

Baigún, Claudio R. M. "Impactos ecológicos y socioeconómicos de la construcción de represas sobre la ictiofauna y las pesquerías de los grandes ríos de América del Sur"

RESUMEN

América del Sur posee un enorme potencial para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Estos proyectos han fragmentado más de 3000 km de ríos, y solo en la alta Cuenca del Paraná existen más de 130 represas, de más de 10 m de altura, esperándose un fuerte incremento de estos proyectos en la cuenca Amazónica para el siglo XXI. Las represas poseen la capacidad de ejercer efectos bidireccionales sobre la hidrología, geomorfología y recursos bióticos. Aguas abajo, promueven cambios en el régimen de caudales, en ocasiones alterando la calidad del agua; aguas arriba, la formación de grandes embalses modifica las condiciones ecológicas de los ríos, la calidad del agua y, en áreas tropicales, promueve la emisión de metano, contribuyendo así al calentamiento global. Por otra parte, los embalses favorecen los cambios en la composición de la comunidad de peces y altera la calidad de las pesquerías tras la etapa de estabilización trófica, al reducirse la presencia de especies migratorias. Estos impactos no han podido ser mitigados aún mediante la instalación de pasos para peces, tal como lo demuestran los resultados observados en Yacretá, Salto Grande y diversas represas de Brasil. El desarrollo de represas en América del Sur en el siglo XXI deberá evaluarse en función de los costos y beneficios energéticos, ambientales, sociales y económicos para cada caso, siendo necesario poner en prácticas criterios bioingenieriles y una visión ecosistémica para reducir los impactos sobre los recursos de los grandes ríos y sus principales actores asociados.

Palabras clave: *Represas; embalses; peces migratorios; pasos para peces; pesquerías.*

ABSTRACT

South America, has a huge potential for the development of hydroelectric projects, which are responsible for the fragmentation of over 3,000 km of rivers. In the area of the upper Paraná Basin alone, there are more than 130 dams with a height of 10 m or more, while the amount of projects in the Amazon Basin is expected to increase over the 21st century. Dams can bidirectionally affect hydrology, geomorphology and biotic resources. Downstream, they can promote changes in the flow regime, which sometimes alters water quality; upstream, the formation of large reservoirs modifies the environmental conditions of rivers and water quality, and in tropical areas it leads to increasing methane emissions, thus contributing to global warming. Additionally, reservoirs contribute to the alteration of fish communities' composition and, as a result of a reduction in the presence of migratory species, have an impact on the quality of fisheries after the trophic stabilization stage is completed. In spite of the construction of fish passages, mitigations efforts have not been successful so far, in the light of the results obtained in the Yaciretá and Salto Grande dams as well as others located in Brazil. The development of dam projects in South America over the 21st century should be assessed through a case-specific cost-benefit analysis based on their energetic, environmental, social and economic impact. It is necessary to adopt bioengineering criteria and an ecosystemic approach in order to mitigate the effects on the resources provided by large rivers and their main associated factors.

Key words: *Dams; Reservoirs; Migratory fish; Fish passages; Fisheries.*

Impactos ecológicos y socioeconómicos de la construcción de represas sobre la ictiofauna y las pesquerías de los grandes ríos de América del Sur

Claudio R. M. Baigún¹



1. Introducción

América del Sur, el continente más fluvial del mundo, exhibe un enorme potencial para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos, producto de su favorable geomorfología y recursos hídricos. Si bien no posee el mayor número de represas a nivel global, en promedio posee las más altas así como los reservorios de mayor capacidad [1]. En el continente, la gran mayoría de estos emprendimientos se han desarrollado sobre la cuenca del Plata, particularmente durante la segunda mitad del siglo XX. Hasta 1998, se contabilizaban 979 obras en Sudamérica, de las cuales 646 se localizaban en Brasil [2]. De este último total, 452 se emplazaban en la alta cuenca del río Paraná [3]. Esta cuenca se ha transformado así en una de las más reguladas del mundo, ostentando actualmente un total de 450 represas [3, 4], de las cuales 130 poseen una altura de mayor a los 10 m [5]. En ese país, la demanda de energía ha generado un notable crecimiento en la generación de este tipo de obras a partir de la última mitad del siglo XX, mientras que en otros, como Ecuador, Venezuela, Paraguay, Colombia y la Argentina, el desarrollo ha sido considerablemente menor [1]. Esta situación, no obstante, cambiará a lo largo del siglo XXI, dado que el objetivo de los principales emprendimientos hidroeléctricos estará

¹ Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, UNSAM/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Argentina. cbaigun@gmail.com.

puesto en la cuenca del Amazonas (figura 1). El uso de la alta cuenca de este río planteará nuevos desafíos, ya que los embalses panamazónicos tendrán características morfométricas e hidrológicas muy diferentes a los de la baja cuenca, apoyados en paisajes de planicie. De las 121 represas planificadas en los países de la alta cuenca, un 71% tendrán alto impacto y un 42%, un impacto moderado en la conectividad entre la alta y baja cuenca [6].

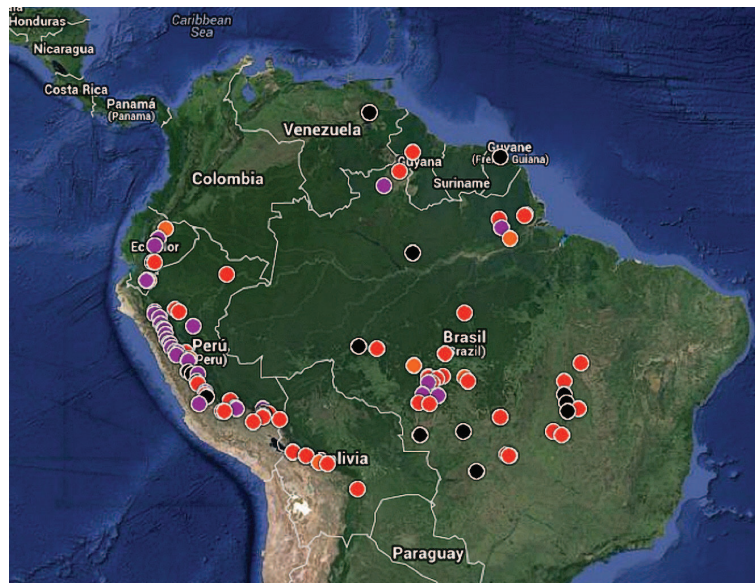


Figura 1. Represas planificadas (100-500 MW) para la cuenca del Amazonas. Fuente: www.dams-info.org.

2. Impactos de represas

La instalación de obras de infraestructura que puedan modificar los procesos ecológicos en los ríos puede tener un efecto variado de acuerdo con su localización, estructura, condiciones ambientales locales, servicios ecosistémicos que presta el río, uso de los recursos, características de la biota acuática y terrestre asociada, etc. Ello muestra que no es conveniente generalizar los impactos o bien extrapolarlos entre obras y que, por lo tanto, se requiere de análisis específicos para cada caso. A diferencia de otros impactos

puntuales que tienen lugar en los grandes ríos, como es la construcción de puertos, vertidos de efluentes, dragados, etc., los derivados de la construcción de represas son procesos complejos que se manifiestan tanto aguas arriba como aguas abajo y, por lo tanto, poseen un alcance regional [7]. La construcción de represas posee un efecto considerable en la fragmentación del paisaje fluvial, creando una barrera física para el movimiento longitudinal de los peces así como en la reducción de su diversidad [4]. Ello se aplica tanto a grandes represas (mayores a los 15 m de altura) como a represas de baja altura, las cuales usualmente se instalan en tributarios menores.

Las represas modifican también los aspectos hidrológicos y morfológicos de los ríos. Por ejemplo, aguas abajo de la represa de Salto Grande (Argentina-Uruguay), la operación de los niveles (restringida únicamente por la demanda eléctrica) ocasionó permanentes cambios en los niveles hidrométricos del río Uruguay. Ello derivó en un incremento del número de crecientes de 1 y 2 días de duración y la reducción de aquellas mayores a los 8 días. Asimismo, la duración de la creciente media anual, antes y después del llenado del embalse, disminuyó de 3,1 a 2 días [8].

Por otra parte, existe una variedad de impactos directos que afectan las características bionómicas de las especies de peces (mortalidad, crecimiento, hábitos tróficos, estrategias reproductivas, uso de hábitats, patrones migratorios, etc.). La fragmentación de las poblaciones altera las frecuencias génicas y afecta drásticamente el posterior reclutamiento [5, 8, 9]. Posiblemente, el impacto más visible se advierte en aquellos ríos donde abundan las especies migratorias, característica común en los ríos de América del Sur [10], y que representan entre un 20-40% de la ictiofauna, según la cuenca de que se trate [5]. En América del Sur casi todas estas especies son potádromas (migran siempre en el agua dulce y no necesariamente siempre por motivos reproductivos, como ocurre con la mayoría de los salmónidos cuando ingresan a los ríos) e iteróparas (desovan más de una vez en su vida).

De las estrategias propuestas para reducir el impacto de las represas sobre la ictiofauna, los pasos para peces han emergido como las medidas de mitigación preferidas, aun cuando los criterios de selección de diseños no siempre han estado debidamente justificados (tabla 1).

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	EJEMPLOS
Ranuras verticales <i>(vertical slots)</i>	Permite operar con diferentes niveles de agua	Ofrece dificultades de paso para especies de gran porte Carece de áreas de descanso para los peces	Represa de Igarapava (río Grande, Brasil)
Escaleras (escalones -tanques) <i>(pool and weir)</i>	Apropiados para represas de baja altura y gran flexibilidad de diseños	Alta selectividad e especies Sensible a los cambios de caudal Son poco efectivas para especies de fondo	Represa de Lajeado (río Tocantins, Brasil) Represa de Salta Morais (río Tijuco, cuenca alta del río Paraná, Brasil)
Ascensores	El costo es independiente de la altura de la represa Requiere poco espacio para su instalación Poco sensible las variaciones de nivel del embalse	Costo alto de construcción, operación y mantenimiento. Genera estrés en los peces y mortalidad por aglomeración El número de peces transferidos depende del volumen del ascensor y del tiempo del ciclo	Represa Engenheiro Represa Sergio Motta (río Paraná, Brasil) Represa de Funil (río Grande, Brasil) Yacyreta (río Paraná, Argentina-Paraguay) Represa Santa Clara (río Mucuri)
Esclusas <i>(fish locks)</i>	Diseño flexible que puede ser adaptado a distintos tipos de represas hidroeléctricas	Baja capacidad de transferencia. El número de peces transferido depende del número de ciclos diarios. Durante la fase del llenado, el flujo de atracción se reduce o se elimina	Represa de Salto Grande (río Uruguay, Argentina-Uruguay)

Sistemas de by-pass (ríos artificiales)	Alta capacidad de transferencia Permiten simular las condiciones naturales del río Amplio rango de velocidades de agua Utilizables para migraciones descendentes Proporcionan hábitats para especies residentes	Requieren de un amplio espacio para su instalación cuando la altura de la represa es considerable debido a su baja pendiente Susceptible a variaciones en el nivel del agua del reservorio. Existe el riesgo de introducción de especies no-deseadas	Canal de Piracema, Represa Itaipu, río Paraná (Paraguay-Brasil)
---	---	--	---

Tabla 1. Comparación de diferentes sistemas de traspaso utilizados en ríos sudamericanos (adaptado de [4]).

Los modelos existentes del tipo escalera (escalones-tanques) son los que han gozado de mayor aceptación y preferencia. Estos sistemas, en rigor, representan réplicas de los sistemas diseñados en el hemisferio norte para transferir salmónidos y clupeidos desde aguas abajo hacia aguas arriba [11, 12] para una recopilación de diseños existentes). Agostinho *et al.* [13], por ejemplo, investigaron la selectividad de un sistema de escalera para peces, localizada cerca de la represa Lajeado en el río Tocantins (Brasil), y concluyeron que la misma representaba un cuello de botella importante para peces migratorios. Similarmente, en la represa de Igarapava [14] y de Salto Moraes, el número de especies migratorias que utilizaron estos sistemas fue escaso.

En represas de moderada altura los sistemas de elevadores, aunque no muy comunes en América del Sur, han recibido particular atención. Pompeu y Martínez [16] mencionan que diferentes elevadores han sido propuestos para 10 represas a erigirse en la zona de Mina Gerais. En Yacyretá existen dos elevadores, que si bien permiten el pasaje de un alto número de peces [17, 4], los mismos son muy selectivos, beneficiando solo a unas pocas especies. Según Oldani *et al.* [4], los sistemas de transferencia de esta represa exhiben importantes problemas de diseño tanto de los canales colectores como de los elevadores, lo que incide en su pobre eficiencia.



Figura 2. Canal de "piracema" construido en Itaipu presentando alta complejidad morfológica e hidrológica para facilitar el pasaje de peces (Fotos: Claudio Baigún).

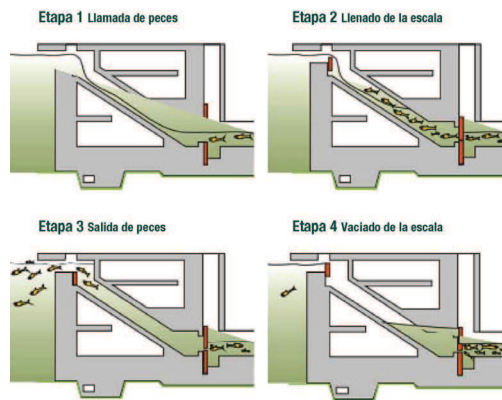
En la represa de Itaipu, Makrakis *et al.* [17] evaluaron el funcionamiento de un canal de 10km (el más largo del mundo) construido para permitir la migración de peces aguas arriba y notaron que las especies migratorias presentes agua abajo del canal

ingresaban al mismo, pero su número se reducía a medida que progresaban en su desplazamiento hacia el embalse.

Otro sistema único en América del Sur es una esclusa Borland que se localiza en la represa de Salto Grande (figura 3). Los escasos resultados disponibles sobre su funcionamiento muestran que las especies que utilizan el sistema son preferentemente bagres de pequeño porte (*Auchenipterus nuchalis*, *Parapimelodus valenciennesi*), mientras que las especies migratorias ingresan de manera esporádica [18].

Baigún *et al.* [20] señalan que, en general, la eficiencia de todos estos sistemas en ríos neotropicales ha sido muy baja, lo que se vincularía con factores ecológicos y biológicos asociados a las especies existentes y a aspectos hidrológicos que poseen los grandes ríos del continente. Oldani *et al.* [4], además, vinculan la eficiencia de transferencia a problemas hidrodinámicos que afectan el comportamiento de los peces y que están relacionados con el diseño de las estructuras. Estos problemas, sin embargo, también se verifican en represas de baja altura, donde los pasos para peces bloquean las migraciones por defectos de diseño [21].

Existen diversas razones que desalientan la instalación de pasos para peces cuando existen riesgos de desplazamientos de especies no deseadas [22]. Los pasos permiten la conexión entre áreas (particularmente en las altas cuencas), que en términos ictiofaunísticos estuvieron aisladas millones de años, podrían producir impactos ecológicos significativos o bien actuar como trampas ecológicas [23] o facilitar el ascenso sin que existan área de reproducción aguas arriba. Por otro lado,



estos sistemas han sido criticados por no permitir el pasaje de reproductores, huevos y larvas aguas abajo [22], lo cual aparece como un requisito importante para las especies migratorias de los grandes ríos neotropicales.

Figura 3. Vista lateral de la estructura de las esclusas Borland de Salto Grande y su funcionamiento (tomado de [19]).

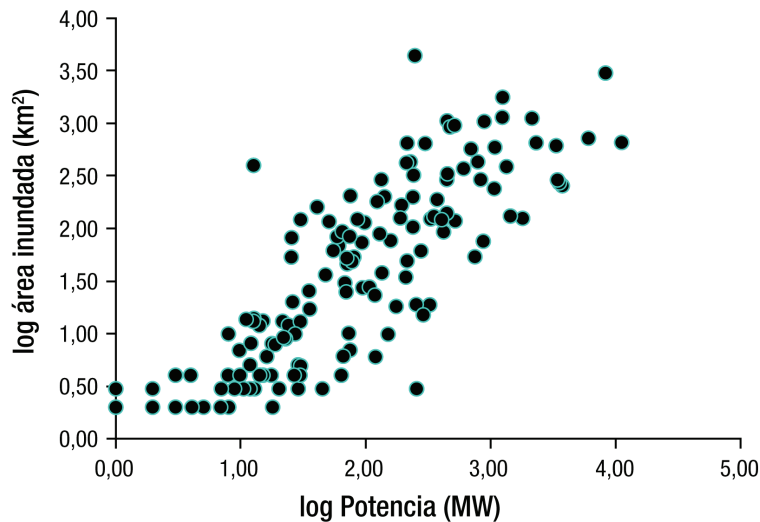
3. Impactos de embalses

Uno de los aspectos más conflictivos derivados de la construcción de represas, y a menudo no suficientemente considerado, es la formación de embalses. Las características morfológicas y limnológicas que toman los mismos depende estrechamente de las condiciones topográficas y de las características bióticas y abióticas que presentan los ríos. En este sentido, no todos los embalses ofrecen iguales problemas y beneficios, y la tabla 2 ilustra los más usuales e importantes. En general, los problemas ambientales y sociales a nivel local generados por los grandes embalses exceden los beneficios que deparan.

El balance entre los impactos positivos y negativos está asociado a diferentes factores ambientales y sociales. Los embalses transforman kilómetros de ríos, a menudo con planicies de inundación, en cuerpos de agua de tipo lacustre. El área inundada puede ejercer un impacto variable dependiendo de si existen poblaciones humanas, restos arqueológicos, actividades productivas (pesca, agricultura, ganadería), sociales (turismo), características ecológicas importantes (especies endémicas o raras, áreas de conservación, llanuras aluviales, etc.). Dado que el área que inundan los embalses se encuentra estrechamente ligado a la capacidad energética que tendrá la represa (figura 4), los proyectos con mayor potencial energético potenciarán este

PROBLEMAS	BENEFICIOS
Eutrofización	Producción de energía
Incremento de la toxicidad y contaminación	Control del transporte de material suspendido
Sedimentación	Fuentes para la provisión de agua
Proliferación de insectos y aumento de enfermedades cuyos vectores son acuáticos (malaria)	Nuevas oportunidades para recreación y turismo
Hipolimnion anóxico (sin oxígeno) e impactos severos río abajo	Piscicultura intensificada
Baja diversidad de la ictiofauna en comparación con ríos	Navegación
Cambios por lo general negativos en la calidad de las pesquerías	Incremento del potencial del agua para riego
Colonización por especies exóticas	Regulación de ríos y control de inundaciones
Tasa de reciclaje de nutrientes interno muy alto y sedimento tóxico	Nuevas alternativas económicas en regiones empobrecidas
Crecimiento de macrófitas y eutrofización	Oferta turística y desarrollo de infraestructura de perilago
Pérdidas de tierras	
Desplazamiento y relocalización de poblaciones humanas	
Pérdida de valores culturales	
Alteración de los ciclos hidrológicos	
Cambios geomorfológicos del cauce aguas abajo	
Cambios de la calidad del agua aguas arriba y abajo	
Reducción de llanuras aluviales aguas abajo por regulación del caudal	
Pérdida de nutrientes y materia orgánica aguas abajo	
Obstrucción de migraciones de peces ascendentes y descendentes	
Emisión de metano y dióxido de carbono (embalses tropicales y subtropicales)	

Tabla 2. Principales problemas y beneficios debido a la creación de reservorios formados por represas hidroeléctricas en Brasil (modificado de [24]).



tipo de impactos.

Figura 4. Relación entre la potencia instalada en una represa y el área inundada por los embalses. Fuente: Claudio Baigún.

Los embalses con grandes dimensiones, por otra parte, pueden disparar un efecto de barrera ecológica al promover una alta mortalidad de huevos y larvas que en el curso del río derivan suspendidos en la columna de agua, pero que en el embalse, al disminuir la velocidad del agua, tienden a decantar y ser más visibles para peces depredadores debido a un aumento de la transparencia del agua [12, 25]. Un ejemplo ampliamente estudiado de los impactos sobre la ictiofauna corresponde a la represa de Tucuruí, en la cuenca del Tocantins, donde se advirtió una reducción de la biodiversidad de peces al hacer una comparación con la ictiofauna del río [26].

Esta situación se observaría con mayor énfasis en los embalses del Amazonas que tenderán a ser de gran superficie debido a la geomorfología de la región. Los grandes embalses, por su profundidad experimentan las mismas limitaciones productivas que los lagos profundos, con el agravante que la vegetación inundada y la presencia de termoclinas favorecen la formación de hipolimnios anóxicos y, por lo tanto, se reduce la presencia de hábitats apropiados para la ictiofauna [27]. Asimismo, y a diferencia de lo que usualmente se sostiene, contribuyen al calentamiento global al emitir importantes concentraciones de carbono en forma de metano y CO_2 [28, 29], lo que cobra mayor

relevancia en áreas densamente vegetadas [30].

En el plano social, y dependiendo de su localización en la cuenca, los embalses suelen producir importante impactos sobre las comunidades locales al ocupar áreas productivas e inundar asentamientos urbanos, obligando a un desplazamiento forzado, a menudo a sitios con condiciones de calidad de vida inferior. Usualmente, la magnitud de desplazamientos se asocia con la superficie inundada (figura 5). Estos movimientos son en extremo traumáticos cuando quedan afectadas comunidades indígenas con valores culturales muy diferentes [31] y que encuentran serias limitaciones para su relocalización.

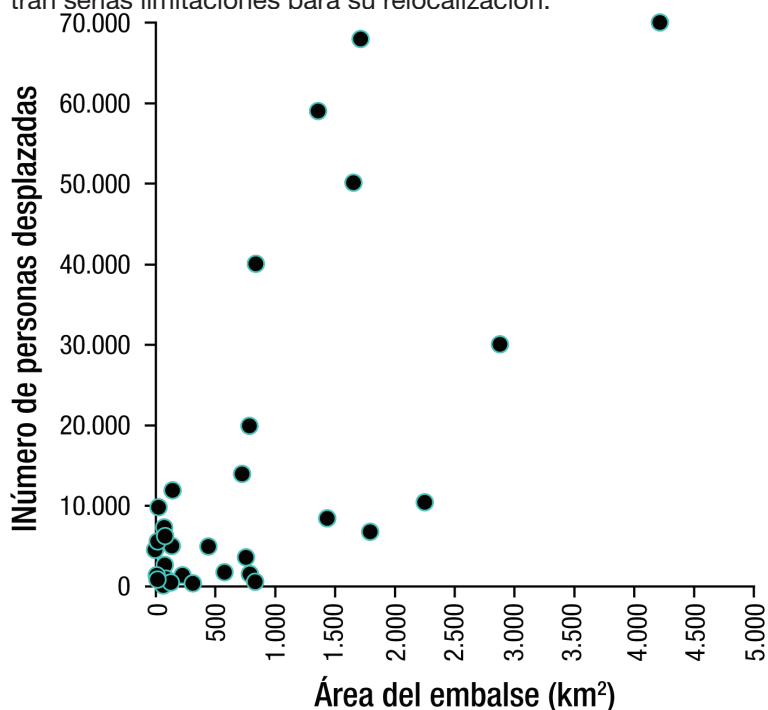


Figura 5. Relación entre el área inundada de los embalses de América del Sur y el número de personas desplazadas. Fuente: Claudio Baigún.

4. Cambios en las pesquerías

La formación de embalses influye en la composición de los ensambles de peces, dado que muchas especies que habitan los ríos no están adaptadas a vivir en ambientes de tipo lacustres

[32]. Una de las consecuencias más críticas relacionadas con la construcción de represas es la pérdida de calidad de las pesquerías por reducción o desaparición de especies migratorias. Inicialmente, existe un surgimiento trófico que tiene como efecto favorecer la producción secundaria, incluyendo la pesquera. Durante la etapa de llenado se produce un brusco aumento de la productividad del sistema debido a un masivo aporte de nutrientes y materia orgánica desde las áreas inundadas (suelos, vegetación, etc.). La producción generada por los efectos del llenado es así canalizada por especies detritívoras-iliófagas, herbívoras u omnívoras, hacia los niveles tróficos superiores. El incremento de la producción pesquera de la etapa inicial, sin embargo, suele generar la falsa impresión de que el embalse posee condiciones pesqueras aún superiores a las del río original, disparando un sobredimensionamiento y a menudo una sobrecapitalización de la pesquería. Es en esta etapa cuando las pesquerías de los embalses alcanzan su máximo desarrollo dada la coexistencia de especies de río que aún permanecen en el nuevo ambiente y la aparición de especies colonizadoras mejor adaptadas a un ambiente más léntico (lacustre) que lótico (de río). Terminada la fase de surgimiento trófico, la cual puede ser variable de acuerdo con factores tales como la morfometría del embalse, la tasa de recambio del agua, el clima, las condiciones de la cuenca, etc., e iniciada la fase ya de estabilización, la composición de especies es dominada por aquellas mejor adaptadas a condiciones lénticas. Estos cambios en la estructura de las comunidades no son meros reemplazos taxonómicos, sino que reflejan el resultado de diferentes estrategias bionómicas y de modificaciones en el uso de los recursos. La consecuencia de ello es una importante caída en el rendimiento pesquero acompañado por un cambio irreversible en la composición de especies [12]. En el caso de la represa de Sobradinho, por ejemplo, mientras se advirtió un incremento de 2400 a 24.000 Tn con posterioridad al llenado del embalse, los rendimientos declinaron posteriormente a solo 3000 toneladas, reemplazándose la captura del sábalo (*Prochilodus lineatus*) y del surubí pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) por la corvina (*Pachirus* sp. y *Plagioscion* sp.) [33].

En los embalses de la alta cuenca del Paraná, el rendimiento pesquero de varias de las represas construidas oscila entre 4 y 14 kg/ha [34], y los mayores rendimientos se observan en embalses que retuvieron tramos fluviales libres aguas arriba. Estos

procesos han sido bien documentados también en la represa de Itaipú, en donde las especies migratorias se redujeron drásticamente, excepto en la cola del mismo (figura 6), y cayó la captura por unidad de esfuerzo [35]. Una vez estabilizado el embalse, la especie dominante fue la corvina (*Plagioscion squamosissimus*), el bagre amarillo (*Pimelodus maculatus*, *Iheringichthys labrosus*) y la tararira (*Hoplias malabaricus*), entre otros. Por su parte, en Yacyretá, diez años después del llenado de este embalse, las especies más frecuentes fueron todas de pequeño porte y sin valor pesquero significativo [35, 36].

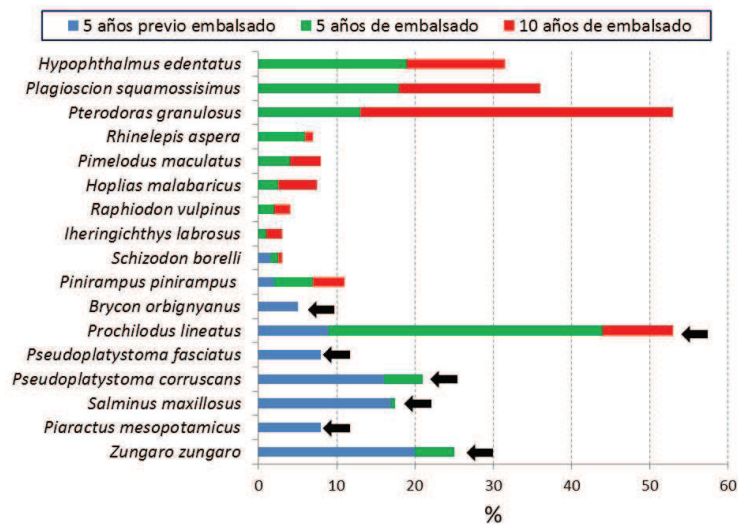


Figura 6. Evolución de la composición de especies en el embalse de Itaipú desde la etapa de previa a la formación del embalse (1977) hasta la etapa posterior a la aparición del embalse (1987 y 1997). Las flechas rojas indican las especies migratorias de importancia pesquera (adaptado de [32]).

En todo caso, el impacto de los embalses sobre las pesquerías parece estar relacionado con sus dimensiones, ya que los embalses más grandes resultan ser los menos productivos (figura 7). Ello está influenciado, por una parte, por la morfología del cuerpo de agua ya que los embalses más grandes son, por lo general, más profundos y a menudo exhiben fondos anóxicos. Por otra, los cambios en la calidad del agua, desaparición de hábitats exclusivamente lóticos y pérdida de llanuras de inundación, cuyo rol en la productividad biológica de los grandes

ríos es clave ha sido destacada por diferentes autores [37, 38, 39], contribuye a reducir la producción pesquera cuando se la compara con el río original.

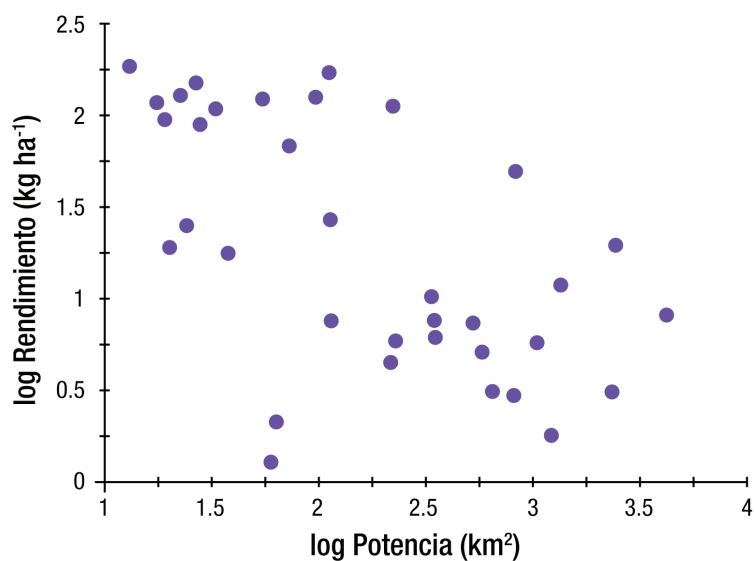


Figura 7. Relación entre el área de embalses y el rendimiento pesquero en embalses de Brasil (adaptado de [20]).

5. Conclusiones y futuras acciones

La construcción de represas en América del Sur parece reproducir el destino de otros continentes, y emerge como un fenómeno que cobrará importancia en el siglo XXI, particularmente en la cuenca del Amazonas, incluyendo las cabezas de los principales afluentes. Ello implicará formidables desafíos para modificar la visión estratégica del manejo de las cuencas y los recursos transfronterizos. En este contexto, será necesario mejorar o poner en práctica mecanismos de gobernanza que tengan que ver con el uso del agua y su relación con los recursos pesqueros y la biodiversidad. En la medida en que estas obras se intensifiquen, será también imprescindible incrementar los mecanismos de participación ciudadana en la toma de decisiones, mejorar la transparencia de los proyectos y acceso a la información disponible y

evaluar objetivamente los costos y beneficios sociales para los diversos actores [2].

Un aspecto importante a tener en cuenta es que las pesquerías de los grandes ríos de Sudamérica se basan en el aprovechamiento de especies migratorias que exhiben complejos desplazamientos acoplados a los regímenes hidrológicos. A menudo, este escenario, que involucra modificaciones irreversibles en las comunidades de peces, no es considerado por los planificadores de este tipo de obras al no tener en cuenta que la producción de las pesquerías en los grandes ríos se basa en disponer de extensas llanuras aluviales y su libre conectividad con el cauce principal, mantener los pulsos de inundación y permitir las migraciones ascendentes y descendentes de peces. En este sentido, una importante lección aprendida a partir de los represamientos observados en Sudamérica es que las pesquerías terminan por transformarse y adaptarse al aprovechamiento de especies de menor porte perdiendo así valor y deteriorando la calidad de vida de los pescadores. Tal como lo demuestran los diferentes casos examinados en este capítulo, en la mayoría de los embalses, y particularmente en aquellos de grandes dimensiones, los rendimientos pesqueros se reducen drásticamente, variando la composición de especies en mayor o menor medida de acuerdo con el grado en que el embalse se aparta de las condiciones originales que exhibía el río. Esto sugiere que los embalses, lejos de transformarse en pesquerías más productivas, como suele esgrimirse, empobrecen la pesca e incluso favorecen la introducción de especies exóticas mediante siembras indiscriminadas para compensar la pérdida de rendimiento pesquero. Estos efectos se transmiten a menudo hacia la cuenca localizada aguas arriba de las represas, impactando sobre las comunidades pesqueras preexistentes.

El desarrollo de represas en América del Sur en el siglo XXI deberá así evaluarse en función de los costos y beneficios energéticos, ambientales, sociales y económicos para cada caso, siendo necesario poner en práctica una visión ecosistémica para reducir los impactos sobre los recursos de los grandes ríos y sus principales actores asociados. En este contexto, es necesario atender a buenas prácticas identificadas para la construcción de los embalses cuando los mismos son inevitables [40]. Ello implica, por ejemplo, desalentar aquellas obras cuyos rendimientos energéticos sean escasos pero requieran generar un fuerte impacto ambiental y social, sea por la superficie del

área inundada o por el desplazamiento de personas, en particular de comunidades indígenas. Es, asimismo, deseable reducir al máximo el área de la cuenca localizada aguas arriba de la obra y que existan aguas abajo de la presa tributarios en buen estado de conservación que actúen como áreas reproductivas para peces migratorios. Por otra parte, se debe evitar instalar represas en sectores de ríos que aún conservan alto valor ecológico, cultural y socioeconómico, que estuvieran habitadas por especies endémicas, migratorias y/o de alto valor comercial cuya reducción pueda alterar los medios de vida de aquellos actores locales altamente dependientes de recursos como agua y pesca. Asimismo, es fundamental que el desarrollo de represas deje siempre amplios tramos de ríos con condiciones naturales, incluyendo la existencia de tributarios y llanuras de inundación, para mantener cuando sea factible el ciclo biológico de peces migratorios aguas arriba de las represas. Más aún, es recomendable diseñar presas que puedan operar conservando, en buena medida, el ciclo hidrológico natural para evitar la pérdida de conectividad en períodos críticos. La formación de embalses con altas tasas de renovación de agua ayuda a mantener la calidad del agua, evitar la eutrofización y reducir la deposición de sedimentos. Los embalses, por otro lado, son generadores de metano cuando se localizan en áreas que se encontraban densamente vegetadas previo al represamiento, lo que suma un elemento adicional para predecir el impacto de las represas en el largo plazo.

Por otra parte, cuando se trate de represas de muy baja altura, es conveniente que las mismas respeten criterios de diseños que permitan que los peces puedan sobrepesarlas. A pesar de su escasa altura, el impacto de estas obras, por lo general orientadas a riego, puede ser importante debido a un efecto sinérgico dado por el alto número de represas presente y un impacto simultáneo a una escala espacial amplia.

En el caso de las especies migratorias, la instalación de pasos para peces requiere abordar el problema de diseño y funcionamiento de una perspectiva decididamente bioingenieril. Ello implica integrar variables hidrológicas e hidrodinámicas con las características bioecológicas de las especies para poder entender el comportamiento y la reacción de los peces ante la posibilidad de utilizar un sistema de pasos para peces y mejorar así su eficiencia de transferencia. No menos importante, el diseño de estos pasos deberá insertarse en un marco de obtención de

información previa a la obra, que abarque aspectos ecológicos, biológicos, geomorfológicos e hidrológicos que permitan predecir el comportamiento de las especies una vez construida la obra. Por último, es necesario tener presente que cada represa es particular y con condiciones que pueden llegar a ser únicas por diseño y ubicación estratégica en la cuenca, lo que requiere obtener, a menudo, información específica.

Bibliografía

- [1] **International Commission of Large Dams (ICOLD)** (1998-2009). "World register of dams". Version updates 1998-2009. Paris, France, ICOLD, disponible en www.icold-cigb.net (accedido el 23 de marzo de 2011).
- [2] **World Commission of Dams** (2000). *A new framework for decision-making process*. London and Sterling, VA., Earthscan Publications Ltd.
- [3] **Okada, E. K.; Agostinho, A. A. y Petrele, M. Jr.** (1996). "Catch and effort data and the management of the commercial fisheries of Itaipú reservoir in the upper Parana River, Brazil", en Cowx, I. (ed.): *Stock assessment in inland water fisheries*. London, Fishing News Books, pp. 164-161.
- [4] **Oldani, N. O. et al.** (2007). "Is fish passage technology saving fish resources in the lower La Plata river basin?", *Neotropical Ichthyology* 5, pp. 89-102.
- [5] **Agostinho, A. A. et al.** (2003). "Migratory fishes of the Upper Paraná river basin, Brazil", en Carolsfeld, Y. et al. (eds.): *Migratory fishes of South América: biology, fisheries and conservation status*. Ottawa International Development Center, The World Bank, pp. 19-98.
- [6] **Finer, M. y Jenkins, C. N.** (2012). "Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity", *PLoS ONE*, 7(4).
- [7] **Baigún, C. y Oldani, N.** (2005). "Impactos ecológicos de represas en ríos de la porción inferior de la cuenca del Plata: Escenarios aplicados a los recursos pesqueros", en Peteán, J. y Cappato, J. (comps.): *Humedales Fluviales de América del Sur. Hacia un Manejo Sustentable*. Santa Fe, Proteger ediciones, pp. 475-488.
- [8] **Oldani, N. y Baigún, C.** (2008). *Monitoreo y comportamiento de la fauna de peces en el tramo inferior del río Uruguay (lado argentino), frente al emplazamiento de la planta de celulosa Botnia. Programa de Vigilancia Ambiental del Río Uruguay*.

Convenio Secretaría de Medio Ambiente de la Nación y Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata.

[9] **Fernandez, D. R. et al.** (2007). "Diel variation in the ascent of fishes up an experimental fish ladder at Itaipu Reservoir: fish size, reproductive stage and taxonomic group influences", *Neotropical Ichthyology* 5, pp. 215-222.

[10] **Carolsfeld, J. et al.** (eds.) (2003). *Migratory Fishes of South America. Biology, Fisheries and Conservation Status*. Ottawa, The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank.

[11] **Clay, C.** (1995). *Design of fishways and other fish facilities*. Boca Raton, Lewis Publisher.

[12] **Larinier, M.** (2001). "Environmental issues, dams and fish migrations", en Marmulla, G. (ed.): *Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution*. FAO Fisheries Technical Paper N° 419. Rome, FAO.

[13] **Agostinho, A. A.; Gomes, L. C. y Pelicice, F. M.** (2007a). *Ecología e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. Maringá, Ed. Universidade Estadual de Maringá (UNLP).

[14] **Vono, N. et al.** (2004). "Fish passage at the Igarapava fish ladder, Rio Grande, Brazil", en: *Proceedings of the VI International Congress on the Biology of Fishes*, Manaus, American Fisheries Society.

[15] **Godinho, H. P. et al.** (1991). "Fish ladder efficiency in the southeastern Brazilian river", *Ciencia e Cultura* 43, pp. 63-67.

[16] **Pompeu, P. y Martínez, C. B.** (2006). "Temporal patterns of fish passage in Santa Clara Power Plant's fish lift, Mucuri River, east Brazil", *Revista Brasileira de Zoologia* 23, pp. 340-349.

[17] **Oldani, N. y Baigún, C.** (2002). "Performance of a fishway system in a major South American dam on the Parana River (Argentina-Paraguay)", *River Research and Management* 18, pp. 171-183.

[17] Makrakis, S. *et al.* (2007). "The canal da piracema at itaipu Dam as a fish pass system", *Neotropical Ichthyology* 5, pp. 185-195.

[18] Espinach Ros, A. *et al.* (1997). "Monitoreo del funcionamiento del sistema de transferencia de peces", en Espinach Ros, A. y Ríos, C. (eds.): *Conservación de la fauna íctica en el embalse de Salto Grande*. Comisión Administradora del Río Uruguay, pp. 15-26.

[19] Leite, V. (2010). *Estudios sobre la ictiofauna íctica en Salto Grande*. Paysandú, disponible en : https://www.saltogrande.org/pdf/ESTUDIOS_SOBRE_LA_FI_VERSION4.pdf.

[20] Baigún, C.; Oldani, N. y Van Damme, P. (2011). "Represas hidroeléctricas en América Latina y su impacto sobre la ictiofauna", en Van Damme, P. A.; Carvajal, F. y Molina, J. (eds.): *Peces de la Amazonía boliviana: potencialidades y amenazas*. Cochabamba, Ed. INIA, pp. 395-415.

[21] Baigún, C. *et al.* (2012). "Fish passage system in an irrigation dam (Pilcomayo River basin): When engineering designs do not match ecohydraulic criteria", *Neotropical Ichthyology* 10, pp. 741-750.

[22] Agostinho, C. S. *et al.* (2007b). "Movements through a fish ladder: temporal patterns and motivations to move upstream", *Neotropical Ichthyology* 5, pp. 161-167

[23] Pompeu, P. S. *et al.* (2012). "Existing and future challenges: the concept of successful fish passage in South America", *River Research and Applications* 28, pp. 504-512.

[24] Tundisi, J. G.; Santos, M. A. y Menezes, C. F. (2003). *Tucuruí Reservoir: Experience and lessons learned brief*. Pp. 421-429 on CD accompanying: ILEC, *Managing lakes and basins for their sustainable use. A report for lake basin managers and stakeholders*. Kusatsu, International Lake Environment Committee Foundation.

[25] Pelecice, F.; Pompeu, P. S. y Agostinho, A. A. (2015). "Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of

Neotropical migratory fish”, *Fish and Fisheries* 16, pp. 697-715.

[26] De Merona, B. M.; Dos Santos, G. y De Almeida, G. (2001). “Short term effects of Tucuruí dam (Amazonia, Brazil) on the trophic organization of fish communities”, *Environmental Biology of Fishes* 60, pp. 375-392.

[27] Tundisi, J. G. *et al.* (1993). “Limnology and management of reservoir in Brazil”, en Straskraba, M.; Tundisi, J. G. y Duncan, A. (eds.): *Comparative reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 25-55.

[28] St. Louis, V. L. *et al.* (2000). “Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: A global estimate”, *BioScience*, pp. 766-775.

[29] Maeck, A. *et al.* (2013). “Sediment Trapping by Dams Creates Methane Emission Hot Spots”, *Environmental Science and Technology* 47, pp. 8130-8137.

[30] Barros, N. J. *et al.* (2011). “Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude”, *Nature Geoscience* 4, pp. 593-596.

[31] Mckully, P. (2001). *Silenced rivers. The ecology and politics of large of dams*. New York, St. Martins Press.

[32] Hoeinghaus, D. J. *et al.* (2009). “Effects of river impoundment on ecosystem services of large tropical rivers: Embodied energy and market value of artisanal fisheries”, *Conservation Biology* 23, pp. 1222-1231.

[33] Sato, Y. y Godinho, H. P. (2003). “Migratory fishes of the Sao Francisco River”, en Carolsfeld, Y. *et al.* (eds.): *Migratory fishes of South América: Biology, fisheries and conservation status*. Ottawa International Development Center, The World Bank, pp. 195-233.

[34] Agostinho, A. A. (1994). *Considerações sobre a atuação do setor eléctrico na preservação da fauna aquática e dos recursos pesqueiros. Seminário sobre fauna aquática e o setor eléctrico brasileiro. Reuniones temáticas preparatorias. Cuaderno 4.*

Fundamentos. Rio de Janeiro-RJ, COMASE/Eletróbrás, pp. 38-61.

[35] Okada, E. K.; Agostinho, A. A. y Gomes, L. C. (2005). "Can Spatial and temporal gradients in artisanal fisheries of a large Neotropical reservoir, the Itaipu Reservoir, Brazil", *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62, pp. 714-724.

[35] Roa, B. H. et al. (2000). *Informe final sobre la campaña de pesca experimental en el Río Paraná entre las progresivas 1478 (Toma de agua ERIDAY) y km 1625 (Arroyo Yabebiri)-Argentina*. Convenio EBY-UnaM.

[36] Roa, B. et al. (2001). *Evaluación de los recursos pesqueros aguas arriba*. Informe Final Convenio VI, EBY-Unam.

[37] Junk, W. J.; Bayley, P. B. y Sparks, R. E. (1989). "The flood pulse concept in river floodplain systems", en Dodge, D. P. (ed.): *Proceedings of the International Large River Symposium* 106, pp. 110-127.

[38] Neiff, J. J. (1999). "El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica", en Malvarez, A. (ed.): *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, pp. 97-146.

[39] Welcomme, R. L. (2001). *Inland Fisheries: Ecology and Management*. Oxford, FAO, Fishing News Books, Blackwell Science Ltd.

[40] Ledec, G. J. y Quintero, V. (2003). "Good dams and bad dams: Environmental criteria for site selection of hydroelectric projects", *Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper* 16.