

Integración de las funciones y servicios
de los ecosistemas de agua dulce a los
proyectos de desarrollo hídrico

Maria Isabel J. Braga

**I N F O R M E D E
T R A B A J O**

Washington, D.C.
Enero 2000

Integración de la
función y los servicios
de los ecosistemas
de agua dulce a los
proyectos de
desarrollo hídrico

María Isabel J. Braga

Informe Técnico

Washington D.C.
Enero del 2000

Este trabajo fue preparado por María Isabel J. Braga, consultora del Banco Interamericano de Desarrollo y del Banco Mundial. El documento se apoya en las discusiones y contribuciones de quienes participaron en el taller *Mainstreaming Freshwater Biodiversity in Water Development Projects* del White Oak Conservation Center, el cual tuvo lugar del 5 al 9 de febrero de 1997 en Yulee, Florida. Mike Acreman, Garry Bernacsek, John R. Bizer, Patrick Denny, Mark Hill, William M. Lewis Jr., Tony Whitten y Ron Zweig redactaron contribuciones para el manuscrito. Jerson Kelman hizo varias sugerencias sustantivas.

Los puntos de vista y opiniones que aquí se expresan son los de los autores y no representan necesariamente la posición oficial del Banco Interamericano de Desarrollo.

PREFACIO

Integración de la función y los servicios de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico describe las condiciones que se requieren para armonizar los objetivos de estos proyectos con la conservación de los ecosistemas de agua dulce. Asimismo proporciona información sobre cómo incorporar la biodiversidad, función y servicios de tales ecosistemas a los proyectos de desarrollo hídrico.

Este trabajo se dirige a administradores y responsables por la formulación de políticas que se hallan en el nivel donde se toman las decisiones. Con el fin de hacer este estudio más interesante para los lectores, una de sus secciones presenta una descripción de la biodiversidad en el contexto de los ecosistemas de agua dulce; allí se discuten brevemente las características de lo mismos. En las partes subsiguientes del documento se describe el enfoque recomendado para armonizar los proyectos de desarrollo hídrico con la función de los ecosistemas de agua dulce, el papel que cumplen las Evaluaciones de Impacto Ambiental en este proceso, así como los efectos potenciales de las diferentes categorías de proyectos hídricos.

Este trabajo fue preparado por María Isabel J. Braga, consultora del BID y del Banco Mundial. El documento se apoya en sus propias experiencias y en las discusiones y el bosquejo preparado por quienes participaron en el taller *Mainstreaming Freshwater Biodiversity in Water Development Projects* que se realizara en el White Oak Conservation Center en Yulee, Florida, del 5 al 9 de febrero de 1997.

Estamos convencidos de que este trabajo proporciona información esencial que facilitará la implantación de la Estrategia de Manejo Integrado de Recursos Hídricos del Banco.

*Walter Arensberg
División de Medio Ambiente
Departamento de Desarrollo Sostenible
Banco Interamericano de Desarrollo*

INDICE

INTRODUCCION	1
SERVICIOS Y BIODIVERSIDAD DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE	3
Biodiversidad	
Principales características de los ecosistemas naturales de agua dulce	
<i>Cursos de agua (ríos y arroyos)</i>	
<i>Lagos naturales</i>	
<i>Humedales y planicies de inundación</i>	
<i>Hábitats costeros</i>	
ENFOQUE RECOMENDADO	7
Integración de la biodiversidad del agua dulce al proyecto	
El papel de las evaluaciones ambientales (EA)	
<i>Cómo prever los impactos del proyecto en la biodiversidad de agua dulce existente</i>	
PROYECTOS DE INGENIERIA: PROBLEMAS Y OPCIONES	14
Regímenes de flujo natural	
Conectividad	
Calidad del agua	
Hábitats naturales de agua dulce	
Acuicultura	
CONCLUSION	35
BIBLIOGRAFIA	37
Otras referencias	

INTRODUCCION

¡Ya se sabe el secreto! La mayoría de los proyectos de desarrollo hídrico pueden armonizar sus objetivos con la conservación de la función y los servicios de los ecosistemas de agua dulce. Es posible minimizar los impactos ambientales y los proyectos mismos pueden fomentar la conservación o restauración de los ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad si:

- existe un compromiso con este objetivo desde las etapas tempranas de planificación;
- se entienden las características y requerimientos fundamentales de tales ecosistemas; y
- las varias opciones de diseño y manejo que ya se han ensayado, como por ejemplo pasos para peces e inundaciones artificiales, entre otras, se adoptan en su forma original o se adaptan a las condiciones específicas del proyecto, y el conocimiento, experiencia y creatividad existentes se utilizan para desarrollar nuevas soluciones.

Pero, ¿por qué debemos invertir nuestro tiempo y dinero en esfuerzos encaminados a proteger y restaurar los ecosistemas de agua dulce? El suministro de agua de nuestro planeta es finito, mientras que la demanda de agua dulce y bienes y servicios ecológicos acuáticos continúa aumentando con el crecimiento de la población. El desarrollo sostenible de los ecosistemas de agua dulce de la Tierra es nuestra única esperanza para asegurar la preservación de los beneficios de importancia vital que los humanos derivan de los ecosistemas de agua dulce como son (Naiman *et al.*, 1995):

a) *Uso directo de aguas superficiales y subterráneas*

- Usos comerciales y domésticos.
- Riego agrícola.
- Agua para ganadería y acuicultura.
- Energía eléctrica.
- Transferencia de energía (calefacción y enfriamiento)
- Usos industriales y manufactureros.
- Control de incendios.

b) *Productos de los ecosistemas saludables de agua dulce*

- Peces y fauna silvestre (aprovechamiento comercial y de subsistencia).
- Productos de los bosques ribereños (madera y frutas).
- Productos vegetales de las planicies de inundación¹, humedales y lagos (por ejemplo arroz y juncos).

c) *Servicios prestados por los ecosistemas saludables de agua dulce*

- Transporte (que puede ser proporcionado aun por sistemas degradados)
- Almacenamiento de agua (en glaciares y cuencas hidrográficas).
- Control de inundaciones (que también puede ser proporcionado por ecosistemas degradados).
- Depósito de nutrientes en áreas agrícolas en las planicies de inundación.

¹ [N de la T: Las planicies de inundación se conocen también como llanuras aluviales.]

- Purificación natural de desechos.
- Hábitat que sostiene la diversidad biológica.
- Moderación y estabilización de microclimas urbanos y naturales.
- Retención de nutrientes.
- Estética y salud mental.
- Recreación (pesca deportiva, cacería, paseos en bote, natación).

Sin embargo, el desarrollo de los recursos de agua dulce y las prácticas operacionales se dirigen fundamentalmente a controlar la cantidad de agua, a almacenarla durante los períodos de sequía, a prevenir inundaciones, a transferir agua a las ciudades o a tierras agrícolas irrigables y a proporcionar vías de navegación comercial y generar energía eléctrica. Estos sistemas de ingeniería por lo general se optimizan únicamente para aquellos propósitos para los que fueron creados, pero ahora se hace necesario optimizarlos para fines de conservación y mejoramiento de los ecosistemas de agua dulce, además de sus metas históricas. El reto para el futuro será diseñar, construir y operar obras civiles de manera tal que también se mantenga la integridad ecológica de los ecosistemas de agua dulce. Los efectos de largo plazo de los proyectos hídricos sobre la cantidad y trayecto del agua y de los materiales transportados por ella a lo largo de su curso hacia el océano, así como el mantenimiento del hábitat suficiente para conservar las especies con su variabilidad genética natural, son de particular importancia (Naiman *et al.*, 1995).

La clave del desarrollo sostenible es la inclusión de la biodiversidad y función de los ecosistemas junto con los objetivos más tradicionales del desarrollo. Las comunidades humanas ya han mostrado su capacidad de anticiparse a los problemas ambientales y evitarlos, una vez han entendido la conexión que existe entre la salud e integridad de los ecosistemas y ellas mismas, sus hijos y sus nietos.

Este trabajo proporciona información sobre cómo incorporar la biodiversidad, función y servicios de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico. Es difícil proteger lo que no entendemos, y por ello en la segunda sección de este documento se presenta una discusión breve sobre la biodiversidad en el contexto de los ecosistemas de agua dulce, incluyendo allí una corta descripción de los mismos. En la tercera sección presentamos el enfoque recomendado para armonizar los proyectos de desarrollo hídrico y la función de los ecosistemas de agua dulce, y se discute el papel que cumplen las evaluaciones ambientales (EA) en este proceso. En la cuarta sección se presentan algunas cuestiones y opciones de diseño relativas a las diferentes categorías de proyectos de desarrollo hídrico y sus impactos potenciales en las cuatro características básicas de los ecosistemas de agua dulce: regímenes de flujo natural, conectividad, calidad del agua y hábitats acuáticos naturales.

SERVICIOS Y BIODIVERSIDAD DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

Los servicios que prestan los ecosistemas de agua dulce a todos los organismos vivos de nuestro planeta se hallan en la raíz misma del desarrollo de la raza humana a través de los tiempos. Los seres humanos han aprendido por experiencia que un suministro constante y confiable de agua limpia es indispensable para la seguridad de todas las especies. Los primeros asentamientos se localizaron a lo largo de los principales ríos, cerca de lagos o fuentes, los cuales no solamente suministraban agua sino también proteína a través del pescado y otros organismos acuáticos, además de transporte. Más tarde se ocuparon aquellas áreas donde la gente había construido pozos para acceder al agua durante la estación seca, canales para distribuirla para las actividades agrícolas sobre áreas más extensas, o medios para desecar áreas pantanosas o frecuentemente inundadas.

Pero el género humano tomó más tiempo para darse cuenta de que los servicios que proporcionan los ecosistemas de agua dulce como son agua limpia, proteína y enriquecimiento de los suelos inundados por estaciones, son el resultado de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que se producen constantemente en los ecosistemas y sus alrededores y que constituyen un componente importante del ciclo hidrológico. Algunos de estos procesos se pueden ver y entender con facilidad, como es el depósito de sedimentos ricos en nutrientes durante las temporadas de inundaciones; otros son menos visibles como lo es la purificación de áreas de superficie por parte de aquellos microorganismos que descomponen materia orgánica.

Todavía no entendemos plenamente todos los aspectos del funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce, pero tenemos una idea de los servicios que prestan y de los efectos de las actividades humanas sobre aquellas funciones que influyen la disponibilidad y confiabilidad de tales servicios. Dado que la mayoría de ellos se originan en la actividad biológica del diverso ensamblaje de organismos acuáticos que están dentro de esos ecosistemas, a continuación discutiremos brevemente los diferentes aspectos relacionados con el concepto de biodiversidad.

Por lo general el diseño y operación de los proyectos de desarrollo hídrico pueden ser ajustados para minimizar sus efectos en la biodiversidad y función de los ecosistemas acuáticos. Esto se cumple —además de que es más eficiente en función de los costos—especialmente cuando estas consideraciones se incorporan en las etapas iniciales de identificación y diseño del proyecto.

Biodiversidad

La biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce comprende todos los aspectos de la variación biológica que allí se produce. La biodiversidad incluye no sólo el inventario de especies, sino también su abundancia relativa (cuántas son comunes y cuántas son raras) y las configuraciones genéticas características de las diversas poblaciones.

Con el fin de mantener la biodiversidad es necesario considerar tres principios básicos:

- Los organismos tienen una capacidad limitada para tolerar cambios en las características físicas o químicas de sus hábitats.
- Los organismos que ya experimentan un grado de tensión o estrés como consecuencia de las alteraciones a su medio ambiente tendrán una capacidad aún menor de tolerar cambios adicionales.
- Diferentes especies o tipos genéticos usan partes distintas del medio ambiente o de los hábitats, y la simplificación del medio ambiente por lo general reducirá la biodiversidad.

Por lo general, una mayor diversidad de hábitats podrá sostener a una mayor diversidad de especies dado el amplio número de condiciones disponibles para que los organismos realicen sus actividades. En los hábitats de agua dulce, la complejidad se manifiesta en muchas formas, pero todas ellas se pueden agrupar en una o dos categorías:

Complejidad espacial profunda o superficial, corriente lenta o rápida, soleada o de sombra, fondo plano de arena-barro o pedregoso, de piedrecillas pequeñas o rocas grandes, con o sin vegetación acuática, agua clara o rica en sedimentos, pequeños arroyos o ríos grandes, etc.

Complejidad temporal: alternación de condiciones de aguas bajas y altas, cambios de agua tibia a fría según la estación, variación en la cantidad de sedimentos en suspensión y nutrientes disponibles a través del tiempo, estrechamiento del cauce o ampliación del mismo hacia las planicies de inundación, migración de cauces aluviales, etc.

En general, cuanto mayor sea la complejidad del hábitat, mayor será la diversidad que éste puede mantener. Dado que todas las especies tienen requerimientos específicos según el hábitat, es posible predecir cambios en la biodiversidad a partir de aquellos que ocurren en el hábitat natural existente. La documentación de la distribución de las especies y su asociación con características específicas del hábitat debe realizarse junto con la evaluación de la biodiversidad.

Los estudios sobre biodiversidad que se centran *únicamente* en nombrar y contar las especies presentes rara vez generan mucho apoyo público, pero constituyen un paso importante para entender el funcionamiento de un determinado ecosistema. De otra parte, los estudios de biodiversidad que también se centran en los vínculos entre los servicios de los hábitats-especies-ecosistemas y la gente, por lo general llaman más la atención.

Principales características de los ecosistemas de agua dulce

Como todos los otros ecosistemas, los de agua dulce exhiben un conjunto de condiciones físicas y químicas, y una variabilidad espacial y temporal que en su conjunto le confieren carácter y apoyo a las comunidades y servicios contenidos en ellos. La mejor manera de conservar los procesos y la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce es entender y preservar hasta donde sea posible el conjunto de características fundamentales (físicas, químicas, biológicas, así como las variaciones espaciales y temporales) que definen un ecosistema de agua dulce en particular.

Cursos de agua (ríos y arroyos)

Los cursos de agua muestran todas las combinaciones posibles de regímenes de flujo y complejidad estructural, incluyendo la heterogeneidad del sustrato (rocoso, de piedra, grava, arena), presas de atrape, vegetación con raíces y canales confinados o trenzados. Esta variabilidad da lugar a una gran cantidad de hábitats de agua dulce diversos dentro de los ríos y arroyos, y proporciona a los organismos un amplio rango de velocidades de agua entre los que pueden elegir: pozas, bajos, rápidos, etc. Los ecosistemas terrestres aportan alimentos (hojas, frutas) y hábitats (sedimentos, ramas y troncos) para los organismos acuáticos.

Los procesos ecológicos de los cursos de agua están regulados por cinco componentes críticos del régimen de flujo: magnitud, frecuencia, duración, ocurrencia y tasa de cambio de las condiciones hidrológicas. El caudal natural de un río varía en escalas de tiempo de horas, días, estaciones, años, y hasta más prolongadas (Poff *et al.*, 1997).

La vegetación de las riberas y márgenes es especialmente importante porque, además de constituirse en la fuente primaria de alimentos, crea hábitats para macro y microorganismos, ofrece refugio contra predadores y corrientes rápidas, al tiempo que proporciona sombra, lo que limita el crecimiento excesivo de macrofitos acuáticos, y regula la temperatura del agua.

La calidad del líquido en los ecosistemas de cursos de agua está determinada por la geología, el clima y las actividades humanas en la cuenca de drenaje. La calidad del agua se puede medir en términos de los sedimentos en suspensión, el oxígeno disuelto, los sólidos disueltos, nutrientes, toxinas y temperatura.

Los ecosistemas de cursos de agua tienen complejas redes de alimentos que se adaptan a las condiciones locales. Además de proteger y mantener las poblaciones naturales de gran parte de las especies mayores de agua dulce que con frecuencia tienen un valor comercial importante, debemos asegurar la integridad de la red natural de alimentos a la que pertenecen tales especies.

Cuadro 1. Las tres “condiciones” para mantener ríos y arroyos saludable

El mantenimiento de ríos y arroyos de alta calidad que mantengan comunidades acuáticas naturales exige que se cumplan simultáneamente tres parámetros ambientales (Nielsen, 1995): 1) que el agua limpia se encuentre en condiciones no tóxicas o de eutroficación, que se disponga de oxígeno en las cantidades necesarias, y que los sedimentos en suspensión estén presentes en cantidades naturales; 2) que la cantidad de agua sea suficiente para apoyar procesos biológicos naturales; y 3) que se disponga de una variedad de hábitats físicos. Asimismo es necesario mantener la variabilidad natural de estos tres parámetros.

Lagos naturales

Los lagos naturales de agua dulce tienen típicamente velocidades inferiores a 3-4 cm/s y exhiben fluctuaciones relativamente pequeñas en el nivel del agua. La profundidad máxima de un lago queda casi siempre cerca de su centro, y sus aguas se revuelven y se mezclan como resultado de cambios estacionales en la temperatura a diferentes profundidades. La productividad biológica de los lagos está dada por sus características físicas y por el estado de sus nutrientes en relación con el tipo e intensidad de la actividad humana en el área de la cuenca de captación.

Los lagos tienen una biodiversidad de evolución natural que puede ser diversa o empobrecerse, y la vegetación litoral es un componente integral de la misma en la medida en que proporciona alimentos, hábitat y refugio para pequeños organismos, al tiempo que actúa como filtro para reducir la cantidad de nutrientes y sedimentos que entran al lago desde fuentes no puntuales. La mayor parte de la biodiversidad se encuentra cerca de los márgenes, dada la proximidad a las fuentes de insumos de nutrientes que entran al lago y donde las condiciones de menor profundidad facilitan la penetración de la luz y el crecimiento de vegetación con raíces.

Los embalses o represas no son equivalentes a los hábitats de los lagos naturales porque se crean en forma artificial, por lo general experimentan grandes fluctuaciones en términos de profundidad y velocidad del agua (a veces diariamente), usualmente tienen su máxima profundidad cerca de la pared y se hallan bajo control humano a través de planes de manejo que usualmente se basan únicamente en consideraciones financieras y económicas.

Humedales y planicies de inundación

Los humedales y planicies de inundación (que por lo general contienen a los humedales) se hallan generalmente conectados en la superficie o a través de la capa freática con otros ecosistemas de agua dulce como ríos y lagos. Los humedales normalmente tienen grandes cantidades de vegetación emergente que se adecua tanto a la inundación como a la desecación. La vegetación por lo general se halla zonificada según la cantidad promedio de tiempo que las plantas se hallen inundadas, siendo las más tolerantes a estas condiciones las más cercanas a los márgenes de ríos y lagos. La calidad del agua de los humedales se halla muy influenciada por el ecosistema acuático asociado, el suelo y el tipo y cantidad de vegetación emergente.

Las planicies de inundación de los ríos se constituyen en hábitat y fuente de alimento esencial para la reproducción y cría de muchas especies de agua dulce y se deben considerar como parte integral de los ecosistemas ribereños asociados. Los humedales que se hallan permanentemente inundados son importantes porque la biodiversidad de plantas es usualmente rica y constituye un hábitat importante tanto para fauna silvestre como para peces ribereños.

Hábitats costeros

Los hábitats costeros de agua dulce/salobre se definen por el insumo característico de agua fresca dentro del sistema (cantidad, calidad y ocurrencia) y por la influencia diaria y estacional de mareas que causan variaciones diarias y estacionales en la salinidad, temperatura, turbidez y flujo de energía. En estas áreas la actividad biológica está impulsada por el flujo constante de nutrientes y sedimentos de las aguas superiores, y el ciclo de nutrientes ocurre a tasas bastante elevadas. En estas áreas las comunidades acuáticas se adaptan y se apoyan en esta variación predecible y en la estabilidad de un ambiente libre de cambios bruscos en el pH.

Los hábitats costeros de agua dulce/salobre son extremadamente importantes como áreas de reproducción y cría de muchas especies marinas y de agua dulce, pero desafortunadamente figuran entre los hábitats acuáticos más amenazados por la contaminación y otros efectos del desarrollo en todo el mundo. Muchas de las áreas urbanas más extensas del orbe están localizadas en las zonas costeras, y los contaminantes que se vierten en las cuencas hidrográficas tarde o temprano van parar a los hábitats costeros.

EL ENFOQUE RECOMENDADO

La mayoría de los impactos de los proyectos de desarrollo hídrico se originan en los cambios en las condiciones de los hábitats o en la disponibilidad y acceso a ellos. La verdadera integración de la función y servicios de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico requiere que se conserve la biodiversidad del agua dulce, para lo cual es esencial la preservación de sus hábitats naturales. Son cuatro los elementos que debe incluir un plan que apunte a cumplir con esta meta (NOAA, 1996):

Proteger y conservar: Restaurar y crear hábitats de manera que se revierta la pérdida neta que se produce con el crecimiento y desarrollo continuo o como producto de eventos naturales.

Entender: Obtener, interpretar y compartir la información científica necesaria para manejar hábitats importantes, crear una mayor conciencia sobre sus valores y mejorar el papel que cumplen las agencias relevantes del gobierno.

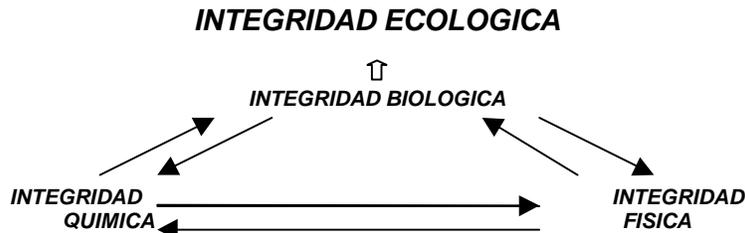
Manejar y operar: Apoyar las anteriores acciones mediante el desarrollo de políticas oficiales que busquen acuerdos colaborativos, apalancamiento de fondos, compartir personal y otras soluciones creativas que mejoren la eficacia y la eficiencia.

Uno de los principios básicos que deben adoptar los países y sus socios del sector privado es que ni las especies ni la diversidad genética deben disminuir como consecuencia de los proyectos de desarrollo hídrico. Lo cual implica que estos no pongan en peligro o causes la extinción de ninguna especie, bien sea durante su construcción o en su operación para el largo plazo. Los medios y dificultades específicos para lograr esta meta variarán según la región o el proyecto y dependerán de las características del mismo y de las condiciones de la biodiversidad existente en la localidad.

Es posible que se presenten aquellas raras ocasiones donde sea imposible conciliar el proyecto propuesto con la conservación de algunos aspectos de la biodiversidad natural existente en el largo plazo. Cualquiera que sea la decisión final que se tome en tales circunstancias, deberá estar basada en información sólida—científica, técnica, social y económica—y las consecuencias se le deberán explicar a todas las partes interesadas.

La meta ecológica post-proyecto para el hábitat de agua dulce en el sitio del mismo, tratándose de *salud ecológica* o *integridad ecológica*, dependerá de los usos pasados y presentes de tales ecosistemas (Karr, 1996). La salud implica bienestar, vitalidad o prosperidad. Un organismo o ecosistema se considera saludable cuando desempeña todas sus funciones vitales normalmente y en forma adecuada; un organismo saludable es por lo general resistente, capaz de recobrase de muchas de las tensiones naturales a las que está sometido y requiere muy poco cuidado externo. La salud ecológica es por lo general la meta en aquellos lugares que se usan en forma intensiva y que abrigan una comunidad biológica bastante diferente a la que se hallaba originalmente en ese lugar. Allí, la integridad en su sentido evolucionario no puede ser la meta. En lugares con menores perturbaciones, la integridad biológica—la suma de la integridad física, química y biológica—debería ser la meta final. La integridad ecológica es una meta que va más allá de la salud ecológica puesto que incluye la capacidad para apoyar y mantener un sistema biológico equilibrado, integrado y adaptativo con el rango completo de elementos y procesos que se espera encontrar en un hábitat o región natural.

Es necesario prever con mayor precisión los posibles efectos de un proyecto sobre la biodiversidad *antes* de comprometer los fondos para el mismo; por lo general, su diseño y operación pueden ajustarse con el fin de minimizar los efectos negativos del proyecto en la biodiversidad. Esto es así *especialmente cuando las consideraciones relativas a la biodiversidad se incorporan al proceso desde las etapas iniciales de diseño y preparación*. Sólo en ocasiones muy raras este proceso conducirá a la cancelación del proyecto.



Componentes de la integridad ecológica
(Fuente: Toth, 1995)

Integración de la biodiversidad de agua dulce al proyecto

Los problemas sociales y ambientales deben ser tomados en cuenta desde el momento mismo en que se está considerando el proyecto con el fin de integrar en forma efectiva la conservación de la función de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico. Para asegurar tal integración se deben considerar las siguientes cinco etapas (Hill, 1997):

Etapas 1. Inventario inicial de recursos

Los proyectos de desarrollo hídrico se inician con la identificación de los problemas que será necesario solucionar (por ejemplo la inundación) o los beneficios a acumular (por ejemplo riego o energía eléctrica) en la región o área donde se requieren. Esto por lo general se conoce como la etapa de *identificación* donde el gobierno anfitrión y los donantes/financiadores evalúan las diferentes estrategias del proyecto. En esta etapa se establecen las metas y el área geográfica general, que es cuando se debe comenzar el inventario inicial de recursos, en conjunción con los primeros estudios hidrometeorológicos, geológicos y socioeconómicos. *El inventario de recursos debe iniciarse tan pronto como sea posible con el fin de maximizar el tiempo disponible para recolectar información de largo plazo y para minimizar retrasos de diseño y construcción en etapas posteriores.*

El nivel de intensidad y detalle para este primer inventario de los recursos de biodiversidad de agua dulce debe corresponder a los impactos potenciales previstos (locales y en toda la cuenca), a la importancia económica de los recursos existentes, a la calidad de la información de referencia existente (si es que la hay), a la presencia de especies o hábitats en peligro de extinción que se conozcan, y al nivel de conocimiento que se tenga de ese ecosistema de agua dulce en particular. En el Recuadro 3 se ofrecen algunos lineamientos para este proceso.

Una vez se ha finalizado el inventario, el equipo investigativo tiene la responsabilidad de informar a los responsables por la toma de decisiones presentando la información de manera tal que los valores intrínsecos de la biodiversidad y sus condiciones ambientales relacionadas sean claras y comprensibles en un contexto cultural y biológico local y mundial. La presentación de los datos no sólo debe incluir la identificación de las especies amenazadas y/o en peligro, sino que

también debe ilustrar tanto como sea posible las relaciones de causa y efecto entre las comunidades biológicas y la diversidad estructural en los niveles de hábitat y ecosistema.

Etapa 2. Aporte del estudio de factibilidad

Entre las principales acciones en la etapa del estudio de factibilidad figuran la selección del sitio, la definición de las dimensiones del proyecto y el análisis económico. En esta etapa el desarrollo sostenible debe ser una meta común. El equipo del proyecto se reúne para compartir conocimientos y para preparar conjuntamente un informe de factibilidad. *En esta etapa los biólogos deben formar parte integral del equipo; asimismo deben utilizar los datos e información recolectados en el inventario inicial para ayudar a seleccionar el sitio y a establecer las dimensiones del proyecto.* El análisis de alternativas servirá para iluminar aquellos vacíos que se convertirán en el foco de atención de la próxima etapa.

Cuando se diseña una represa, la medida de mitigación social y ambiental más efectiva es una **selección acertada del sitio** para asegurar que éste sea en primer lugar inherentemente benigno (Ledec *et al.*, 1997). Sin embargo, el número de alternativas económica y técnicamente viables para la ubicación de una represa es por lo general reducido.

Etapa 3. Aporte del diseño preliminar

En esta etapa ya se ha decidido cuál será el proyecto básico y se ha definido su localización, tamaño y magnitud. Esto establece un área geográfica más discreta dentro de la cual se pueden centrar los inventarios más detallados de la biodiversidad y otros recursos que se verán directamente afectados por el proyecto. *En esta etapa se puede realizar una evaluación completa de los impactos cumulativos (por ejemplo la interacción sinérgica de múltiples proyectos hídricos en una cuenca hidrográfica).* Para ilustrar el caso se ha considerado la construcción una nueva represa hidroeléctrica, Corpus, en un tramo de 200 km. de flujo libre del río Paraná entre las represas de Itaipú y Yacyretá. Si bien el diseño de esta represa potencial podría tener menos impactos ambientales que la de Yacyretá, los efectos acumulados de estas tres represas convertirían la mayor parte del río Paraná en un embalse continuo, con consecuencias muy dañinas para las comunidades acuáticas ribereñas que ya han sido afectadas por otras represas hidroeléctricas (George Ledec, com. personal).

Un inventario más detallado en esta etapa debería incluir información sobre lo siguiente:

- Organismos con potencial de ser utilizados para la supervisión biológica del ecosistema de agua dulce.
- Especies claves, protectoras y representativas
- Especies en peligro o amenazadas.
- Especies particularmente vulnerables a los impactos previstos del proyecto.
- Hábitats y procesos críticos como corredores migratorios, profundidad de la planicie de inundación y conectividad.

Etapa 4. Modificación del diseño

El diseño final y las alternativas del proyecto se deciden antes de que éste se halle plenamente financiado y entre en fase de ejecución, e incluye la selección de la mejor opción. En esta etapa

de desarrollo el objetivo es proporcionar suficiente información a los responsables por la toma de decisiones para que las consecuencias de tales decisiones queden claras. *Es importante que estos tomen decisiones bien informadas y que estén muy conscientes de sus consecuencias, así como de sus acciones.* Al final es posible que se decidan por una acción que presente una amenaza aún mayor para las especies o que produzca su extinción, pero lo deben hacer con pleno conocimiento de los efectos de su elección.

En esta etapa el equipo del proyecto hace las modificaciones finales al diseño con las siguientes prioridades en mente:

- intervenciones necesarias para conservar, proteger y/o mejorar los umbrales de biodiversidad,
- evitar impactos ambientales,
- minimizar impactos ambientales
- mitigar impactos inevitables e irreparables.

Etapa 5. Planificación de mitigación e integración de los costos al proyecto

Los planes de mitigación se deben formular en las etapas iniciales de planificación y su costo se debe incluir en los presupuestos finales del proyecto. Los costos de mitigación no deben verse con una óptica distinta a aquella con que se ven los del acero y el concreto, pues son igualmente necesarios y se deben financiar de conformidad. La planificación temprana debe proporcionar tiempo suficiente para comprar la tierra y otros elementos estructurales que normalmente requieren tiempo para propósitos de selección y negociación. Los criterios de diseño para los estudios de la escala piloto, como son las escalas para peces experimentales, también deben ser abordados desde los comienzos mismos del proceso.

Los planes de supervisión de largo plazo igualmente constituyen una consideración importante en la financiación del proyecto. El desarrollo e implantación tempranos de planes de supervisión conducirán a que se produzca un suministro oportuno de datos para guiar y apoyar un manejo adaptativo del proyecto tanto durante su construcción como en las fases de iniciales de operación.

El papel de las evaluaciones ambientales (EA)

En la mayoría de los proyectos de desarrollo hídrico se invierte el tiempo necesario en encontrar el sitio óptimo para la represa con el fin de maximizar la producción de energía y para garantizar la seguridad de la represa misma. Encontrar el sitio óptimo es una cuestión de suma importancia para los ingenieros y estos *esperan* tener el tiempo y el dinero suficiente para hacerlo bien. Entonces, ¿por qué será que una vez el sitio y la configuración de la represa se han identificado con tanto esfuerzo, se deja la evaluación ambiental como cuestión de última hora? ¿Por qué será que detrás de una obra de ingeniería de primera clase hay un conocimiento bastante deficiente de sus implicaciones ambientales? *La noción de que un análisis de impacto ambiental realizado al final del proyecto es adecuado y que la mitigación posterior a los hechos cumplidos compensará las pérdidas de biodiversidad ¡es completamente falsa!*

Un aporte biológico inteligente y útil al proceso de desarrollo dependerá totalmente de que se disponga de datos e información confiable sobre los recursos que se verán afectados por el proyecto. Los sistemas biológicos no se ajustan a los cronogramas de las obras, y hasta tanto se siga percibiendo la comprensión “puntual en un momento dado” de los sistemas biológicos como suficiente para la toma de decisiones, la biodiversidad del agua dulce continuará decayendo.

Cómo prever los impactos del proyecto en la biodiversidad de agua dulce existente

El inventario de recursos de los ecosistemas de agua dulce debe conducirse en un nivel que sea compatible con los efectos potenciales en su biodiversidad, función y servicios. Para que tengan un significado en términos de diversidad biológica, cultural y de desarrollo sostenible, los inventarios deben hacerse por hábitat. Lo que puede suceder cuando estos inventarios biológicos no se realizan en forma apropiada se puede ilustrar con uno de los problemas que fue detectado durante la evaluación ambiental original de la represa hidroeléctrica Yacyretá: la presencia de cinco morfos del caracol de agua dulce *Aylacostoma* en algunos rápidos que ahora se hallan inundados por el embalse. Estos caracoles no se conocen en ninguna otra área, probablemente porque no se dispersan bien (no hay larva de plancton, los jóvenes viven dentro de la concha de los adultos y se alimentan de las algas que crecen en ella). Los *Aylacostoma* están adaptados a rápidos poco profundos y muy oxigenados, y se alimentan de las algas que crecen en el fondo rocoso. Si bien la calidad del agua en el embalse era lo suficientemente buena para los caracoles, el aumento en la profundidad ha limitado la penetración de la luz solar al fondo y la falta de crecimiento de las algas hizo que los caracoles que quedaban se murieran de hambre. Afortunadamente, antes de que se llenara el embalse a principios de los años noventa, un científico familiarizado con los caracoles recolectó y transfirió una gran cantidad de estos a los acuarios de Museo de Ciencias Naturales de Buenos Aires. Uno de los morfos no sobrevivió en cautiverio pero los otros cuatro están creciendo y se están reproduciendo bien.

Como parte del plan de manejo, una enmienda reciente al préstamo concedido para Yacyretá II requiere que: (a) Yacyretá pague por los costos recurrentes de mantener las poblaciones de caracol en cautiverio; (b) a través del proyecto se construya un segundo laboratorio en el lugar donde se ubica para mantener allí una segunda población en cautiverio; (c) el proyecto pague por un estudio sobre sitios potenciales de *Aylacostoma* en un tramo de 200 km. del río aguas arriba de la represa, dado que no se han identificado poblaciones silvestres en un tramo de 200 km. aguas abajo de la misma; el proyecto debe buscar lugares apropiados para reintroducir los caracoles cautivos (ya se ha identificado uno potencial justo debajo de las esclusas de navegación. El Recuadro 1 ofrece algunos lineamientos para llevar a cabo un trabajo apropiado de biodiversidad en las EA.

Los inventarios biológicos deben organizarse en forma jerárquica para mantener la integración, escala, contenido y contexto ecológico para todos los recursos en todos los niveles de investigación y planificación. El primer paso en el inventario de la biodiversidad de recursos de agua dulce dentro de la cuenca de un río es realizar una clasificación ecológica que diferencie desde las formas de tierra hasta los tipos de cauces, al tiempo que conserva la escala, contenido y contexto ecológico. Una vez se finaliza la clasificación de la cuenca del río —preferiblemente utilizando técnicas de SIG— se debe iniciar el inventario real sobre la base de los habitantes prioritarios. Los inventarios pueden ser el resultado de diferentes niveles de esfuerzo y especialización, y centrarse en objetivos distintos, dependiendo de las condiciones existentes en el lugar del proyecto y el nivel de los impactos que se prevén.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos adopta este concepto en su manual titulado *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers*, publicado en 1989. Este documento presenta cinco protocolos que se pueden seguir dependiendo de la situación específica (Plafkin *et al.*, 1989):

- Los protocolos I y IV son subjetivos porque un investigador o agencia pueden conducir cualquier tipo de investigación que se considere necesario, y la presencia o ausencia de deterioro ecológico del hábitat de agua dulce se apoya en un análisis limitado de las comunidades biológicas.

Recuadro 1. Trabajo de biodiversidad de agua dulce apropiado en las evaluaciones ambientales (Kottelat y Whitten, 1996)

Etapas de planificación. Considere la naturaleza del proyecto y sus posibles impactos en un ecosistema acuático. Una predicción inicial de impactos potenciales (esto es, la definición del alcance del problema) puede mejorar sustancialmente la eficiencia de la recolección de datos e interpretación posteriores.

El ejercicio de definir el alcance del problema depende de: (i) la existencia de un inventario suficiente de especies para el sistema acuático, (ii) que se entiendan los requerimientos de hábitat de las especies críticas, y (iii) que se tenga algún conocimiento del impacto que han producido proyectos de desarrollo/industriales sobre ecosistemas acuáticos comparables. Donde no exista tal información será necesario conducir un inventario de referencia antes de definir el alcance del problema. Esta definición deberá ser a la vez prudente y amplia: es mejor descartar luego algunos problemas que descontar impactos importantes desde el comienzo.

La naturaleza del proyecto y sus posibles impactos en los ecosistemas de agua dulce, p.e., la toxicidad, el aumento de temperatura o el incremento en la carga de sedimentos, ayudará en el diseño del trabajo de campo. Será necesario registrar y tomar en cuenta los afluentes, pantanos y acequias que queden cerca del sitio del proyecto puesto que estos pueden operar como refugios o lugares de reproducción. Llenar un área pantanosa puede tener tanto impacto como verter efluentes.

Etapas del trabajo de campo. Es muy probable que un muestreo único de un lago o tramo del río no dé una idea completa de las especies presentes, de su abundancia relativa o de sus historias de vida como resultado de sus movimientos diurnos y estacionales, y de las variaciones en abundancia que se producen de un año a otro. Aunque no se debe esperar que el proponente del proyecto compense por las limitaciones de los inventarios de las pesquerías del gobierno o de los centros académicos, como mínimo se debe considerar un año completo de muestreo en las zona de impactos potenciales como requisito para la evaluación.

El primer paso es emprender el estudio y la cartografía (en la escala apropiada) de los principales ecosistemas acuáticos en el área de influencia potencial. El levantamiento de mapas se debe utilizar para organizar los muestreos subsiguientes de la distribución y abundancia de especies. Tal muestreo deberá ser tomado en intervalos regulares (p.e., una vez al mes) y ser diurno y nocturno. En cada ocasión el muestreo debe continuar hasta que los esfuerzos repetidos resulten en una cantidad insignificante de especies extras. El muestreo de la captura que obtienen los pescadores o de lo que se encuentra en los estantes del mercado puede proporcionar información útil si se puede ubicar el lugar de origen, pero nada puede sustituir la opción de que quienes realizan el estudio extraigan ellos mismos el pescado o que por lo menos acompañen a los pescadores. Además de las redes estándares utilizadas por los pescadores será necesario utilizar atarrayas más pequeñas para atrapar especies menores o a los juveniles de especies más grandes.

Etapas de evaluación. La función principal de una evaluación de impacto es su cuantificación y significado. En muchos casos nuestro conocimiento sobre las relaciones causa y efecto es tan deficiente que la cuantificación de los impactos se vuelve dependiente de un mejor juicio técnico por parte del especialista en evaluación. La predicción y cuantificación de impactos debe tener en cuenta la complejidad de las interrelaciones entre los ecosistemas acuáticos. Entre las consideraciones importantes figuran: el papel de los árboles y otra vegetación ribereña; los impactos de los efluentes orgánicos cuya demanda biológica es muy alta y por lo tanto reducen las concentraciones de oxígeno en el agua, por debajo de los umbrales de muchas especies; y el área de influencia de todo el proyecto, inmediatamente adyacente al mismo y también aguas abajo. Las evaluaciones de impacto deben estar basadas en las características observables del río en ese momento y en el potencial estimado de flujos altos y bajos.

Etapas de manejo. Esto incluye el desarrollo de un plan para manejar impactos, incluyendo programas para su mitigación y supervisión. Para que la mitigación sea plenamente efectiva, la evaluación de impacto se debe integrar al diseño del proyecto y a los estudios de factibilidad desde un comienzo. La supervisión debe servir para proporcionar una medida de efectividad del programa de manejo, y para alertar tempranamente sobre posibles impactos imprevistos. La supervisión del proyecto debería estar vinculada a los inventarios acuáticos de referencia que se llevan a cabo al principio del proceso de evaluación ambiental, y debe tener una base estadística sólida.

Estos se deben utilizar principalmente como técnicas de selección y reconocimiento para establecer el deterioro biológico.

- Los protocolos II, III y V son progresivamente más rigurosos y buscan evaluaciones más objetivas y reproducibles que las de los protocolos I y IV. Los protocolos II, III y V se han diseñado para que sean semicuantitativos y utilicen una técnica de análisis integrado para dar continuidad a la evaluación del deterioro de un sitio a otro y de una estación a otra.

La diferencia principal entre estos tres protocolos es el nivel de resolución taxonómica (p. e., identificación del nivel de la familia versus el nivel de género/especie) que se requiere para llevar a cabo la evaluación. En cada hábitat designado para ser investigado será necesario evaluar:

- la estructura de la comunidad biológica, incluyendo la vegetación ribereña;
- los principales patrones de alimentación, migración y reproducción de las especies de agua dulce;
- la estructura y cantidad de microhábitats;
- la variación temporal y espacial en el flujo de agua, disponibilidad de macrohábitats, y características físicas y químicas del medio ambiente acuático, y
- el grado de conectividad entre los diferentes parches de microhábitats a través de las estaciones.

PROYECTOS DE INGENIERIA: PROBLEMAS Y OPCIONES

Con el fin de proteger los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas de agua dulce, es crítico evitar todos aquellos posibles impactos biológicos negativos causados por los proyectos de desarrollo hídrico. *Es importante recordar que siempre es menos costoso incorporar las medidas de mitigación durante la construcción que introducir cambios a un proyecto que ya se ha concluido.*

Este documento abordará algunos de los impactos más comunes de los proyectos de desarrollo hídrico en los ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad asociada, al tiempo que presenta algunas medidas posibles de mitigación y lineamientos para la acción en el contexto de algunas categorías generales de proyectos:

- Represas (para varios fines)
- Control de inundaciones y estructuras de navegación
- Riego y drenaje
- Acuicultura

La mayoría de los proyectos de desarrollo hídrico afectan los ecosistemas de agua dulce pues interfieren en una u otra de sus cuatro características básicas:

- Regímenes de flujo natural
- Conectividad
- Calidad deseable del agua
- Variedad de microhábitats acuáticos

Regímenes de flujo natural

El régimen de flujo natural (movimiento de agua y sedimentos) organiza y define los ecosistemas de cursos de agua, y puede ser considerado como una “variable maestra” que limita la distribución y abundancia de las especies ribereñas y regula la integridad ecológica de los sistemas de agua en movimiento. En varias ocasiones, sin embargo, la importancia de la variabilidad del flujo en lo que se refiere a mantener ecosistemas acuáticos saludables todavía permanece ignorada en el contexto del manejo (Poff *et al.*, 1997).

El crecimiento y ciclos reproductivos de la mayoría de las especies de agua dulce y humedales se hallan sincronizados con la hidrografía natural estacional, mientras que los comportamientos asociados con la reproducción y con la cría se desencadenan a partir de las crecidas que se producen al comienzo de la estación lluviosa o por la baja cuando ésta finaliza. Las áreas inundadas de movimiento más lento y depositarias de mucho material orgánico proporcionan las condiciones propias para la reproducción y cría de muchas especies de peces. Cada año la parimutaba de la Amazonía (*Brachyplatysoma vaillantii*) migra hasta 3.000 kilómetros tierra adentro desde el estuario del Amazonas para luego hacer el viaje de regreso. Otro pez amazónico de gran importancia económica conocido como tambaqui (*Colossoma macropomum*) migra hacia las áreas inundadas para alimentarse de los frutos de ciertos árboles y cuando bajan las aguas se desplaza nuevamente hacia los principales cauces del río donde ayuna y pierde peso hasta la siguiente estación lluviosa (Goulding *et al.*, 1995).

Históricamente, el enfoque de manejo para proteger los ecosistemas de los ríos típicamente ha hecho hincapié en la calidad del agua y solamente en un aspecto de la cantidad: el flujo mínimo. Sin embargo, muchas de las características de los cauces y planicies de inundación como lo son las barras de arena y las secuencias de bajos y pozas están formadas y mantenidas por caudales dominantes y flujos a pleno cauce. Los caudales que configuran el cauce pueden ser distintos a aquellos que conforman la planicie de inundación (Poff *et al.*, 1997). El cauce de un río y su planicie de inundación asociada constituyen un sistema único integrado donde el funcionamiento saludable de un componente está íntimamente ligado con el del otro. Las inundaciones periódicas traen nuevos nutrientes y sedimentos al sistema, redistribuyen los materiales depositados, y mueven materiales orgánicos e inorgánicos dentro y fuera de las planicies de inundación. Las inundaciones también cumplen una función de limpieza en la medida en que expulsan toxinas que se acumulan allí durante la estación seca.

La construcción de estructuras que impiden la inundación de la planicie, así como de cauces artificiales que sacan el agua de allí más rápido que los naturales, genera pérdida de humedales y de los servicios que estos prestan, deteriorando así la salud e integridad de los ecosistemas de agua dulce. Los diques y la canalización también hacen que el agua se mueva más rápido a través de sus ecosistemas, reduciendo así las oportunidades para que se recargue el nivel freático. Durante la inundación, a medida que el agua se desplaza lentamente o se estanca sobre terrenos relativamente llanos como planicies de inundación y pantanos, existen mayores oportunidades de filtración en el suelo para así recargar las reservas de aguas subterráneas.

Una mayor velocidad del agua como resultado de la canalización ocasiona la erosión de riberas y canales, pérdida de vegetación ribereña y de su efecto de sombra, pérdida de hábitats ribereños e interiores al cauce, y un mayor nivel de inundación. Esto conduce a que haya volúmenes mayores a los normales de agua y sedimentos que llegan al estuario en pulsos distintos, dado que hay una menor retención por parte del ecosistema. Una buena discusión de los efectos biológicos de los sedimentos en los arroyos se encuentra en Waters (1995).

Cuando se construyen represas en los ecosistemas de agua dulce, el equilibrio natural dinámico que existe entre el movimiento del agua y el de sedimentos en sistemas de flujo libre se ve alterado drásticamente pues los hábitats localizados aguas arriba cambian de aguas menos profundas y en movimiento a aguas estancadas y más profundas, mientras que las áreas río abajo tienen ahora un nuevo régimen de flujo determinado por la operación y mantenimiento del embalse. Las represas capturan todos los sedimentos que se desplazan río abajo —exceptuando los más finos—, lo cual tiene consecuencias serias aguas abajo, entre ellas una mayor erosión de las riberas. Por lo general, la construcción de una serie de represas pequeñas en vez de una grande minimizará los impactos en la comunidad acuática, aunque esto no siempre es así. Es necesario analizar cada situación individualmente.

Los proyectos de desarrollo hídrico que buscan controlar las inundaciones o mejorar la navegación *siempre deberían considerar primero soluciones no estructurales al problema*. En el caso del Proyecto de Control de Inundaciones del bajo Guayas en el Ecuador, “la EIA sólo investigó alternativas con respecto a las rutas de las desviaciones en la planicie de inundación y ayudó a identificar las menos dañinas al medio ambiente ... ya se había decidido que se requería control de inundaciones e ingeniería hidráulica como prerequisites para manejar los recursos y mejorar de los estándares de vida en la cuenca del Guayas ... nunca se sabrá si esto es cierto o no porque otras alternativas —p.e., la introducción de nuevos métodos agrícolas, así como cultivos y animales de pastoreo adaptables y/o resistentes a las inundaciones no fueron considerados” (Wetten, 1995).

En la medida de lo posible se deberá seguir un enfoque no intervencionista y de “convivir con las inundaciones”. Entre las herramientas para integrar los regímenes naturales de inundación a las políticas de desarrollo hídrico figuran las siguientes: (a) zonificación de las planicies de inundación para actividades seleccionadas a realizarse durante la estación seca y que no impliquen la creación de asentamientos humanos permanentes; (b) introducción o reanudación de actividades agrícolas que dependen de las inundaciones; (c) incentivos para que la gente se vaya a vivir por fuera de la planicie de inundación; y (d) en aquellos lugares donde el reasentamiento permanente no es una opción, la construcción de centros de refugio en lugares más elevados puede combinarse con el establecimiento de un sistema de alerta temprana para evitar la pérdida de vidas humanas durante inundaciones mayores. La utilización económica de las planicies de inundación debería centrarse en actividades que se puedan realizar durante la estación seca, y se debe evitar hasta donde sea posible establecer asentamientos humanos permanentes en estas áreas. Cabe hacer una advertencia sobre los usos alternativos de las planicies de inundación durante la estación seca. En muchas áreas, especialmente en las urbanas, el agua de las inundaciones puede contener niveles elevados de efluentes domésticos e industriales que contaminan la planicie de inundación con organismos patógenos, sustancias tóxicas, desperdicios, etc. En tales circunstancias no se aconseja la utilización de las planicies de inundación para controlar inundaciones y/o para actividades humanas. Un proyecto de control de inundaciones para la ciudad de Río de Janeiro en Brasil consideró la posibilidad de desviar el exceso de aguas lluvias hacia un parque en el centro de la ciudad con el fin de mejorar la evacuación de las aguas en las calles del centro de la ciudad, pero su nivel de contaminación con efluentes domésticos impidió la ejecución del plan. La solución adoptada consiste en un canal de aguas lluvias que las recoge y envía al mar, más allá de las corrientes costeras (Jerson Kelman, com. personal).

En el Recuadro 2 se resume el caso del proyecto de control de inundaciones que tomó en cuenta todos estos factores y adoptó el enfoque de “convivir con las inundaciones”.

Para aquellos proyectos dirigidos a mejorar la eficiencia de la navegación y la seguridad a lo largo del curso de las fuentes de agua dulce, existen avances tecnológicos que ofrecen muchas oportunidades para alcanzar metas con una mínima intervención estructural. Los aparatos modernos de señalización electrónica, junto con los sistemas de posicionamiento de satélites y los computadores pueden ser utilizados para guiar a las embarcaciones a través de tramos difíciles del cauce y prevenir colisiones en las horas del día y de la noche.

Las extracciones del líquido de ríos y lagos naturales reduce su flujo a través de los ecosistemas de agua dulce, mientras que los sistemas de drenaje promueven el desecamiento de arroyos, humedales y planicies de inundación. Ambas actividades tienen un impacto profundo sobre el ciclo hidrológico y la calidad y cantidad de aguas subterráneas debido a los cambios en la dinámica del sistema. Los proyectos de desarrollo relacionados con riego y drenaje deben imitar tanto como sea posible la hidrología natural y acompañarse de políticas para mantener caudales ecológicos mínimos. En el pasado, los proyectos de riego y drenaje han sido los culpables de la degradación de amplias porciones de los ecosistemas de agua dulce del mundo.

Si después de considerar todos los factores que se mencionaron más arriba todavía se cree necesario adoptar soluciones de tipo estructural, los proyectos de desarrollo hídrico que impliquen la alteración de los regímenes de flujo natural deberán adherirse a las siguientes recomendaciones con el fin de proteger o restaurar los ecosistemas de agua dulce:

1. *Siempre debe haber suficiente agua en el cauce del río para que se pueda mantener la vida acuática original*

- La cantidad de agua necesaria puede variar durante el año pues los cambios estacionales en su volumen y velocidad constituyen pistas importantes para determinar los momentos de los ciclos de vida y comportamientos de organismos acuáticos y vegetación ribereña.

Recuadro 2. Proyecto de protección contra inundaciones en Argentina

El sistema del río de la Plata es un estuario de casi 17 kms. de largo que se compone de la conjunción de tres ríos muy grandes, el Paraná, el Paraguay y el Uruguay, y contiene la cuarta parte del agua dulce de América del Sur. La mayor parte del noreste de Argentina consiste de extensas planicies de vertientes poco inclinadas cuyos suelos tienen poca capacidad de retención. Desde la década de los años sesenta se han producido aumentos significativos en la incidencia y severidad de las inundaciones en toda la cuenca de La Plata y existen estudios que muestran que la variación en la precipitación explica en buena medida las variaciones en materia de flujo e inundaciones.

Para enfrentar las inundaciones en la cuenca del Paraná, el gobierno de Argentina ha diseñado una nueva estrategia que busca lo siguiente: (a) mejorar el manejo de los principales recursos naturales de la cuenca mediante una mejor coordinación de las acciones contra las inundaciones dentro de las provincias y entre ellas; (b) adoptar medidas estructurales que incorporen inversiones de largo plazo bien definidas para defender los bienes más importantes del área, evitando así las reacciones sólo en tiempos de emergencia, tal y como ocurre actualmente; y (c) adoptar medidas no estructurales que combinen acciones dirigidas a “convivir con las inundaciones”, entre ellas medidas de alerta temprana y defensa civil en áreas prioritarias aunque menos importantes.

Las medidas estructurales (cerca del 75% del costo base) incluyen la fortificación de las defensas contra inundaciones en áreas con una fuerte actividad económica y la mayor vulnerabilidad a daños repetidos por su causa. Con estas inversiones no se pretende controlar el flujo de los principales ríos --el Paraná, el Paraguay y el Uruguay-- sino más bien a proteger las ciudades contra las inundaciones mediante la construcción de obras que prevengan invasiones de agua pero sin interferir con los ríos. Entre ellas figuran elevar puentes, mejorar los canales de drenaje ya existentes y construir otros nuevos, así como terraplenes y otras obras menores de control de inundaciones.

Las medidas no estructurales (cerca del 24% del costo base) consisten principalmente en: (a) La formulación de un nuevo marco institucional, incluyendo el desarrollo de planes y regulaciones para racionalizar el uso del suelo en áreas propensas a las inundaciones (desincentivando la expansión urbana en zonas de alto riesgo) y creando una unidad para coordinar la defensa civil, el sistema de alerta, el mantenimiento de las instalaciones de defensa contra las inundaciones, etc. El proyecto también prestará asistencia técnica a las provincias para que mejoren la protección de los humedales y desarrollen programas de educación ambiental en comunidades que se beneficien de estas obras. (b) Mejorar la preparación contra las inundaciones en áreas vulnerables donde no se justifiquen mayores inversiones en defensas estructurales. Entre las acciones figuran la provisión de albergues (instalaciones con propósitos múltiples) y el mejoramiento de viviendas para familias de bajos ingresos en zonas propensas a las inundaciones. El componente de vivienda proporciona financiación para un programa voluntario de autoconstrucción por parte de la comunidad. (c) Sistemas de alerta temprana contra inundaciones para asegurar el desarrollo de una estructura que vincule al Instituto Nacional de Ciencias Hidrológicas y Tecnología con entidades provinciales similares. Entre las acciones figuran un nuevo sistema de medición de caudales, nuevo equipo y programas de computación, un nuevo sistemas de comunicaciones, la creación de sistemas de alerta temprana contra inundaciones en cada provincia, y capacitación del personal en esta nueva tecnología.

Las áreas ribereñas abajo de la represa se verán afectadas por la disminución de los niveles de agua en los cauces, mientras que en las áreas más cercanas al delta del río la reducción del flujo del agua puede permitir que el agua salada se desplace tierra adentro, especialmente

durante la estación seca. En áreas naturalmente secas puede ser importante que algunos ríos se conserven totalmente secos durante parte del año, dado que sus comunidades naturales están adaptadas a esas condiciones.

- Los métodos para identificar los requerimientos ambientales de flujo para los ríos se concentran principalmente en una o algunas de las especies que viven en su cauce mojado. Si bien este enfoque continúa evolucionando a medida que se dota a tales modelos de realismo biológico y se expande el rango de habitantes a incluir, en la práctica por lo general sólo se usa para establecer flujos mínimos para especies de peces importantes (usualmente trucha y salmón) (Poff *et al.*, 1997). Desafortunadamente, para muchos proyectos el núcleo de la discusión no es *cuánta agua* se debe soltar a las áreas río abajo sino *si se debe* soltar cualquier volumen de agua durante aquellos momentos en que no se la está utilizando para los propósitos económicos del proyecto.
- No es fácil determinar los flujos mínimos requeridos para mantener la función de los ecosistemas de agua dulce y para proteger sus especies acuáticas, pero ya existen varios modelos y metodologías para guiarnos en esta búsqueda. Su rango oscila entre los más simples, como el método de Sag Tape, y los más intensivos como el modelo PHABSIM-IFIM. En el de Sag Tape, los perfiles de velocidad y profundidad a lo largo de una sección se usan para estimar el hábitat del que se dispone bajo varias condiciones de flujo; con estos datos se pueden realizar varios análisis, incluyendo el de relaciones tales como flujo versus perímetro mojado. La Instream Flow Incremental Methodology (IFIM), desarrollada por la División de Sistemas Acuáticos del US Fish and Wildlife Service es un concepto que considera las demandas ecológicas una vez se determinan las recomendaciones respecto al régimen de flujo. La IFIM relaciona los cambios en la extensión de áreas de hábitat disponible para las especies acuáticas con los cambios en la descarga (véase Recuadro 3). El Modelo de Simulación de Hábitat Físico (PHABSIM) está constituido por un conjunto de programas de computador que se centran en las características del hábitat natural físico y se usa para generar relaciones de hábitat versus descarga para ser usados en estudios de IFIM. En la sección de referencias al final de este trabajo aparecen sugerencias sobre dónde encontrar material adicional acerca de estos y otros modelos.
- En situaciones donde la información disponible sobre los parámetros biológicos y el hábitat físico es inadecuada para tomar la decisión definitiva sobre el flujo mínimo requerido, es necesario adoptar un enfoque flexible que permita que los flujos varíen de acuerdo con reglas establecidas a medida que surge más información y mejores modelos de los estudios de monitoreo. *Este enfoque de manejo adaptativo debería ser un proceso de adecuación a un mayor conocimiento científico de los ecosistemas de agua dulce y no a las presiones políticas cambiantes* (Van Winkle *et al.*, 1997).
- Es posible colocar vertedores y embalses de re-regulación en varios puntos por debajo de la represa hidroeléctrica para almacenar temporalmente parte del agua que se suelta durante el funcionamiento de las turbinas, especialmente cuando se trata de proyectos hidroeléctricos que operan al máximo. Es posible continuar soltando agua una vez las turbinas se han detenido, asegurando así que el agua nunca deja de fluir en el cauce aguas abajo de la represa. Como consecuencia de la construcción de la represa hidroeléctrica Yacyretá II, y en ausencia de medidas de mitigación apropiadas, el brazo Aña Cua del río Paraná quedaría totalmente seco por cerca de casi nueve meses cada año después de que se instalara la turbina No. 14. Para prevenir problemas ambientales potencialmente serios se planea construir tres represas pequeñas que mantengan los niveles adecuados de agua en esa sección del río. Hasta tanto no se construyan esas represas se soltará un flujo mínimo de 1500m³/seg. durante todo el año para asegurar niveles adecuados de agua en el brazo Aña Cua.

- Las técnicas de pulsación de turbinas o la instalación de pequeñas hidroturbinas que funcionan sin parar son dos maneras de asegurar la entrada constante de agua a las áreas río abajo.

Recuadro 3. Diseño de modelos de hábitats físicos

Muchas poblaciones de peces, invertebrados y otras especies acuáticas se ven limitadas por la disponibilidad de un hábitat físico con características deseables como por ejemplo profundidad, velocidad de flujo, tipo de sustrato y cubierta.

La ingeniería fluvial y los proyectos de recursos hídricos con frecuencia reducen la magnitud total de la variabilidad de estos componentes físicos y por lo tanto conducen a la pérdida de biodiversidad. La Instream Flow Incremental Methodology proporciona un marco para evaluar el impacto de los proyectos o para establecer “flujos ecológicos aceptables”. La locación de individuos de las especies objetivo en el curso del agua —por lo general peces—se identifica mediante snorkeling o electropesca, y las variables físicas (profundidad, velocidad, sustratos y cubierta) se miden donde quiera que tales especies se encuentran. A continuación se produce un historiograma para cada variable física definiendo el rango de los valores medidos, al tiempo que se establece su idoneidad como hábitats dependiendo del número de individuos que los ocupan. Estos gráficos se denominan índices de idoneidad. Para aplicar este método se hace un mapa de la parte afectada del río, mostrando la distribución de los meso-hábitats (tales como pozas, bajos y flujos uniformes) y a partir de aquí se escogen las muestras. Para cada parte elegida se miden la cubierta y el sustrato, y simultáneamente se calibra un modelo hidráulico que prevé la distribución de las profundidades y velocidades, pudiendo clasificar cualquier flujo mediante la aplicación del índice de idoneidad a las velocidades y profundidades previstas por el modelo hidráulico y los valores medidos de sustrato y cubierta. Mediante el uso de este enfoque, las series cronológicas de los flujos se pueden convertir en series cronológicas de hábitat disponible. Para cualquier esquema de recursos hídricos, una serie cronológica de flujos sintéticos (con el esquema en marcha) también se puede convertir en una serie cronológica de hábitat físico. Para evaluar el impacto del esquema es posible comparar la situación natural o pre-esquema con una serie cronológica de hábitats usando métodos de análisis estándares de series cronológicas.

- Los embalses que se construyen con fines de riego o con múltiples propósitos deben incluir características de diseño que permitan la salida del agua necesaria para mantener la función natural de los ecosistemas en áreas localizadas abajo de la represa. El uso ecológico de las aguas represadas se debe considerar como parte integral del proyecto y no verse como “agua desperdiciada”.

El Recuadro 4 presenta un ejemplo de un proyecto de riego que se propone responder a las necesidades de los organismos de agua dulce.

2. *Para sostener la morfología natural del curso es necesario que una cantidad suficiente de sedimentos se desplace a lo largo de las estructuras*
- Los sedimentos que usualmente se mueven río abajo con el flujo del agua tenderán a depositarse en el fondo de los embalses debido a que la velocidad del agua es menor. Esto afecta los hábitats río abajo porque se requiere un flujo natural de sedimentos para mantener

las áreas de menor profundidad como las barras de arena, y para equilibrar la erosión de las riberas. El río trata de compensar la disminución en el flujo de sedimentos incrementando su capacidad de erosión, dañando entonces las riberas existentes y limpiando el lecho del cauce. Existen varias técnicas para mover sedimentos a través del embalse y hacia las áreas río abajo; éstas varían en costo y efectividad dependiendo de las características de cada embalse. Las técnicas de manejo de sedimentos por lo general utilizan uno de los tres enfoques siguientes: remoción mecánica, encaminamiento o lavado de sedimentos.

Recuadro 4. Proyecto de consolidación de recursos hídricos en Orissa (India): Derivadora Naraj

En el pasado el río Muhadani, junto con su delta de cinco ramales y sus extensas planicies de inundación, contenía ricos recursos pesqueros mantenidos por estuarios de marea con condiciones estacionales de agua dulce/agua salada y terrenos amplios de desove para camarones y peces de agua dulce. Debido a la conversión del delta en tierras de riego y a la intervención en la hidrología del río (con la construcción de la represa Hirakud en 1958 a 250 km aguas arriba del delta), muchas de las especies acuáticas casi han desaparecido.

Las carpas indias (*Catla catla*, *Labeo rohita*, *L. calbasu* y *Cirrhina mrigala*) habitan en el delta del Mahanadi y para el desove dependen totalmente de las inundaciones causadas por los monzones, especialmente durante el primero que ocurre entre mediados de junio y finales de julio. Entre más intensa sea la inundación, mayor será la cantidad de pecesillos que se produzcan. El ramal de Mahanadi es el más importante para estas especies y, debido a la represa Hirakud y a la utilización del agua para el riego, casi no se produce ningún desove en los años en que llueve poco y las inundaciones son muy reducidas. Es posible que el problema se resuelva parcialmente mediante la creación de inundaciones artificiales durante el primer monzón. Asimismo, los camarones de agua dulce del tipo *Macrobrachium* se reproducen en la zona de aguas salobres del delta, pero los recién nacidos migran agua arriba a las aguas dulces durante el período post-monzón de tres meses. Para que este evento continúe es esencial mantener las descargas de agua hacia el río Kathjori. La derivadora Naraj, que queda por debajo de la represa Hirakud, reemplaza al deteriorado vertedor Naraj. Este último desvía el agua desde el ramal Kathjori hasta los de Mahanadi y Birupa del delta Mahanadi, y su colapso hará imposible el riego en el amplio esquema de irrigación del Delta Etapa I. Se dispondrá de una nueva derivadora con compuertas para la regulación del flujo de aguas, la cual abre la posibilidad de manejar hasta cierto punto el flujo de agua dulce y sedimentos hacia los diferentes ramales del delta Mahanadi. Así mismo se incluye un paso para peces de dos metros de ancho. Además de la función de riego, la nueva derivadora Naraj servirá también para incrementar las inundaciones del primer monzón al ramal Mahanadi para así aumentar el desove de peces en el río, y para mantener flujos mínimos hacia el ramal Kathjori en los tres primeros meses después del monzón, en vista de la migración de los camarones aguas arriba.

Las reglas operacionales iniciales para la derivadora Naraj determinan que una vez se cumplan las principales condiciones de riego, las primeras inundaciones como resultado de las lluvias monzónicas deberían ser tan altas como sea posible para mejorar las condiciones de desove de las carpas indias; asimismo se requiere un flujo continuo a través de la derivadora durante los tres meses posteriores al monzón para facilitar la migración de los camarones aguas arriba. El flujo mínimo requerido para una migración óptima de camarones se determinará después de que el monitoreo del Departamento de Pesquerías haya arrojado más datos sobre la relación entre el flujo del agua y la captura de camarones más abajo de la derivadora. Su manejo de la Naraj se ajustará de acuerdo con las indicaciones del Departamento de Pesquerías dentro de los límites establecidos por las demandas de riego de la etapa I.

Los sedimentos pueden ser dragados y transportados en camión río abajo, lo cual por lo general es bastante costoso. Si es posible, la diferencia de altura entre el fondo del embalse y el lecho del río abajo de la represa se puede utilizar para remover sedimentos finos a través de hidrosucción/sifonamiento, que transporta el barro suspendido sobre la pared a través de tubos flexibles. Esta solución es por lo general barata y ecológicamente sana porque el lecho del río aguas abajo se alimenta constantemente de sedimentos. Otra solución mecánica para el manejo de sedimentos es construir un canal de desvío que dirija las aguas ricas en sedimentos, usualmente durante fuertes tormentas

- El encaminamiento de sedimentos implica mover aguas ricas en sedimentos a través del embalse y río abajo *antes* de que estos puedan asentarse. Las aguas ricas en sedimentos tienen una densidad alta y tienden a desplazarse en corrientes cerca de las áreas más profundas del embalse. La creación de modelos hidrológicos de las corrientes de agua en el embalse pueden predecir dónde se localizarán tales corrientes, y las compuertas pueden ubicarse en los puntos apropiados de la pared para dejar que las aguas ricas en sedimentos se desplacen aguas abajo.
 - El lavado implica removilizar periódicamente los sedimentos asentados y expulsarlos con agua a través de las compuertas construidas en el punto más bajo de la pared de la represa. Esta solución requiere que se utilicen grandes cantidades de agua para que los sedimentos vuelvan a estar en suspensión y no es efectiva en función de los costos para aquellas áreas donde la abundancia de agua es un problema. Asimismo, este diseño no es efectivo en embalses con pendientes muy suaves en el fondo. El lavado se hace por lo general una vez cada tantos años en las estación lluviosa y puede requerir el descenso total o parcial del embalse. Si bien esta solución proporciona una nueva carga de sedimentos a las áreas localizadas aguas abajo, las comunidades acuáticas que allí habitan pueden sufrir por la abrasión violenta causada por aguas cargadas de sedimentos en suspensión.
3. *Se deben mantener los ciclos naturales de inundación tanto como sea posible, incluyendo inundaciones periódicas en los momentos requeridos*
- El conocimiento actual sobre la ecología de los ríos indica claramente que los peces y otros organismos acuáticos requieren características de hábitat que no se pueden mantener únicamente con flujos mínimos. Se necesita un amplio rango de flujos para limpiar y revitalizar los lechos de grava, para importar madera y materia orgánica de la planicie de inundación, y para facilitar el acceso a humedales ribereños productivos (Poff *et al.*, 1977).
 - La variaciones naturales de flujo de agua entre las estaciones y dentro de éstas se verán alteradas al represar un río. Esto puede tener un efecto sustancial en los organismos de agua dulce porque para muchos de ellos, incluyendo algunas especies de vegetación ribereña, esta variación funciona como pista para iniciar movimientos migratorios y eventos reproductivos.
 - La vegetación ribereña natural aguas arriba de la represa será permanentemente eliminada debido a la inundación en el área del embalse. La reducción de los flujos de agua someterá a la vegetación ribereña río abajo a una mayor erosión de las riberas y afectará severamente la integridad de las planicies de inundación naturales cuya existencia depende de los patrones naturales de inundación.

El diseño inicial del proyecto debería incorporar características que permitan la creación de inundaciones artificiales de una magnitud tal que satisfagan las necesidades de la comunidad acuática natural en los momentos apropiados. Si bien este planteamiento parece contradecir el propósito mismo de tener un proyecto de esta naturaleza, esto es, almacenamiento de agua y la reducción de la variación de su flujo natural durante todo el año, las inundaciones artificiales

probablemente tendrían una magnitud y frecuencia menor que las del ciclo natural. La descarga controlada de agua desde el embalse durante las estaciones húmedas puede asegurar la conservación de ecosistemas sanos de agua dulce y de áreas asociadas de planicies de inundación ribereñas río abajo. Estas descargas controladas también pueden desincentivar el establecimiento de asentamientos humanos permanentes en las planicies de inundación cuya ocupación se limitaba a la ocurrencia de inundaciones naturales. El Recuadro 5 presenta un proyecto que busca incorporar el régimen “natural” de inundaciones a su estrategia operacional.

Recuadro 5. Proyecto regional de desarrollo hidroeléctrico: Represa Manantali

La mayor parte de la población del valle del río Senegal ha dependido tradicionalmente de las inundaciones anuales del río para su sustento. La inundación natural anual mantuvo una agricultura basada en su receso, así como en el pastoreo de ganado y la pesquería, al tiempo que fomentó la reposición de los acuíferos de superficie usados para suministrar agua al poblado y para regenerar la capa vegetal. Originalmente, el principal objetivo de la represa Manantali, finalizada en 1988, fue responder a la sequía y a la hambruna de los años setenta y ochenta con un suministro estable de agua para la agricultura. La construcción y manejo de la represa Manantali, junto con el cambio en los patrones de precipitación, han conducido al acortamiento de la inundación, al tiempo que ha disminuido o amenazado los sistemas de producción acuáticos y aluviales.

El Proyecto Energético Manantali es un ejemplo de una obra de infraestructura que intenta abordar problemas de la función del ecosistema restaurando algunas de sus características naturales originales. El proyecto financia la construcción de una instalación de 200MW en la represa Manantali, en Mali, y un sistema de transmisión para distribuir electricidad en Mali, Senegal y Mauritania. En este proyecto se considera prestar asistencia en la ejecución de un plan de monitoreo y mitigación ambiental junto con estudios dirigidos a optimizar el manejo del embalse y medidas de mitigación en relación con el medio ambiente, la agricultura tradicional y la salud.

Manantali será operado como un embalse de propósitos múltiples de acuerdo con un manual de manejo que se está preparando como resultado del Plan de Optimización del Manejo de la Reserva. Como parte de éste se proponen inundaciones artificiales para mejorar los hábitats acuáticos y aluviales, así como la producción general. Exceptuando los años más secos, la inundación artificial restablecerá muchas de las funciones tradicionales de la planicie de inundación afectadas por la represa Manantali como son el aumento considerable de la agricultura basada en la baja de la inundación, así como de pastizales y residuos de cultivos durante la estación seca, y un incremento en la producción pesquera (relacionada con el área cubierta por la inundación y su duración) y la posible regeneración de recursos forestales (lo que también depende en gran medida de un mejoramiento del manejo). Asimismo se espera poder recargar los acuíferos superficiales cercanos. Para supervisar el impacto de las inundaciones artificiales se implantará un sistema completo de monitoreo, el cual incluye la evaluación del terreno para identificar las tendencias positivas y negativas.

4. Mantener la función de recargar el nivel del agua y su calidad

- Las estructuras de control de inundaciones podrían utilizarse para mover el agua más rápidamente a través del sistema en zonas altamente pobladas, pero se debe permitir que los

humedales y otras áreas conocidas donde se recargan las aguas subterráneas se inundan regularmente a lo largo de arroyos y ríos. Esto se puede lograr creando una serie de interrupciones a lo largo de los diques, y donde sea necesario se debe comprar tierra con el único propósito de asegurar la inundación de la planicie que, además de contribuir al control de las inundaciones, se constituye en una serie de hábitats importantes para las comunidades acuáticas y/o cumple un papel clave en la reposición de las aguas subterráneas.

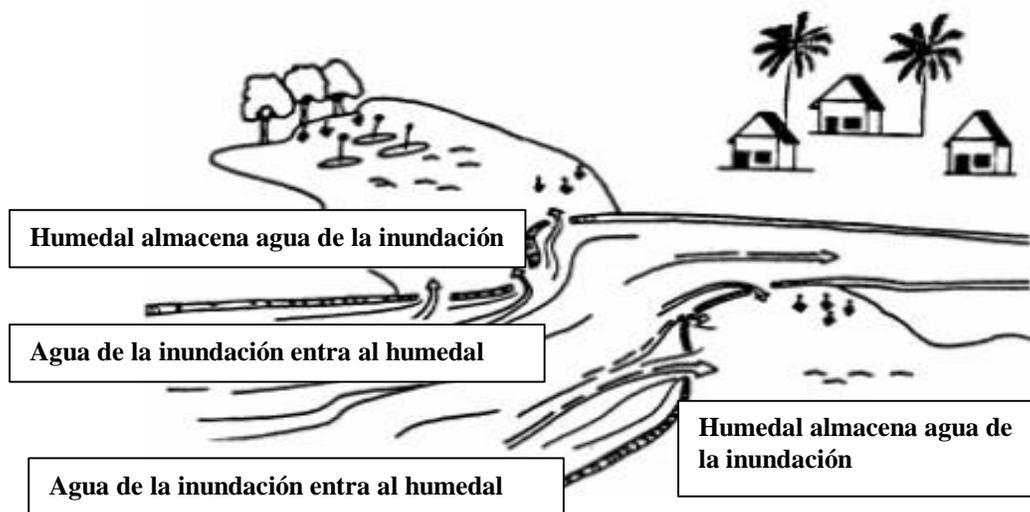


Figura 1. Los humedales controlan las inundaciones y contribuyen a recargar el nivel de agua de las fuentes subterráneas (Fuente Davies y Claridge, 1993).

5. *Para mantener el estuario en su condición natural se requiere que llegue allí una cantidad suficiente de agua*
 - Una menor descarga de agua dulce en las áreas estuarinas por lo general conduce a que se produzca una intromisión de agua salada, lo que transforma en hábitats de aguas salobres a aquellos que anteriormente eran de agua dulce. Los servicios de los ecosistemas de agua dulce se ven afectados mediante la pérdida de especies que son intolerantes a la sal y la invasión de otras que son típicas de condiciones salobres. Las comunidades de manglares, características de las aguas estuarinas, se hallan adaptadas a las condiciones locales de salinidad del agua y al flujo de sedimentos y nutrientes. La interrupción de estos patrones diarios y estacionales por causa de un menor flujo de agua dulce afecta el funcionamiento normal de los ecosistemas locales de manglares y su función en el mantenimiento de unas pesquerías costeras y marinas saludables.

Conectividad

El atributo primordial de los sistemas ecológicos de agua dulce es el de la conectividad. Los ríos forman conexiones entre la cuenca hidrográfica superior y los sistemas marinos costeros y estua-

rios, y desde sus cabeceras hasta los cursos serpenteantes a través de las planicies de inundación. La red hidrográfica nuevamente transporta agua a lo largo de todo su recorrido hasta el océano donde se originó en el ciclo hidrológico. En este proceso hay una transferencia de energía cinética, desde la cabecera del río hasta el nivel del mar (que los ingenieros hidroeléctricos atrapan y explotan).

La energía de la corriente de agua transporta materiales río abajo. Las partículas que se encuentran en suspensión por la erosión desde los suelos de la cuenca hidrográfica son transportadas hacia abajo en las corrientes hasta las áreas de depósito. El ciclo de erosión y depósito de partículas se repite muchísimas veces a lo largo del sistema hidrográfico. El delta interior del río Níger en Mali constituye un ejemplo de un área interior de depósito; normalmente, sin embargo, el destino final de las cargas de sedimentos es el mar (aunque sea en escalas geológicas de tiempo). En la interfase entre el río y el océano se crean sistemas de deltas marinos y un rico aluvión se deposita en las tierras deltaicas. Se establece entonces un equilibrio entre depósito y erosión en la margen principal del delta, de manera que las áreas deltaicas avanzan y se contraen en respuesta a los procesos hidráulicos, climáticos y costeros.

Las lixiviaciones provenientes de la escorrentía y las descargas de agua en la cuenca hidrográfica son arrastradas a arroyos y ríos, y las sales y los iones entran a los ciclos biológicos y químicos, siendo posiblemente depositados o resolubilizados en el trayecto. También se arrastran hacia el río los materiales orgánicos que proporcionan insumos de energía a las cadenas de alimentos dentro del sistema. Desde la cabecera hasta el sistema hidrográfico y luego al océano, la tendencia hacia el aumento en el total de concentraciones de sales disueltas se ve acompañado por una producción total más elevada, el incremento en el número y diversidad de hábitats, y el desarrollo de cadenas de alimentos más complejas. Cuando hay un exceso de enriquecimiento con nutrientes y la eutrofización alcanza proporciones de contaminación, es posible que la cantidad total de individuos aumente de manera dramática, al tiempo que se produce una disminución repentina en la diversidad biológica (la floración de algas es un ejemplo de este fenómeno).

La conectividad del sistema hasta ahora discutida ha sido unidireccional; desde la cabecera de los ríos hacia el mar o, si se piensa en términos de la transformación de energía cinética y del flujo de agua y nutrientes, desde la fuente hasta el sumidero. Pero la conectividad es multidireccional y forma una red de relaciones para garantizar la estabilidad ecológica de la cuenca hidrográfica. La conectividad de los sistemas hidrográficos proporciona un mecanismo de movimiento longitudinal de organismos río arriba y río abajo. La migración de peces río arriba para desovar es un fenómeno regular. El corredor hidrográfico es un mecanismo para la migración e interacción de las especies a lo largo del sistema hidrográfico y todos los eslabones dentro, entre o a través de los ecosistemas adyacentes. Los ríos atraviesan barreras biogeográficas e interconectan biomas que de otra manera estarían aisladas (por ejemplo a través de cordilleras y desiertos), de manera que el flujo y la reserva genética se pueda sostener, y con ellos su diversidad. El corredor hidrográfico (p.e., el sistema ecológico completo del río: las riberas, bordes, humedales y hábitats asociados), permite que se cree una red intrincada de interacciones entre plantas, animales, microorganismos, material genético y su medio ambiente natural.

Las conexiones laterales dentro de los sistemas ecológicos y entre ellos son tan importantes como la conectividad longitudinal. Las planicies de inundación y humedales, que son ecotonos, constituyen un buen ejemplo de ello. El ecotono de los humedales conecta hábitats acuáticos y terrestres a través de la gradiente de profundidad del agua. Las planicies de inundación son humedales que experimentan variaciones estacionales peculiares en sus niveles de agua en conexión con los regímenes de inundación. Los regímenes naturales de crecida permiten el movimiento lateral de especies, interconectando las ribereñas con aquellas en cuerpos de agua circunvecinos. Los nutrientes provenientes del río también se vierten en las lagunas y recargan las

existencias. Los ríos y corredores hidrográficos constituyen un medio esencial de migración, hibridación, flujo de genes y mantenimiento de la diversidad biológica.

Finalmente, consideremos el ciclo del agua dentro de la cuenca hidrográfica. El agua que resulta de la evotranspiración en las planicies de inundación y humedales se eleva y se condensa sobre la cuenca superior más fría. Las neblinas al alba son normales. Cuando los días son cálidos y secos, el aumento de la humedad de la madrugada y de su condensación pueden ser suficientes para mantener una cobertura permanente de vegetación sin la cual proliferaría la erosión del suelo. Con un cambio en los sistemas de lagos, ríos, humedales y planicies de inundación el ciclo hidrológico se alteraría, produciendo un cambio concomitante en el paisaje y la diversidad biológica.

Los proyectos de desarrollo hídrico pueden interrumpir la conectividad natural de los ecosistemas de agua dulce de varias maneras. El proceso puede ocurrir durante un período relativamente corto cuando un hábitat continuo se divide en dos porciones, aguas arriba y aguas abajo, por causa de la construcción de una represa. El movimiento natural del agua y el de organismos acuáticos se ve afectado. A las especies migratorias se les niega ahora el acceso a los hábitats esenciales para su reproducción y crecimiento. La pérdida de conectividad también puede producirse gradualmente como resultado de una extracción cada vez mayor de agua de un sistema, lo cual puede conducir a que se disminuya la frecuencia y magnitud de las inundaciones que conectan en forma de herradura la planicie de inundación y los lagos con el resto del ecosistema de agua dulce.

Los bordes y diques también impiden la entrada del agua a la planicie de inundación, destruyendo así la conectividad natural y conduciendo a la fragmentación de sus hábitats. Cuando se rompen los bordes o cuando los niveles de crecida sobrepasan la altura a la que se hallan se produce una inundación violenta y repentina del lado terrestre del borde, limpiando y destruyendo hábitats naturales y sus organismos asociados.

Los proyectos de desarrollo hídrico que pueden fragmentar la conectividad del ecosistema de agua dulce deben garantizar que:

1. Las migraciones de organismos acuáticos, especialmente peces, no se interrumpan de manera tal que se pueda hacer daño a las poblaciones

- La creación de un embalse es una consecuencia inevitable de represar un curso de agua, y esto se puede abordar mediante mecanismos que proporcionen corrientes en ciertas áreas del embalse para guiar a los organismos acuáticos en su migración. El problema de permitir que los organismos se desplacen por sobre la pared del embalse se puede minimizar por medio de planes cuidadosos de diseño y manejo.
- Las primeras escalas para peces que se desarrollaron fueron diseñadas y construidas para responder las necesidades de salmones y truchas, muchas de cuyas especies pueden saltar fuera del agua y nadar contra corrientes rápidas por períodos prolongados. La réplica de este diseño para todas las situaciones ha probado ser desastrosa para otros peces, dado que la mayoría de especies carece de tal destreza.
- Se han creado nuevas técnicas de manejo y diseño de pasos de peces, de manera que permitan a especies con diferentes habilidades de nado y requerimientos migratorios superar barreras como la pared de la represa, el borde u otras que en la actualidad se están ensayando. Entre los ejemplos de mecanismos de paso de peces aguas arriba figuran: escalas de ranura vertical, elevadores, escalas Denil, esclusas, escalas de vertedor y orificio, y vertedores de derivación. Entre las estructuras que garantizan un paso seguro a los peces migratorios aguas abajo

figuran: redes metálicas móviles, fijas, flotantes y de plano inclinado, y vertedores de desvío. En la actualidad se está ensayando una turbina “favorable a los peces” que permite el paso de especies de cierto tamaño sin hacerles daño. En el Recuadro 6 se describen dos ejemplos de elevadores de peces que ya están siendo utilizados, mientras que las Figuras 2 y 3 muestran varios ejemplos de algunas de las instalaciones para el paso de los peces aguas arriba.

- La clave para poder proporcionar un paso seguro y exitoso a los peces aguas arriba y aguas abajo es poseer datos de buena calidad sobre el comportamiento migratorio de las especies objetivo presentes en el río u arroyo. Con el fin de elegir la estructura de paso apropiada, y de saber dónde establecer la entrada a tal estructura, es necesario tener información sobre si el pez en cuestión nada cerca de la superficie o más cerca del fondo, a lo largo de la margen o más cerca del centro del cauce, así como sobre las habilidades de nado y salto de las especies que migran.

Figura 2: Selección de vías que facilitan el paso de peces aguas arriba por encima de las represas (Fuente: Clay, 1995).

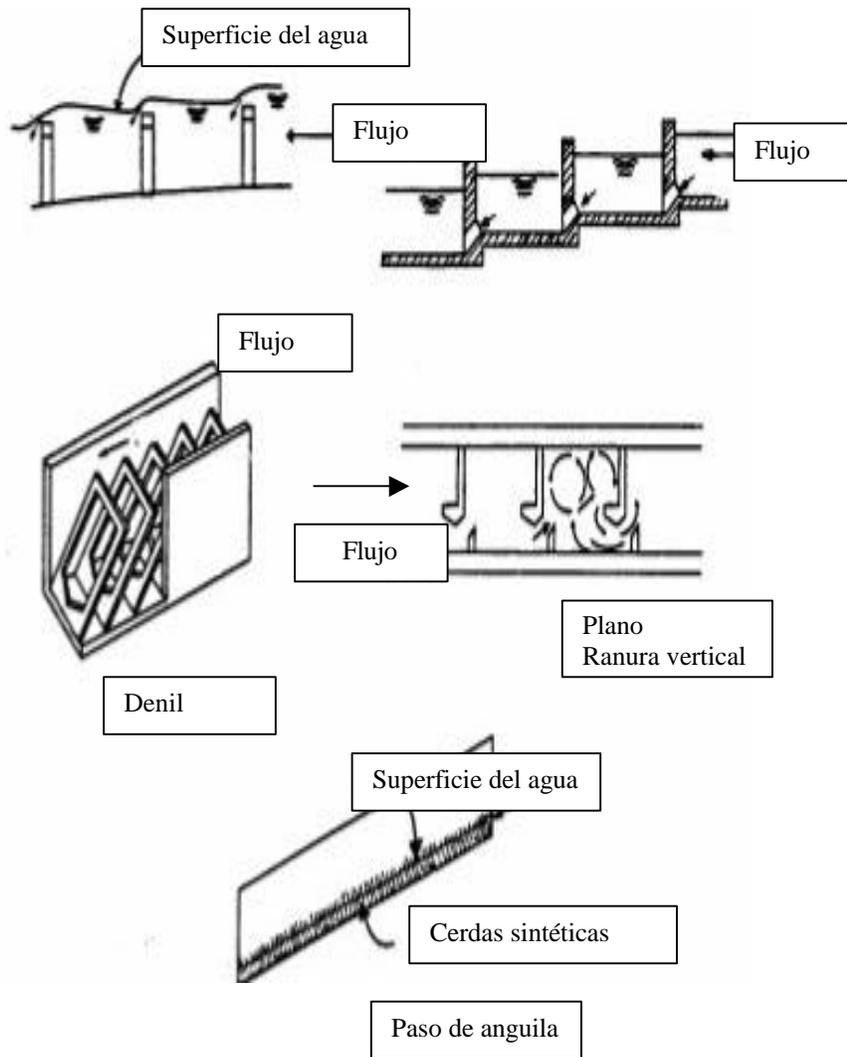
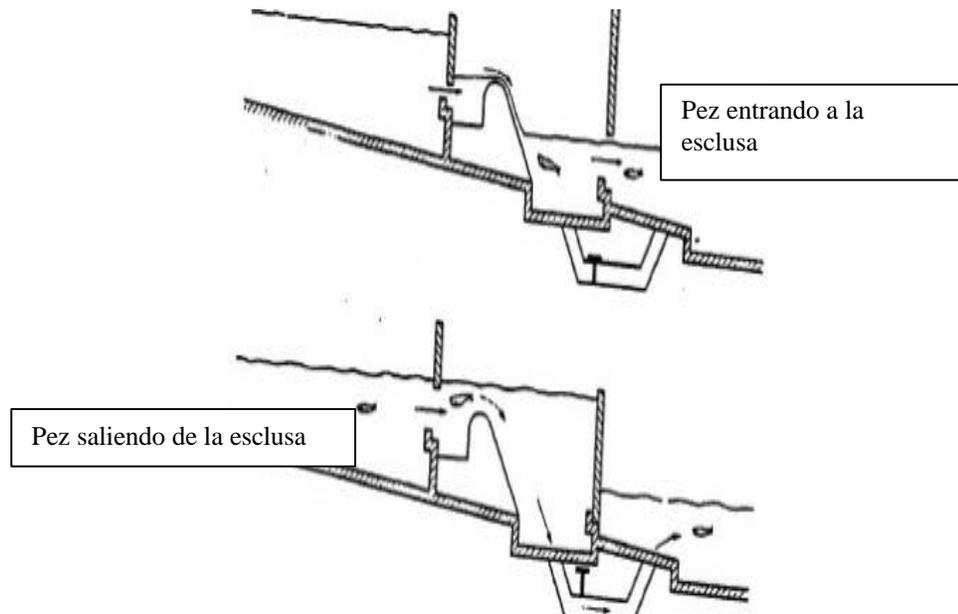


Figura 3: Operación esquemática de una esclusa para peces



- Clay (1995) aborda todos los tópicos relacionados con las vías y migraciones de peces; proporciona el bagaje necesario para tomar decisiones respecto al diseño, operación y tipo de instalación requerida; y describe las principales vías e instalaciones para peces que se usan en el mundo para ayudarlos a pasar sobre represas y otros obstáculos que se interponen a su migración.
2. *Mantener hasta donde sea posible la conectividad del hábitat*
- Los organismos acuáticos deben tener acceso a todos los hábitats requeridos para su reproducción y crecimiento normal. Donde no sea posible evitar la construcción de bordes y diques se deben instalar mecanismos de paso destinados a responder a las necesidades migratorias de la comunidad local de agua dulce en los lugares apropiados y en cantidades suficientes para asegurar el funcionamiento y la integridad del ecosistema de agua dulce afectado (véase el Recuadro 7).
 - Cuando se hace absolutamente necesario construirlos se debe dar preferencia a los bordes alejados, los cuales permiten que el río ocupe alguna porción de su planicie de inundación natural (véase la Figura 4). Asimismo, y tal y como se muestra en la Figura 1 en la página 23, es posible interrumpir los bordes por porciones cortas a lo largo de su extensión para permitir que el agua fluya hacia los humedales naturales, que pueden absorber parte de las aguas de la crecida.

Recuadro 6. Peces migratorios en el Proyecto Hidroeléctrico Yaciretá II

El Proyecto Hidroeléctrico Yaciretá en el río Paraná entre Argentina y Paraguay convierte cerca de 57.000 hectáreas del área del río en un hábitat de embalse que cubre cerca de 165.000 hectáreas. Si bien se esperaba que algunas especies nativas de peces desaparecieran de las secciones inundadas del río y los arroyos, los datos recientes de monitoreo han mostrado que no ha disminuido la diversidad de especies de peces, probablemente debido al hecho de que Yaciretá se opera fundamentalmente como un embalse a filo de agua y esto ha preservado suficientemente las condiciones ribereñas en partes del embalse como para mantener las poblaciones de peces que habitan en las riberas.

Sin embargo, la represa Yaciretá se erige en barrera significativa para la migración de peces. En un intento experimental tendiente a facilitar el paso de peces migratorios río arriba, el diseño de la represa incluye dos estaciones de transferencia de peces, cada una con dos elevadores para subir las especies migratorias, incluyendo aquellas que carecen de la destreza necesaria para utilizar una escala para peces. Dos de los elevadores ya han sido instalados y se hallan funcionando en forma apropiada; la supervivencia de peces dentro de los elevadores supera el 99 por ciento pero el monitoreo indica que sólo el 7 por ciento de los peces que buscan desplazarse río arriba logran encontrar los elevadores y utilizarlos.

Si bien los elevadores no pueden ayudar a restaurar los patrones migratorios anteriores a la construcción de la represa, son útiles para asegurar que el embalse Yaciretá y las áreas río arriba tengan unas existencias genéticamente diversas de peces nativos para la reproducción. Una de las principales causas de la mortandad de peces es la presencia de empresas de pesca comercial en gran escala abajo de la represa donde se hallan concentradas las especies migratorias. La capacidad de las autoridades paraguayas para hacer cumplir la prohibición de pescar en una franja de 3 kilómetros por debajo de la represa es extremadamente débil.

Sábalo migratorio americano en la represa Conowingo

Construida en 1928 a través del río Susquehanna en Maryland, EE.UU., en un principio se pensó que la represa Conowingo se constituiría en una barrera insuperable que bloquearía para siempre la ruta migratoria del sábalo americano hacia sus terrenos de reproducción en la cuenca superior del Susquehanna. Para 1984 sólo se habían registrado los intentos de cruzar por la represa de 167 peces. En 1997, sin embargo, 103.945 peces habían pasado a través de Conowingo gracias a un elaborado sistema de elevadores, alzadores, saltos y trampas para peces que fueron instalados hace siete años a un costo de US\$12 millones (Dybas, 1998). Este costo refleja el esfuerzo adicional de readaptación de una represa ya existente, mientras que es posible que un sistema similar costara mucho menos si se diseñara e instalara como parte del proyecto original de construcción.

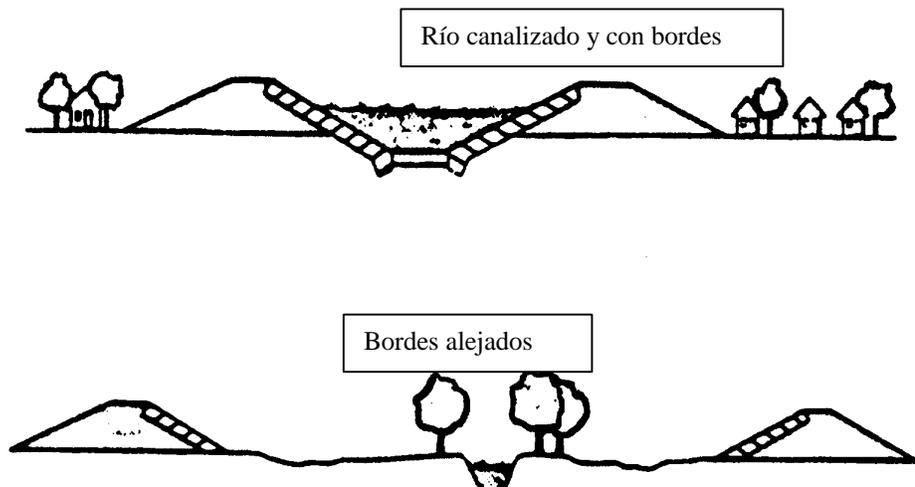


Figura 4: Nuevo enfoque para el manejo de un río (Fuente: New York Times, 02/4/97)

Calidad del agua

Por lo general, los embalses afectan la calidad del agua tanto en las áreas inundadas como aguas abajo; es posible que las condiciones post-embalse se diferencien considerablemente de las condiciones previas a su existencia. Usualmente, los cambios más significativos en la calidad del agua tienen que ver con cambios en los niveles de oxígeno disuelto, nutrientes, sólidos en suspensión y temperatura.

El deterioro de la calidad del agua puede ser un problema serio cuando la tierra convertida/irrigada se utiliza con fines agrícolas. El agua del drenaje puede tener una salinidad más elevada, o hallarse contaminada con químicos como nutrientes y plaguicidas, y los flujos de retorno del drenaje tendrán impactos secundarios, especialmente en las áreas cercanas a los humedales. Asimismo, la calidad del agua del río en un estuario y rumbo a un entorno marino tiene un efecto directo sobre la productividad y diversidad biológica de los ecosistemas costeros marinos, los cuales figuran entre los sistemas biológicos más frágiles. Allí se depositan cargas grandes de sedimentos que asfixian los delicados arrecifes coralinos, al tiempo que las partículas en suspensión reducen la penetración de la luz en las aguas marinas, limitando así la fotosíntesis de plantas como algas y praderas marinas. Si el agua del río contiene altas concentraciones de iones de nutrientes, el crecimiento de las plantas se ve favorecido y florece el fitoplancton, seguido de la proliferación de cubiertas perifíticas y macroalgas. De esa manera se reduce la biodiversidad, pues las especies agresivas se imponen sobre poblaciones diversas de especies sensibles.

Por regla general, el drenaje salino con niveles de salinidad inferiores de 2000 mg/l usualmente no constituye una amenaza para la biodiversidad de agua dulce, lo cual no siempre aplica a sistemas que tienen baja tolerancia a mayores concentraciones de sal. En Madramootoo *et al.* (FAO, 1997) se encuentra una discusión mucho más detallada sobre los temas relativos a la calidad del agua en relación con el drenaje de las actividades agrícolas.

Los proyectos de desarrollo hídrico deberían incluir medidas que aseguren que se disponga de agua de buena calidad para los usos del ecosistema, aun después de que el proyecto está en operación:

1. *El agua debe tener buenas características químicas y físicas*

- En muchas ocasiones, el agua que se suelta desde el embalse tendrá concentraciones más bajas de oxígeno disuelto y a veces carecerá completamente de él, lo cual causa mortandad de organismos acuáticos en las partes inferiores aguas abajo. La saturación excesiva de nitrógeno puede causar serios problemas a los peces (la ‘enfermedad’ de la burbuja de gas) pues las burbujas de nitrógeno llegan a la sangre cuando se produce la saturación excesiva provocada por la caída del agua desde arriba hasta el pozo en la base de la represa. El agua que descarga la represa es por lo general más fría que la del cauce, pero la temperatura en el cauce aguas abajo puede aumentar en el verano y disminuir en el invierno cuando los volúmenes de descarga son bajos.

Recuadro 7. Proyecto piloto de paso para peces en Bangladesh

En el Proyecto Piloto de Paso para Peces se construyó una ranura vertical que permite el paso de los peces a través del terraplén de control de inundaciones en Kashimpur, en el noreste de Bangladesh, para abrir nuevamente la ruta de migración entre el río y la planicie de inundación. El impacto del paso para peces fue ampliamente monitoreado durante tres años y comparado con un proyecto de referencia de tres años. Más de 80 especies pudieron pasar a su través. En la planicie de inundación se registraron aumentos significativos en la biodiversidad y captura de peces, lo cual se podría atribuir al paso. Este mecanismo difiere de aquellos que por lo general se encuentran en represas y vertedores, pues incluye un cambio de flujo durante el último monzón debido al drenaje de la planicie de inundación y un tráfico de doble vía continuo de peces dentro de la estructura (NERP,1998).

- La ubicación de portones a varias alturas en la pared de una represa permite la descarga controlada de agua desde diferentes profundidades del embalse, de manera que tenga la calidad y temperatura deseables para las comunidades acuáticas que habitan aguas abajo. Con resultados muy positivos, esta técnica ya se utiliza en tres represas hidroeléctricas en los Estados Unidos: Hungry Horse y Libby en Montana, y Shasta en California.
- Para las represas hidroeléctricas ya existen técnicas probadas que aseguran los niveles apropiados de oxígeno disuelto en los desfuegos: inyección inducida y forzada de aire en las turbinas, inyección de oxígeno en la entrada, inyección de aire/oxígeno en la tubería de presión, bombas de superficie, vertedores de aireación y turbinas autoventiladas.

2. *Se debe mantener la vegetación ribereña natural*

- Los árboles naturales y otra vegetación de las riberas dan sombra y mantienen la temperatura del agua más baja, sostienen la tierra de las orillas y previenen la erosión, además de que reducen la turbidez del agua al hacer que la mayor parte de los sedimentos se quede en las márgenes.
- Toda aquella vegetación ribereña que se destruya durante la construcción debe ser reemplazada tan pronto como sea posible. Aquí también el proyecto debe ser utilizado como una oportunidad efectiva en función de los costos para restaurar vegetación ribereña previamente degradada.

Hábitats naturales de agua dulce

Dentro de los hábitats de agua dulce más extensos (ríos, lagos, planicies de inundación, etc.) se encuentra una variedad de “mesohábitats” como caídas de agua, rápidos, remansos, bajos, pozas, etc. Dentro de cada uno de ellos existe un rango de sustratos como rocas, guijarros y arena, así como madera, ramas y acumulaciones de hojas que proporcionan “microhábitats” adicionales originadas en las diferentes condiciones de velocidad y turbulencia del agua asociadas con estos diferentes sustratos. Con el fin de conservar la totalidad de la comunidad de agua dulce en un determinado lugar es necesario entender y preservar esta variedad natural.

1. *Se mantendrá la distribución natural del hábitat físico en el cauce del río y las zonas ribereñas*

- El desarrollo y distribución de las características morfológicas de cursos de agua como las barras de arena son consecuencia de procesos de disipación de energía. Las estructuras del cauce como los sistemas de bajos y pozas y los parches de plantas acuáticas con raíces tienden a hacer más lento el flujo de materiales transportados aguas abajo, con lo cual ayudan a reducir las pérdidas de materiales orgánicos y nutrientes del paisaje (Ripl *et al.*, 1995). Una vez concluido el proyecto, el cauce del río/arroyo debe tener las mismas características básicas de hábitat que aquellos de agua dulce antes de que se iniciara el proyecto.
- No existen fórmulas claras para determinar las dimensiones óptimas de las zonas o franjas de amortiguamiento con vegetación que se deben dejar a lo largo de los cuerpos de agua. Los resultados de algunos estudios indican que los beneficios para el ecosistema hidrográfico aumentan exponencialmente desde cero (sin franja de amortiguamiento) hasta un ancho de 20 metros, y continúan aumentando a un ritmo menor para franjas más extensas. Los anchos recomendados usualmente oscilan entre 5 y 50 metros. Las franjas de amortiguamiento más amplias se deben utilizar en aquellas cuencas hidrográficas que se hallan extremadamente modificadas como resultado de la actividad humana.
- La composición de las especies de plantas en la franja de amortiguamiento debe duplicar tanto como sea posible la de las zonas ribereñas del área. Allí donde el agua corra cerca de zonas de agricultura intensiva se debe colocar una franja de amortiguamiento (con plantas altamente efectivas para remover nutrientes como son los pastos) entre los sembradíos y el área ribereña natural que se halle más cerca del agua. Esta franja de pastos se puede cortar periódicamente y usarla para alimentar ganado.

2. *Se deben mantener las áreas de refugio para especies acuáticas, especialmente reproductores y juveniles*

- El sistema debe proporcionar los hábitats naturales y diversidad de sustratos que se requieren para la reproducción y cría de jóvenes en la comunidad de agua dulce afectada durante la construcción del proyecto y después de concluido. Estos deben comprender, por ejemplo, aguas lentas y poco profundas, curvas del cauce, barras de arena, vegetación sumergida y sustrato béntico natural como árboles caídos, presas de atrape y arena fina y gruesa. En el caso de una represa hidroeléctrica que se va a construir en Nepal, existe en la actualidad un desacuerdo sobre los flujos mínimos aguas abajo pues los ingenieros no están en favor de hacer descargas de más de un metro cúbico por segundo durante el invierno seco (usualmente un mes por año). Ciertamente esto no es suficiente para mantener a las comunidades de peces en el cauce y por ello se ha sugerido una solución alternativa: dragar un sendero en el lecho del río de cerca de 40 cm de profundidad para permitir que cuando la corriente esté baja haya 32 cm de profundidad para mantener el hábitat de los peces. De no ser así, la poca agua que

se suelta se esparce por todo el lecho del río y no hay suficiente profundidad para los peces (Parvaiz Naim, com. personal).

- En aquellas áreas donde la corriente de agua remanente no es suficiente para producir las condiciones de turbulencia requeridas por algunos peces, sería posible utilizar las estructuras de control colocadas en el cauce para inducir la turbulencia, así como cambios en la velocidad del agua para ayudar al desplazamiento de los peces. Por ejemplo, un par de cilindros de concreto colocados en los bordes del cauce principal del embalse pueden inducir vórtices suficientes para acelerar su desplazamiento. Si esos cilindros se ubicaran en intervalos a lo largo del cauce sería posible mantener una velocidad del agua que conduzca a la migración de peces por la distancia requerida (The Independent Scientific Group, 1996).
- Aunque no es posible evitar las perturbaciones durante la construcción del proyecto, las características naturales del hábitat deben ser restauradas tan pronto como sea posible una vez se hayan concluido las obras. Los sedimentos más grandes como piedras y rocas se pueden colocar en el área aguas abajo para asegurar que se disponga de hábitats diversos para las comunidades acuáticas que allí residen. En aquellas partes donde el hábitat físico natural acuático se hallaba degradado antes de la iniciación del proyecto, probablemente resultará eficiente en función de los costos restaurar simultáneamente con las actividades de construcción algunas de las características naturales que se han perdido.

Acuicultura

Los proyectos de acuicultura se abordarán por separado pues estos tienen algunos efectos específicos en los ecosistemas acuáticos. El éxito de muchas de las operaciones de acuicultura está estrechamente ligado con un suministro confiable de agua de buena calidad. Los proyectos de acuicultura requieren diferentes cantidades de agua en etapas específicas de operación, y el diseño del proyecto debe asegurar que se dispondrá de ella cuando se necesite, en cantidades suficientes, con la profundidad necesaria y la calidad requerida. Las necesidades de agua varían ampliamente dependiendo del esquema de acuicultura que se esté utilizando; los sistemas de recirculación requieren menos agua que los estanques o cultivos de paso. Por lo tanto, *cuando se selecciona el lugar y el diseño para las operaciones de acuicultura, es necesario investigar ampliamente el suministro de agua y abordar plenamente los posibles impactos ambientales, tanto positivos como negativos, en todas las fases de desarrollo y ejecución del proyecto.*

Los sistemas tradicionales de acuicultura extensiva tienden a tener pocos efectos adversos en el medio ambiente, siempre y cuando no estén ocupando el espacio de los hábitats silvestres existentes, especialmente cuando se trata de bosques de mangle. Muchos esquemas modernos de acuicultura utilizan esquemas que incorporan tasas altas de siembra y alimentación, los cuales favorecen poco al entorno. El artículo de Anne Platt McGuinn (1998) presenta un análisis excelente de las promesas y limitaciones de la acuicultura e incluye una lista de lo que se necesita para que estos proyectos sean sostenibles (McGuinn, 1998:32).

Los problemas ambientales más apremiantes y que por lo tanto deben ser abordados en todos los proyectos de acuicultura son los siguientes:

- *Uso de especies nativas versus exóticas.* Mediante la producción de larvas y pescado para el mercado, la mayoría de los proyectos de acuicultura podrían tener una leve influencia positiva sobre el medio ambiente al disminuir la presión de la pesca sobre las existencias de peces silvestres. Cuando se utilizan especies exóticas se debe tener mucho cuidado, pues si se permite que los peces se escapen de los estanques de piscicultura al entorno circundante, por lo general se constituirán en una amenaza para las poblaciones acuáticas nativas dado que

compiten con ellas por comida y agua. En el pasado, en muchas ocasiones las especies exóticas han reducido considerablemente o eliminado totalmente a las especies nativas de su hábitat.

- *Destrucción del hábitat y función del ecosistema cuando los manglares, humedales u otras áreas naturales son reemplazados por criaderos de peces.* Cuando las áreas silvestres son reemplazadas por esquemas de acuicultura se produce una pérdida instantánea del hábitat disponible para especies nativas de plantas y animales, usualmente con efectos nefastos para la función general del ecosistema. Esta situación es aún más grave cuando se destruyen zonas de manglares, pues se sabe que se trata de áreas muy productivas que ofrecen un importante campo de reproducción y cría para muchas especies comerciales de agua dulce, marinas o estuarinas. En el pasado se decía que algunos proyectos eran ambientalmente neutrales porque los sitios seleccionados para colocar los estanques piscícolas eran pantanos, ciénagas o zonas bajas de cultivos con drenaje deficiente que se consideran marginalmente productivas. Es importante notar, sin embargo, que si bien muchos de estos hábitats son marginalmente productivos desde una perspectiva agrícola muy estrecha, a la vez podrían prestar servicios ecosistémicos y hábitats esenciales para varias formas de vida terrestre y acuática.
- *Descarga de efluentes en el medio ambiente circundante.* La calidad del agua que se vierte de los estanques piscícolas depende de la intensidad de la cría y del tratamiento que el agua reciba durante su uso y después de él. Típicamente, las aguas vertidas son comúnmente eutróficas con una demanda elevada de oxígeno biológico, lo que da como resultado bajos niveles de oxígeno disuelto; algunos efluentes pueden contener también sustancias como cloro, antibióticos y hormonas (ampliamente utilizados en esquemas de acuicultura) que pueden afectar a los organismos en el ecosistema acuático natural. Los efluentes provenientes de la acuicultura pueden tener graves efectos en la calidad de las aguas receptoras, y deberían ser analizadas como cualquier otra fuente puntual de contaminación *Todos los efluentes deberían ser analizados y tratados según se requiera, antes de verterlos en arroyos, ríos y otros cuerpos de agua, con el fin de prevenir efectos adversos en las comunidades acuáticas y usuarios que habitan aguas abajo.* En muchas operaciones típicas de acuicultura, los efluentes deberían ser utilizados para riego cuando su carga de materia orgánica puede actuar como fertilizante de plantas.
- *Impacto en la biodiversidad local y global.* Los proyectos de acuicultura pueden afectar la biodiversidad natural acuática de varias maneras:
 - (a) impactos directos en especies nativas mediante contaminación de agua, alteración de hábitat y competencia por parte de especies introducidas;
 - (b) recolección excesiva de especies silvestres jóvenes para utilizarlos en operaciones comerciales. Un estudio respaldado por el proyecto multinacional Bahía de Bengal ha establecido que sólo el 2% de la larva en la captura del pescador está compuesta de la post-larva del camarón tigre que se quisiera, mientras que el 98% restante está conformado por crustáceos “no deseables” y otros peces que usualmente se botan a la orilla del mar para que mueran pues no se considera que tengan valor alguno. Se estima que la captura total de larva de camarón silvestre en la parte occidental de la bahía de Bengal asciende a 400 millones de unidades por año, lo cual conduce a la destrucción de cerca de 20 millones de otras especies en sus etapas juveniles;
 - (c) impactos indirectos cuando se capturan especies de vida acuática no comercial para ser utilizadas por la industria de harina de pescado, o cuando se introducen agentes infecciosos o antibióticos en el medio ambiente y estos interfieren con la salud del sistema natural.

<p>Qué se necesita para hacer que la piscicultura sea sostenible</p>	<p>...Y cómo se puede lograr</p>
<p>1. Evitar que se sigan diezmado los ecosistemas sensibles</p>	<p>Restringir el número de localidades de criaderos de peces para asegurar que no haya una pérdida neta de bosques de mangle u otros entornos amenazados. Usar biofiltración para degradar los desperdicios de los peces. Mantener zonas de amortiguamiento entre criaderos, fuentes de agua y sistemas de filtración.</p>
<p>2. Proteger las formas tradicionales que tienen las poblaciones locales de ganarse el sustento</p>	<p>Ubicar los criaderos de manera que no haya desplazamiento de áreas locales de pesca y reproducción. Garantizar a las poblaciones locales derechos de acceso a las zonas de pesca, bosques y tierras agrícolas.</p>
<p>3. Revertir la pérdida neta de proteína</p>	<p>Criar peces que requieran poca o ninguna harina de pescado en sus dietas. Promover el consumo de especies herbívoras como el bagre, cangrejo de río, carpa, tilapia y moluscos.</p>
<p>4. Evitar escapes</p>	<p>Prohibir redes de jaula en las aguas costeras. Monitorear rutas de escape de los estanques y conservarlos en buenas condiciones. Criar especies nativas en vez de foráneas. Utilizar programas convencionales de reproducción en vez de tecnologías transgénicas.</p>
<p>5. Poner fin al abandono de estanques</p>	<p>Reducir las tasas de siembra de peces. Restringir el uso de químicos, antibióticos y plaguicidas. Permitir que los criaderos descansen. Remover los desperdicios con regularidad. Hacerles mantenimiento con regularidad. Requerir que los monocultivos paguen por la rehabilitación de un área equivalente de tierra. Rotar los cultivos y mantener una variedad de especies.</p>
<p>6. Recircular el agua</p>	<p>Cobrar a los criaderos de peces por el uso del agua y desarrollar incentivos de mercado para tecnologías de recirculación.</p>
<p>7. Integrar otras industrias</p>	<p>Utilizar aguas domésticas para alimentar a los peces Usar ingredientes disponibles en la localidad para producir el alimento. Realizar cultivos hidrofónicos junto con la cría de peces. Utilizar el abono que producen los criaderos de peces en las tierras de cultivo. Reutilizar el agua de los criaderos de peces para otras industrias. Ofrecer incentivos tributarios para procesos de producción cerrados y utilización eficiente de recursos. Certificar y rotular productos de acuicultura que hayan sido elaborados en forma sostenible.</p>

Es importante recordar que todos los esquemas de acuicultura dependen de la existencia de buenas condiciones ambientales dado que tales esquemas utilizan el agua y las cadenas locales de alimentos para sus crías. Por estas razones se debe prestar cuidadosa atención a los problemas ambientales durante todas las etapas del ciclo de proyecto, incluso aquellos relacionados con los esquemas institucionales responsables por monitorear los estándares de calidad del agua (y por hacerlos cumplir), la destrucción de hábitat y la conservación de la biodiversidad nativa.

CONCLUSION

No es posible llegar a conclusiones definitivas o fórmulas mágicas que nos muestren la manera más efectiva de integrar la función y servicios de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico. Sin embargo, si seguimos los principios básicos que se esbozan a continuación, combinados con una buena dosis de sentido común y el conocimiento científico disponible sobre la ecología de los ecosistemas de agua dulce, muy seguramente estaremos más cerca de lograr la meta máxima del uso sostenible y de largo plazo de los recursos de agua dulce del mundo:

- Incorporar las preocupaciones y problemas relacionados con la biodiversidad durante las primeras etapas de identificación, planificación y diseño del proyecto, y permitir que haya tiempo suficiente para realizar los estudios empíricos necesarios. Siempre es menos costoso aplicar las medidas de mitigación durante la construcción de un proyecto que readaptarlo después de concluido.
- Asegurar que la biodiversidad de agua dulce se aborde mediante un examen amplio de todos sus hábitats y componentes biológicos tanto dentro del área del proyecto como en sus alrededores. Esta evaluación debería considerar la función de estos hábitats, así como sus características espaciales y temporales.
- Evaluar la capacidad actual para determinar todos los efectos posibles del proyecto y formular una estrategia para determinar la necesidad de recolectar información adicional o realizar otros estudios.
- Emplear a un equipo competente con los conocimientos necesarios de biología.
- Asegurar que los datos se recolecten en todas las estaciones y por un período de más de un año.

- Proporcionar un contexto local, es decir, establecer qué tan poco usual/común es el sistema que está a punto de ser cambiado.
- Asegurar que se diseñe e implante un programa de monitoreo para supervisar los efectos previstos y para proporcionar lineamientos relativos a su futuro manejo.
- Adoptar estrategias adaptativas de manejo en todas las etapas del ciclo de proyecto.
- Publicar y difundir los hallazgos para contribuir así a mejorar el manejo de la biodiversidad de agua dulce en otros lugares.

BIBLIOGRAFIA

- Clay, C.H. 1995. *Design of Fishways and Other Fish Facilities*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Davies, J. y Claridge, G. 1993. *Wetland Benefits: The Potential for Wetlands to Support and Maintain Development*. Asian Wetland Bureau, International Waterfowl and Wetlands Research Bureau, Wetlands for the Americas, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Dybas, C.L. 1998. En: Maryland, a Migratory Lift Makes a Shad Story Happier. *The Washington Post*, junio 15, p. A3.
- FAO. 1997. Management of Agricultural Drainage Water Quality. C.A. Madramootoo, WR Johnson & LS Willardson, eds. FAO. Water Reports No.13, Roma. 94 págs.
- Goulding, M., N. J. H. Smith, y D. J. Mahar. 1995. *Floods of Fortune: Ecology and Economy Along the Amazon*. Columbia University Press, N.Y.
- Hill, M. 1997. Trabajo preparado para el taller Mainstreaming Freshwater Biodiversity in Water Development Projects, febrero 5-9 de 1997, Yulee, Florida.
- Karr, J. R. 1996. Ecological Integrity and Ecological Health are not the Same. En: *Engineering within Ecological Constraints*. P.C. Schulze, ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Kottelat, M. y T. Whitten. 1996. *Freshwater Biodiversity in Asia, with Special Reference to Fish*. World Bank Technical Paper No. 343. The World Bank, Washington, D.C.
- Ledec, G., J. D. Quintero y M. C. Mejía. Good Dams and Bad Dams: Environmental and Social Criteria for Choosing Hydroelectric Project Sites. *Sustainable Development Dissemination Note #1*(Borrador), Latin American and the Caribbean Region, The World Bank, octubre de 1997.
- McGinn, A P. 1998. Blue Revolution: The Promises and Pitfalls of Fish Farming. *WorldWatch Vol. 11*(2), pp. 11-19.
- Naiman, R. J., J. J. Magnuson, D. M. McKnight, y J. A. Stanford, 1995. *The Freshwater Imperative: a Research Agenda*. Island Press, Washington, D.C.
- NERP. (en preparación) Fishpass Pilot Project Completion Report, 150 págs. Vol 2: Appendices, 85 págs. Flood Action Plan, Northeast Regional Water Management Project (FAP 6), Government of the People's Republic of Bangladesh y Canadian International Development Agency.
- Nielsen, M.B. 1995. Restoration of Streams and their Riparian Zones - South Jutland, Denmark. En: *Restoration of Stream Ecosystems: an Integrated Catchment Approach*. M. Eisele y J. Biggs, eds. IWRB Publication 37. Information Press, Oxford.
- NOAA, 1996. NOAA Fisheries National Habitat Plan: 1997 and Beyond. U.S. Department of Commerce, Washington, D.C. [<http://kingfish.ssp.nmfs.gov/rschreib/habitat.html>]
- Plafkin, J. L. et al. 1989. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers*. EPA/440/4-89/001, USEPA, Washington, D.C.
- Poff, NL, JD Allan, MB Bain, JR Karr, KL Prestegard, BD Richter, RE Sparks y JC Stromberg. 1997. The Natural Flow Regime: A Paradigm for River Conservation and Restoration. *BioScience vol. 47*(11), pp. 769-784. <http://lamar.colostate.edu/~poff/natflow.html>

- Ripl, W. *et al.* 1995. Sustainable Redevelopment of a River and its Catchment: the Stor River Project. En: *Restoration of Stream Ecosystems: an Integrated Catchment Approach*. M. Eiseltova y J. Biggs, editores. IWRB Publication 37. Information Press, Oxford.
- The Independent Scientific Group. 1996. Return to the River: Restoration of Salmonid Fishes in the Columbia River. Informe preparado para el Northwest Power Planning Council, Document 96-6. 580 págs. Disponible en FTP en <http://www.nwppc.org>, o llamando al 1-800-222-3355.
- Toth, L. A. 1995. Principles and Guidelines for Restoration of river/floodplain ecosystems: Kisseemee River, Florida. Páginas 49-73. En: Cairns J., editor. *Rehabilitating damaged ecosystems*. 2nd ed. Lewis Publishers/CRC Press, Boca Raton, FL.
- Van Wetten, J. 1995. EIA and Wetlands: the Case of the Lower Guayas Flood Control Project in Ecuador. En: *Tropical Freshwater Wetlands: A Guide to Current Knowledge and Sustainable Development*, Henri Roggeri, ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Van Winkle, W. *et al.* 1997. Uncertainty and Instream Flow Standards: Perspectives Based on Hydropower Research and Assessment. *Fisheries*, Vol. 22(7).
- Waters, T.F. 1995. *Sediment in Streams: Sources, Biological Effect and Control*. Monograph No. 7, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Zeller, J.B. *et al.* 1997. Wetland Mitigation: can Fishes Distinguish between Natural and Constructed Wetlands? *Fisheries*, Vol. 22(3).

OTRAS REFERENCIAS

Acreman, M.C. & Hollis, G.E. 1996. *Water Management and Wetlands in Sub-Saharan Africa*. IUCN Wetlands Program, Gland, Suiza. 249 págs.

Este volumen es una colección de 12 estudios de caso y se propone sintetizar los resultados de una serie de proyectos, en su mayoría de la UICN. Fuente de información estimulante para quienes trabajan en el terreno.

Anónimo. 1997. *Wetlands and Integrated River Basin Management: Experiences in Asia and the Pacific*. UNEP/Wetlands International - Asia Pacific, Kuala Lumpur. 346 págs. Contacto: Water Branch, UNEP, Terttu.Melvasalo@unep.org.

Dado que en la región de Asia y el Pacífico las condiciones ambientales, sociales e hidrológicas son variadas, este libro contiene un amplio espectro de ejemplos que permiten al usuario comparar y contrastar su propia situación con las que aquí se documentan. La Parte I del libro se centra en las funciones y valores de los humedales y sus relaciones con el manejo de la cuenca hidrográfica. También demuestra cómo se los puede integrar a un manejo sostenible de ésta última. La Parte II contiene tres estudios de caso detallados de la región de Asia y el Pacífico en donde se hace hincapié en los temas pertinentes a la Parte I.

Federal Interagency Floodplain Management Task Force, US Government. Dos publicaciones abordan los cambios en la política de los Estados Unidos, que pasa de un enfoque centrado en “controlar las inundaciones” a otro en el cual se integran el manejo de las mismas y la mitigación de riesgos. Las dos se hallan disponibles en la Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C.

a) *A Unified National Program for Floodplain Management*. 1994. 43 págs. A diferencia de informes previos cuyo énfasis se colocaba en la coordinación voluntaria de las autoridades, este documento sobre el Programa Nacional Unificado se centra en lograr metas nacionales de manejo de las planicies de inundación que sean tanto medibles como específicas; asimismo discute las tendencias económicas ambientales y sociales que afectan las decisiones que determinan el uso de las planicies de inundación, así como los logros y deficiencias de los enfoques que el país ha utilizado para su manejo.

b) *Protecting Floodplain Resources: A Guidebook for Communities*. 1995. 41 págs. Esta guía ofrece información pertinente para funcionarios locales, ciudadanos, propietarios de tierras y grupos interesados en proteger y restaurar los recursos naturales y las funciones de las planicies de inundación. Se centra en los esfuerzos comunitarios requeridos para manejar y proteger en forma efectiva los recursos del entorno de la planicie de inundación, entre ellos los humedales, los hábitats ribereños, los sitios históricos y las amenidades estéticas. Incluye fotografías y diagramas de gran utilidad.

Framework for the Description, Identification, Conservation, and Enhancement of Essential Fish Habitat. 1997. National Marine Fisheries Services, U.S. Government. <http://kingfish.ssp.nmsf.gov/rschreib/html/guidev5c.htm>

Hill, M. 1997. *Floodplain Fish Habitat and Biodiversity Study*. Trabajo preparado por la Water Resources Planning Organization (WARPO), Ministry of Water Resources, Gobierno de Bangladesh. 107 págs. Contacto: Mark Hill en mhill@ibm.net

El propósito de este estudio es demostrar una metodología que incorpora técnicas biológicas y de SIG para cuantificar el hábitat de las pesquerías durante la estación húmeda en Bangladesh. El estudio identifica la preferencia de los peces por profundidades específicas en la planicie de inundación. Asimismo ilustra la manera de medir la biodiversidad de las pesquerías y de relacionarla con la pesca de subsistencia. La base de la metodología que se demuestra en este estudio es el *hábitat* y es específica para las investigaciones sobre pesquerías en Bangladesh pues la mayoría de las evaluaciones en ese país se han centrado en la captura de peces (producción medida en kg/ha).

INRS-Eau. 1996. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Hydraulic Habitats Ecohydraulics 2000*. Dos volúmenes. Para mayor información, diríjase a INRS-Eau Documentation, <http://www.inrs-eau.quebec.ca/docum/ecohyd200.htm> o por correo electrónico a: renaudso@inrs-eau.quebec.ca. [El tercer simposio internacional tendrá lugar del 12 al 16 de julio de 1999 en Salt Lake City, EE.UU.]

Estos dos volúmenes técnicos contienen un buen número de trabajos acerca del estado actual del conocimiento sobre la relación entre la hidráulica y los hábitats de agua dulce; asimismo aborda las siguientes categorías generales:

Volumen A: Efectos directos y remotos de las obras públicas; interacciones costeras, estuarinas y fluviales; impactos de los usos del suelo; papel que cumplen las variables abióticas; hábitats y geomorfología; ecología; sobrevivencia de peces en el invierno; impactos de las operaciones de tala; conservación de humedales y hábitats ribereños; flujos mínimos y regímenes hidrológicos adaptados; hábitats y manejo global; manejo de flujos tope; medidas de mitigación de impactos; calidad del agua y hábitats; enfoques interdisciplinarios-esfuerzos colaborativos.

Volume B: Metodología para establecer necesidades de caudales ecológicos mínimos; diseño de modelos de hábitats; estrategias de validación de los modelos de hábitats; enfoques alternos para el diseño de modelos; creación y restauración de hábitats; bioingeniería para la protección de riberas; vías y estructuras para el paso de peces.

Diseño de modelos para hábitats interiores al cauce: Con base en las metodologías IFIM/PHABSIM se han desarrollado varios modelos de simulación. Sobre este tema existen dos fuentes de información adicionales: (a) Dr. Mike Acreman, Flow Regimes & Environmental Management Section, Institute of Hydrology, U.K. fax +44 491-832256; y (b) SINTEF - The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology, fax +47 73 59 23 76.

IUCN/The World Bank. 1997. *Large Dams: Learning from the Past, Looking at the Future*. Workshop Proceedings, Gland, Suiza. 145 págs. Contacto: Brett Orlando at borlando@iucn.org

National Park Service. 1996. *Floods, Floodplains and Folks: A Casebook in Managing Rivers for Multiple Uses*. 88 pág. Contacto: NPS - Rivers, Trails and Conservation Assistance Program, (202) 343-3780. Este libro de casos ilustra proyectos en todos los Estados Unidos, donde los líderes de los mismos se valen de la creatividad, la innovación y aun corren riesgos para lograr objetivos que van mucho más allá de los originalmente programados. Entre los ejemplos figuran: un proyecto que inicialmente iba a ser un tanque de almacenamiento de concreto pero que a la postre fue transformado por el ingeniero en un estanque de detención con vegetación y con un campo de fútbol para la fase seca; en un lugar donde se iba a usar rip-rap, se emplearon en cambio técnicas de ingeniería de suelos; a petición del público, a un proyecto de encausamiento de los flujos de crecida con un único objetivo se le agregaron los de preservación del hábitat silvestre y de una estación de ferrocarril histórica. Los estudios de caso están ilustrados con muchos diagramas.

S.O.Conte Anadromous Fish Research Center. Se trata de un laboratorio de investigación con mucha experiencia en el diseño de escalas y pasos para peces. Asimismo se especializa en migración de peces de varios países tropicales, por lo general la de aquellas especies que no saltan tan bien como las de salmón. Contacto: Dr. Mufeed Odeh (ingeniero hidráulico). One Migratory Way, Turner Falls, Massachusetts 01376. (413) 863-8994, ext 43, o ODEHM@external.umass.edu