio que permitan analizar diferentes alternativas de desarrollo.
- ♦ Promover la instalación del concejo de la macrocuenca del Magdalena-Cauca con mecanismos financieros, operativos y técnicos adecuados.
- ♦ Definir cuáles ríos deben ser excluidos del desarrollo hidroenergético para garantizar caudales ecológicos y rutas de migración para peces.
- ♦ Buscar mecanismos para aumentar la gobernabilidad y gobernanza sobre planicies inundables.

- ♦ Definir una metodología de caudales ecológicos que incorpore los componentes principales del ciclo hidrológico.
- ♦ Implementar y promover los planes de manejo del recurso pesquero ya definidos por la Aunap (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca) y las asociaciones de pescadores.
- ♦ Impulsar la regulación de la minería ilegal.
- ♦ Incluir en la gestión integral del recurso agua los escenarios de cambio climático.

La única manera de avanzar hacia una gestión integral de cuencas es contar con una autoridad que permita ordenar y coordinar actividades dentro de ella. En la Constitución política de 1991 se creó a Cormagdalena como una institución con esta visión, pero finalmente no tiene las facultades y los instrumentos legales para cumplir a cabalidad con esta función. Dentro de la reciente política hídrica promulgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se crean los concejos de la macrocuenca, que deben cumplir la función de gestión y coordinación a nivel de cuenca, pero quizá, de nuevo, no tienen las atribuciones necesarias para operar con la autoridad suficiente. Dentro de los lineamientos estratégicos para la macrocuenca Magdalena-Cauca ya se han definido acuerdos interministeriales (Ambiente, Agricultura, Minas y Energía), que buscan coordinar actividades y lograr acuerdos fundamentales sobre la gestión del recurso agua.

Lo importante es que los acuerdos que se firmen vayan más allá de su cumplimiento individual, y para esto es necesario que haya el compromiso real de todos los actores (públicos y privados) con la gestión integral de la cuenca. Los sectores deben entender también que sus actividades económicas se verán afectadas si no se regula el uso del agua bajo ciertos criterios (caudales ecológicos) y se definen umbrales, que de sobrepasarse pueden afectar la actividad de todos y la salud de los ecosistemas acuáticos. Si, por ejemplo, se maximiza la generación hidroeléctrica, esto se traduciría en la pérdida del recurso pesquero y seguramente de otros servicios ambientales de río como la depuración de agua, cuyo valor e importancia ya se mencionó. La gestión integral debe encontrar un equilibrio en el que todos los sectores puedan convivir, pero no es posible seguir con el enfoque que cada uno independientemente trate de maximizar sus beneficios y pretender que la sostenibilidad ambiental a largo plazo se logra solamente con cumplir con ciertas normas o reglamentaciones ambientales.

## Referencias

- ARTHINGTON, A. H., BUNN, S. E., POFF, N. L. Y NAIMAN, R. J. 2006. "The challenge of providing environmental flow rules". *Ecological Applications*. 16 (4).
- BUNN, S. E. Y ARTHINGTON, A. H. 2002. "Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity". *Environmental Management*. 30 (4). doi:10.1007/s00267-002-2737-0
- CALA, P. 1995. "Trophic levels of the most abundant fishes of the Betania Reservoir, Upper Rio Magdalena, Colombia". *Acta Biologica Venezuelica*. 16.
- CARVAJAL-QUINTERO, J. D. Y J. A MALDONADO-OCAMPO. 2014. "Impactos sobre la biodiversidad de peces causados por la alteración hídrica de embalses en sistemas fluviales". The Nature Conservancy.
- HANSON, CRAIG ET AL. 2011. "Forests for water: Exploring payments for watershed services in the US south". *World Resources Institute Issue Brief*. Issue 2.
- INGFOCOL Y TNC. 2010. "Implementación de la metodología ELOHA (Límites ecológicos de la alteración hidrológica) para determinación de caudales ambientales regionales cuenca Magdalena-Cauca". Bogotá.
- IPCC. 2014. *Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Edición a cargo de Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea y L. L. White. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra.
- JIMÉNEZ-SEGURA, L. F. ET AL. 2014. *Estudio del ictioplancton en tributarios del Magdalena medio*. Universidad de Antioquia-The Nature Conservancy.
- MALDONADO-OCAMPO, J., VARI, R. Y USMA, J. 2013. "Checklist of the freshwater fishes of Colombia". *Biota Colombiana*. 9 (2). <http://www.humboldt.org.co/biota/index.php/Biota/article/view/170>
- MOJICA, J. I., CASTELLANOS, C., USMA, S. Y ÁLVAREZ, R. (EDS). 2012. *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia*. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt-Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia-WWF Colombia-Universidad de Manizales. Bogotá.

- MOORE, J. C., BERLOW, E. L., COLEMAN, D. C. ET AL. 2004. "Detritus, Trophic Dynamics, and Biodiversity". *Ecology Letters*. 7.
- MORIASI, D. N., ARNOLD, J. G., VAN LIEW, M. L., BINGNER, R. L., HARMEL, R. D. Y VEITH, T. L. 2007. "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations". *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50 (3).
- NOTA UNIANDINA. 2014. "Un desafío que vale oro". Noviembre. Universidad de los Andes. Bogotá.
- POFF, N. L. Y ZIMMERMAN, J. K. H. 2010. "Ecological responses to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environmental flows". *Freshwater Biology*. 55 (1). doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x
- POFF, N. L., ALLAN, J. D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRETEGAARD, K. L., RICHTER, B. D., STROMBERG, J. C. 1997. "The natural flow regime". *BioScience*. 47 (11).
- POFF, N. L., RICHTER, B. D., ARTHINGTON, A. H., BUNN, S. E., NAIMAN, R. J., KENDY, E., WARNER, A. 2010. "The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new framework for developing regional environmental flow standards". *Freshwater Biology*. 55 (1). doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x
- POSTEL, S. L., DAILY, G. C. Y EHRLICH, P. R. 1996. "Human appropriation of renewable fresh water". *Science*. 271 (5250). <http://www.sciencemag.org/content/271/5250/785.short>
- RESTREPO, J. C. Y J. D. RESTREPO. 2005. "Efectos naturales y antrópicos en la producción de sedimentos de la cuenca del río Magdalena". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 29 (111).
- RICHTER, B. Y BAUMGARTNER, J. 1998. "A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network". *Regulated Rivers: Research and Management*. 14. [ftp://ftp.sratx.org/pub/BBEST/Library/BBEST\\_025-AssessmentHydrologicAlterationRiverNetwork.pdf](ftp://ftp.sratx.org/pub/BBEST/Library/BBEST_025-AssessmentHydrologicAlterationRiverNetwork.pdf)
- ROSENBERG, D. M., MCCULLY, P. Y PRINGLE, C. M. 2000. "Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations: Introduction". *BioScience*. 50 (9). doi:10.1641/0006-3568(2000)050[0746:GSEEOH]2.0.CO;2
- TAYLOR, B. W., FLECKER, A. S. Y HALL, R. O. JR. 2006. "Loss of a harvested fish species disrupts carbon flow in a diverse tropical river". *Science*. 313.
- THE NATURE CONSERVANCY. 2008. *The Mississippi River and its floodplain. Restoring Connections for People and Nature*.

- . 2011. *Indexes of Hydrologic Alteration-IHA*. <http://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Pages/indicators-hydrologic-alt.aspx>
- UPME. 2012. “Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2012-2025”. <http://www1.upme.gov.co/index.php/servicios-de-informacion/noticias-del-sector/676.html>
- . s. f. “Simec. Sistema de información minero energético colombiano. 2013”. Recuperado el 6 de febrero de 2013. [http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta\\_isa.aspx](http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_isa.aspx)
- VANEGAS, R., MORENO, P., DOMÍNGUEZ, E. Y RIVERA, H. 2008. “Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano”. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 32 (123).
- WOOD, P. J. 1997. “Biological Effects of Fine Sediment in the Lotic Environment”. *Environmental Management*. 21 (2). doi:10.1007/s002679900019
- YANG, T., ZHANG, Q., CHEN, Y. Y TAO, X. 2008. “A spatial assessment of hydrologic alteration caused by dam construction in the middle and lower Yellow River, China”. *Hydrological Research*. 3843 (March). doi:10.1002/hyp
- YATES, D., SIEBER, J., PURKEY, D. Y HUBER-LEE, A. 2005. “WEAP21—A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model”. Part 1: “Model Characteristics”. *Water International*. 30 (4).
- YATES, D., PURKEY, D., SIEBER, J., ANNETTE, H.-L. Y GALBRAITH, H. 2005. “WEAP-21 A demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model”. Part 2: “Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation”. *Water International*. 30 (4).