



El agua. Estudios interdisciplinarios sobre gestión sostenible multisectoral y ecosistémica



**EL AGUA. ESTUDIOS INTERDISCIPLINARIOS
SOBRE GESTIÓN SOSTENIBLE
MULTISECTORIAL Y ECOSISTÉMICA**

Proyecto UBACYT 2014-2017
(acreditado con el Nro. 20020130100047BA)

Título del proyecto UBACYT:
Gestión multisectorial sostenible del agua en ecosistemas. Análisis de
gobernanza en el Mercosur y Colombia

Directora del Proyecto
Griselda D. Capaldo

Capaldo, Griselda D.

El agua: estudios interdisciplinarios sobre gestión sostenible multisectorial y ecosistémica / Griselda D. Capaldo. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Derecho. Secretaría de Investigación. Departamento de Publicaciones, 2020.

Libro digital, PDF - (Publicación de Resultados de Proyectos de la Secretaría de Investigación)

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-29-1834-1

1. Desarrollo Sustentable. 2. Derecho del Agua. 3. Derecho Internacional Público. I. Título.

CDD 341



Facultad de Derecho

1° edición: abril de 2020

ISBN: 978-950-29-1834-1

© Secretaría de Investigación

Facultad de Derecho, UBA, 2020

Av. Figueroa Alcorta 2263, CABA

www.derecho.uba.ar

Edición y Corrección de estilo: Laura Pégola

Diseño y diagramación de interior y tapa: Nicole Duret

Impreso en la Argentina – Made in Argentina

Hecho el depósito que establece la ley 11.723

Todos los derechos reservados. No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso previo del editor.

ÍNDICE

Capítulo Introductorio	7
<i>Griselda D. Capaldo</i>	
Capítulo I	
El rol del Poder Legislativo en el fortalecimiento o debilitamiento de la eficacia del derecho ambiental en la Argentina. Uso de indicadores verificables objetivamente	24
<i>Griselda D. Capaldo</i>	
Capítulo II	
La empresa privada como ente responsable por la violación del derecho humano al agua: una aproximación.	45
<i>Javier Echaide</i>	
Capítulo III	
Ciudadanía y política pública ambiental en las cuencas metropolitanas del Gran Buenos Aires	78
<i>Mariano Ferro</i>	
Capítulo IV	
El relevante rol del Derecho y la percepción ambiental de la población en el Noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Su impacto en el desarrollo de políticas públicas vinculadas con la protección de los servicios ecosistémicos.	101
<i>Clara Minaverri</i>	
Capítulo V	
Calidad del agua de cursos fluviales de la Reserva MaB Delta y evidencias de cambios de relevancia ecológica y social en el régimen hidrológico del río Paraná Inferior	124
<i>Alba Puig y Héctor Olguín Salinas</i>	

Capítulo VI	
El Acuerdo de Paz en Colombia ¿contempla una paz ambiental?	143
<i>Marta Vigevano</i>	
Capítulo VII	
La cultura política como variable mediadora de la eficacia normativa y la gobernanza efectiva del agua. Estudio de ciudadanos y decisores en la Argentina.	162
<i>Marta Biagi</i>	
Capítulo VIII	
Sistema de Áreas Protegidas en la provincia de Buenos Aires: conservación de la Biodiversidad y los Paisajes Naturales Costeros	175
<i>Cecilia Mantecón</i>	
Capítulo IX	
El artículo 32 de la Ley General del Ambiente en la Jurisprudencia de la CSJN. La doctrina de la CSJN respecto de la interpretación y aplicación de una herramienta jurídica procesal ambiental . . .	194
<i>Mariano Castillo</i>	
Capítulo X	
Comercio internacional y medio ambiente: brechas para debatir la sustentabilidad hídrica internacional.	215
<i>Kleverton Melo de Carvalho</i>	
Capítulo XI	
La cooperación internacional y Naciones Unidas frente a los desastres naturales	231
<i>Luis Castillo Argañaraz</i>	
Las autoras y los autores	246

Capítulo V

Calidad del agua de cursos fluviales de la Reserva MaB Delta y evidencias de cambios de relevancia ecológica y social en el régimen hidrológico del río Paraná Inferior

Alba Puig y Héctor Olguín Salinas

Resumen

Las actividades que desarrollamos en la línea ecológica de este proyecto se enfocan en la generación de conocimiento sobre la complejidad del sistema ecohidrológico y la posible transferencia de ese conocimiento a diferentes ámbitos. Nuestra investigación está enfocada en la evaluación de cursos del Delta del río Paraná, específicamente en su Reserva de Biósfera (sector de islas de San Fernando, Buenos Aires). Continuamos con lo que iniciamos en proyectos previos, enfocados en identificar posibles indicadores, así como factores de riesgo para la vida acuática y para los pobladores que dependen de esos ambientes. Mediante potentes herramientas estadísticas profundizamos el análisis de las variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua fluvial y sus probables factores de control. Contrastando nuestros hallazgos con los de investigaciones en esta y otras cuencas fluviales, avanzamos en la inferencia de procesos involucrados. Los factores de riesgo potencial (variables que superaron los respectivos niveles guía) detectados para la vida acuática y los pobladores de esta Reserva, que cotidianamente usan agua fluvial, proveen señales de alerta acerca de dificultades para el cumplimiento del derecho humano de acceso al agua potable y salubre, así como del derecho al ambiente sano. Demostramos y cuantificamos la fuerte influencia de los caudales entrantes del Paraná en la calidad del agua de los cursos de la Reserva y señalamos su asociación con distintos factores de riesgo. La visualización de la necesidad teórica y práctica de identificar y cuantificar cambios en el régimen hidrológico del río Paraná Inferior nos motivó a abordar, junto a un hidrólogo, un proceso de investigación con este nuevo y ambicioso objetivo. Este desafío, de relevancia ecológica y social no solo para el Delta, representó una notable ampliación de escala espacial, temporal y disciplinar. Analizamos los

caudales diarios entrantes al Delta (sección Santa Fe-Paraná) durante más de una centuria, aplicando Indicadores de Alteración Hidrológica y estadística no convencional. El procesamiento e interpretación de este cúmulo de información nos permitió identificar cambios más asociables a la variabilidad climática y otros más consistentes con la regulación del caudal por las numerosas represas de su alta cuenca. La profunda revisión y experiencia adquirida nos permitió generar recomendaciones metodológicas. Documentamos la investigación completa en dos artículos científicos elaborados y publicados durante este Proyecto en una prestigiosa revista científica internacional. Posteriormente, la abundante bibliografía revisada y la experiencia acumulada derivaron en la elaboración de un extenso artículo sobre alteraciones del régimen hidrológico fluvial y sobre caudales ambientales, para la transferencia de esta temática, poco desarrollada aún en el país, hacia el ámbito jurídico, en principio.

I. Introducción general

El agua se requiere en cantidad y calidad adecuadas para la vida, la salud y actividades humanas, así como para la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, proveedores de servicios esenciales para la humanidad (MEA, 2005). Estos servicios ecosistémicos (procesos y condiciones a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman sostienen y satisfacen la vida humana) incluyen, a su vez, funciones de regulación del agua en cantidad y calidad. El deterioro de los ecosistemas acuáticos genera un elevado costo económico, social y ecológico (Ramsar, 1999), poco percibido por decisores políticos, empresarios y buena parte de la ciudadanía. Atendiendo a la perspectiva del cambio climático, la protección de la integridad de los ecosistemas aumenta la probabilidad de conservar su capacidad adaptativa para mantener los valiosos servicios que proveen a la humanidad (Baron *et al.*, 2004).

Dentro de la hipótesis general postulada por el Proyecto UBACYT 2014-2017 sobre factores a diferentes escalas que dificultan la sustentabilidad y la gobernabilidad del agua en los ecosistemas, nuestro aporte desde la ecología acuática se enfoca en la falencia que representa la falta de conocimiento científico apropiado y el escaso aprovechamiento del que se logra generar.

El enfoque ecosistémico (UNEP/CBD, 2000), que promueve la participación de los ámbitos de la gestión, el científico-técnico y el social para el manejo integrado, adopta una serie de principios, como aplicar en la gestión el mejor conocimiento científico disponible. Esta pro-

puesta, poco aplicada aún en América Latina (Andrade Pérez, 2007), aspira a superar intereses sectoriales y puede evitar que los beneficios y los costos socio-ambientales resulten desigualmente repartidos. La consideración tanto de intervenciones sobre factores físicos, químicos y biológicos como de la regulación de acciones humanas implica una necesaria articulación entre especialistas de ciencias naturales y sociales, que no resulta sencilla.

La conveniencia de una gestión por cuenca hídrica reúne amplio consenso mundial (RIOOC, 2009). América del Sur se caracteriza por sus grandes sistemas fluviales, de alto valor estratégico. La estructura y el funcionamiento de los sistemas fluviales, conformados por ríos con extensas y complejas llanuras de inundación, están condicionados por su régimen hidrológico. En consecuencia, resulta esencial el entendimiento de las relaciones ecohidrológicas como base para evaluar su vulnerabilidad al impacto humano (Zalewski *et al.*, 1997). El aumento de eventos extremos y otros efectos previstos por el cambio climático en sistemas fluviales sudamericanos magnifica el desafío de la sustentabilidad (Junk, 2013).

El río Paraná (Fig. 1a-d), principal componente de la gran Cuenca del Plata (Fig. 1a, b), constituye un eje relevante de biodiversidad, población y actividades productivas. El Alto Paraná nace en Brasil, recibe afluentes provenientes principalmente de las sierras costeras, como el río Iguazú, y contribuye a la mayoría del caudal del Paraná Inferior (que se inicia a la altura de las ciudades de Paraná y Santa Fe (Fig. 2a). El resto es aportado, principalmente, por el río Paraguay, que drena el Mato Grosso y el Gran Pantanal, así como pendientes hacia el este de los Andes a través de los ríos Bermejo y Pilcomayo (Puig *et al.*, 2011). El caudal del río Paraná se genera fundamentalmente por precipitaciones en la alta cuenca. Entre las variaciones interanuales, son marcadas las asociadas al fenómeno de acople oceánico-atmosférico denominado “El Niño-Oscilación Sur” (ENOS). En los episodios El Niño, que ocurren cada 2 a 7 años, llueve excesivamente, generando eventos extremos de inundación en el río Paraná, mientras en los episodios La Niña se registra una situación inversa (sequías y menor caudal), aunque menos pronunciada (Puig *et al.*, 2011). La porción Media e Inferior del río Paraná está bordeada por una amplia llanura aluvial que contiene variados ambientes y cuerpos de agua. En este tipo de llanuras fluviales, el agua que satura el suelo proviene del río, principalmente (Neiff, 1999). En los últimos 300 km del río se distingue la región del Delta del Paraná (Fig. 2a), extenso complejo fluvio-deltaico (17.500 km²) que desemboca en un estuario binacional. El bajo Delta (Fig. 2b) presenta islas más

altas, con borde elevado (denominados *albardones*), lo que facilitó un significativo poblamiento por europeos y criollos, y *bajos* inundables en su interior (ocupados principalmente por *pajonales*).

Mientras el subsistema Paraguay-Paraná representa un valioso corredor fluvial que conecta humedales desde el Gran Pantanal hasta el Delta (Fig. 1c), en la alta cuenca del Paraná unas 70 represas (con regulación mensual del caudal) acumulan en sus embalses un volumen total de 300 km³ de agua (Fig. 1d) y se incrementa el número de represas de paso (sin embalse o reducido, con regulación diaria).

Las presiones humanas sobre la cuenca del río Paraná (como fuerte regulación por represas en la alta cuenca, deforestación y contaminación mixta) pueden afectar la calidad y cantidad del agua en su Delta. En esta compleja y dinámica zona terminal de una extensa cuenca, los variados usos del agua fluvial enfrentan una problemática creciente (Baigún *et al.*, 2008).

Esto resulta particularmente relevante en una Reserva MaB (Programa UNESCO “El Hombre y la Biósfera”), con metas de conservación de la biodiversidad a todos los niveles (desde el genético hasta el ecosistémico) y de desarrollo humano sustentable. La zona del bajo Delta abarcada por la Reserva (Fig. 2b) es extensa (890 km²), heterogénea y de complejo régimen hidrológico (Otero y Malvárez, 2000), dependiente fundamentalmente de los caudales del río Paraná y, en menor medida, de los caudales del río Paraguay y de la influencia del Río de La Plata, a través de sus mareas, tanto lunares como meteorológicas (denominadas localmente *sudestadas*). Su red de drenaje presenta ríos grandes, como el Paraná Guazú y el Paraná de las Palmas, que encauzan marcadamente el flujo hídrico y terminan en abanicos deltaicos, y ríos pequeños, con un patrón dendrítico de distributarios en sentido NO-SE.

Una conceptualización desde la ecohidrología, con perspectiva de red de drenaje (Wiens, 2002), junto a la aplicación de avanzadas herramientas de análisis, nos brindó la posibilidad de escalar desde el nivel de los datos, pasando por información de utilidad, hacia un sólido y provechoso conocimiento de aspectos del funcionamiento natural del sistema fluvial y a la identificación de señales de alteración, lo cual es relevante para la investigación de estos ambientes y para su apropiada gestión (Puig y Olguín Salinas, 2018).

Durante el transcurso de este proyecto pusimos énfasis en la búsqueda y aplicación de herramientas estadísticas no convencionales, la elaboración de publicaciones científicas para una prestigiosa revista especializada internacional y la transferencia en temas con escaso desarrollo en el país, como la evaluación de alteraciones hidrológicas.

Con respecto a la calidad del agua de cursos de la Reserva de Biósfera “Delta del Paraná”, se abordó la interpretación de las variaciones espacio-temporales identificadas en el proyecto previo, infiriendo procesos involucrados. Sin embargo, el mayor esfuerzo se dedicó a un nuevo y ambicioso objetivo vinculado: cuantificar cambios en el régimen hidrológico del río Paraná Inferior, reconociendo su relevancia ecológica y social, al menos para el Delta.

Consecuentemente, en este capítulo se presenta primero una síntesis de los principales aportes de la evaluación de la calidad del agua fluvial en la Reserva, tanto en referencia a su funcionamiento natural como a los contaminantes detectados (como potenciales factores de riesgo), luego, el estudio sobre cambios en el régimen hidrológico del río Paraná Inferior y, finalmente, se mencionan algunas actividades de transferencia realizadas.

II. Calidad del agua de cursos fluviales de la Reserva Delta

En los proyectos UBACYT previos nos propusimos analizar las principales variaciones temporales y espaciales en variables físicas, químicas y algunas microbiológicas del agua en cursos seleccionados de la Reserva. En este proyecto terminamos de refinar las metodologías de análisis de datos y avanzamos en su interpretación, infiriendo los procesos involucrados.

La intervención de científicos especializados en las sucesivas etapas del estudio realizado, en particular en la estrategia y el diseño de muestreo, así como en el análisis riguroso de los resultados y en su interpretación, permitió arribar a un aporte de relevancia sustantiva.

II.a. Aspectos metodológicos

La metodología de las evaluaciones de la calidad del agua en los cursos fluviales de la Reserva la hemos especificado detalladamente para los especialistas (Puig *et al.*, 2016b, c) y la describimos de modo más general en español (Puig y Olguín Salinas, 2018), por lo que solo se delinearé sintéticamente a continuación.

Debido al conocimiento sumamente escaso de los cursos de esta región, priorizamos realizar evaluaciones en los ríos principales, abarcando las tres zonas de la Reserva (núcleo, amortiguación, transición), con frecuencia bimestral (Puig y Olguín Salinas, 2018). Como esta estrategia apuntaba, principalmente, a evaluar posibles efectos de las variaciones de caudal del río Paraná, evitamos realizar muestreos en días con *sudestada*. Seleccionamos una escala espacial, denominada

“intermedia”, que corresponde a sitios distanciados entre sí desde 1 a 100 km, ya que se presume que a esta escala se desarrollan los procesos ecológicos claves y es a la que operan los responsables de gestión y las agencias de conservación (Peterson *et al.*, 2013).

Relevamos variables básicas de calidad natural del agua subsuperficial (temperatura, transparencia, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH del agua) en nueve muestreos realizados mediante el buque científico de Prefectura Naval Argentina a lo largo de dos años hidrológicos extremos (en secuencia La Niña - El Niño) en 13 sitios (Fig. 2b) distribuidos en las tres zonas de la Reserva (10 sitios en los cuatro grandes ríos: Paraná de la Palmas, Paraná Guazú, Paraná Miní y Barca Grande; y uno en un arroyo por zona). Adicionalmente, en un sitio por cada río grande obtuvimos muestras destinadas a análisis de variables físico-químicas complementarias y microbiológicas en el Laboratorio de AySA.

Para el análisis de los abundantes datos obtenidos, seleccionamos y aplicamos mediante el software R (R Core Team, 2015) métodos potentes de estadística no convencional (apropiada para la naturaleza de los datos), principalmente multivariados con test por permutaciones, que permitieron sintetizar estas variaciones temporales y espaciales e identificar potenciales factores explicativos (Puig y Olguín Salinas, 2018). Además, identificamos algunos factores de riesgo potencial para la vida acuática y los pobladores, considerando niveles guía pautados o sugeridos en normativas al respecto.

Los resultados cuantitativos y estadísticos figuran redactados en Puig y Olguín Salinas (2018). Los trabajos científicos completos (Puig *et al.*, 2016b, c) incluyen los resultados presentados rigurosamente, así como los argumentos que proporcionan sustento a las interpretaciones expuestas a continuación.

II.b. Variaciones espaciales y temporales de la calidad del agua y sus factores de control

En esta evaluación de una zona deltaica fluvial de compleja hidrología, las variaciones temporales de la calidad del agua prevalecieron fuertemente sobre las espaciales. Esta prevalencia evidencia la influencia relativa de extremos hidrológicos opuestos (marcada sequía e inundación) y de las diferentes estaciones climáticas con respecto a la baja heterogeneidad espacial, propia de una red de cursos distributarios de un delta dominado por un gran río (Puig *et al.*, 2016b).

La fase hidrológica (sequía, desborde por inundación, inundación, o condición no extrema), seguida por la estación climática (primavera,

verano, otoño, invierno) y, en menor medida, por el evento ENOS dominante (La Niña o El Niño) fueron los factores que más explicaron el conjunto de variaciones físico-químicas del agua. Este estudio demostró y cuantificó la influencia dominante de los caudales del río Paraná en la calidad del agua de los cursos de la Reserva, al menos bajo las condiciones extremas evaluadas (Puig y Olguín Salinas, 2018).

Durante la sequía, el aumento en conductividad, turbidez y variables asociadas (como concentraciones de iones mayores, alcalinidad, dureza, silicio, hierro) fue una probable consecuencia del reducido caudal del río Paraná junto a la llegada, con cierto retraso, de pulsos con cargas particuladas y disueltas desde las cabeceras del río Bermejo (Puig *et al.* 2016b). La mínima intensidad de color real reflejó una fuerte desconexión de los cursos de agua con respecto a la llanura deltaica.

Por el contrario, durante el estado de desborde (de *albardones* isleños) de la inundación, los valores mínimos de oxígeno disuelto y pH y la máxima intensidad del color real (por alta concentración de ácidos húmicos) reflejaron la conexión masiva de los cursos de agua con los *bajos* del interior de las islas del delta, evidenciada principalmente en los arroyos pequeños (Puig y Olguín Salinas, 2018).

El marcado aumento en la carga total de macroiones con la inundación, evidenció la contribución de sales acumuladas en la llanura aluvial, acumulación probablemente intensificada después de una sequía, ocurrida dentro de un prolongado período dominado por caudales bajos, combinados con tiempo inusualmente seco y fuegos descontrolados extendidos en el delta (Puig *et al.*, 2016b), que llegaron a quemar un 15% de su superficie (Salvia *et al.*, 2012).

La subcuenca de drenaje (Paraná de Las Palmas o Paraná Guazú) y el tipo de ambiente (río o arroyo) fueron factores significativos, pero secundarios en la explicación del conjunto de variaciones físico-químicas del agua.

Esto se reflejó en una tendencia persistente a una mayor conductividad en el río Paraná de las Palmas, probablemente por afluentes salinos de esta ribera. Asimismo, se detectaron diferencias ocasionales en los arroyos de zonas con menor uso (núcleo y amortiguación). Esta diferencia se maximizó durante el desborde de los *albardones*, evidenciando la relevancia de la transferencia de condiciones de los *bajos* (humedales del interior de las islas con acumulación de materia orgánica proveniente de macrófitas emergentes) sobre los cambios registrados en los ríos.

En síntesis, la calidad del agua fluvial de los cursos de agua deltaicos evaluados puede estar influenciada por diferentes factores, tales

como el efecto de dilución-concentración (históricamente, alrededor de otoño y principios de primavera en el Delta, respectivamente) de los caudales del río Paraná; la secuencia de pulsos de caudal (usualmente desde verano hasta mediados de otoño) del río Bermejo, principal fuente de sedimentos y solutos al Delta; la exportación de propiedades del agua desde la llanura deltaica, principalmente con el inicio de la inundación; la estación climática; y los diferentes efectos de los tributarios sobre el río Paraná Inferior (Puig *et al.*, 2016b).

El período estudiado estuvo bajo la influencia de una combinación y secuencia de eventos extremos: sequía, tiempo seco y fuegos descontrolados, con moderado (semanas a meses) a prolongado (años) efecto posterior (Khan *et al.*, 2015), y luego una inundación de gran magnitud (10 años de recurrencia) y duración (más de una estación climática). Por lo tanto, destacamos la relevancia de documentar tanto las condiciones previas al período evaluado como la combinación o secuencia de eventos extremos durante este, lo que raramente se registra (Khan *et al.*, *op. cit.*). El aumento pronosticado por el cambio climático en frecuencia y severidad de eventos extremos (con mayor oportunidad de secuencia o combinación de estos) probablemente afectará la calidad del agua fluvial y, consecuentemente, su biota y la vida de los pobladores isleños.

II.c. Factores de riesgo potencial

En los ríos de la Reserva, las concentraciones de la bacteria fecal *Escherichia coli*, cadmio, plomo, hierro, manganeso y amonio excedieron los niveles guía bajo una severa sequía y registramos una dispersión de cianobacterias con un pulso de caudal alto en el año La Niña. La concentración de amonio excedió el nivel para bebida humana con el desborde de *albardones* en el año El Niño. Por lo tanto, la aparición o el aumento en factores de riesgo de origen principalmente antrópico se asoció con diferentes condiciones hidrológicas (Puig y Olguín Salinas, 2018).

Durante la sequía, el aumento en concentración de contaminantes pudo ser consecuencia del reducido caudal del río Paraná combinado con la llegada de cargas de material particulado (con sustancias adsorbidas, por ejemplo) provenientes del río Bermejo. Los valores de amonio registrados con la condición de desborde por inundación puede asociarse con la contribución adicional desde los ambientes hipóxicos de las islas con alta materia orgánica. El pulso de aguas altas del año La Niña habría favorecido la llegada desde pequeñas lagunas del Delta superior o medio de cianobacterias capaces de generar toxinas y su

dispersión fluvial hacia cursos de la Reserva (Puig y Olgún Salinas, 2018).

Estas detecciones ocasionales representan un riesgo potencial para la vida acuática y, especialmente, para los habitantes de la Reserva, por lo que proveen señales de alerta acerca de dificultades para el cumplimiento del derecho humano de acceso al agua potable y salubre, así como el derecho al ambiente sano, que fueron reconocidos por las Naciones Unidas (Capaldo *et al.*, 2013). Incluso algunos de estos factores no resultan eliminables mediante algún proceso local de potabilización, como en el caso de las cianobacterias que, si bien se registraron en baja densidad y acotadas en el tiempo, no resultan removibles por tecnologías de potabilización de rutina, o en el caso de aquellos que pueden afectar por contacto con el agua, como la bacteria indicadora de contaminación fecal (*E. coli*), que superó en varias oportunidades el estándar recreativo.

La detección ocasional de concentraciones de algunos elementos, compuestos y organismos que excedieron los niveles guía, a pesar del gran caudal de estos grandes ríos, evidencia, una vez más, que el paradigma de la dilución (confiar en que la dilución resuelva el problema de la contaminación) está obsoleto. Como se indica en las lecciones aprendidas de la Cuenca del río Rhur (Alemania), resulta prioritario apuntar a controlar la contaminación lo más cerca posible de sus respectivos orígenes, impidiendo su traslado (Imhoff *et al.*, 1992), para evitar afectar no solo a esta zona terminal de una gran cuenca, sino también a sistemas vecinos, como el estuario argentino-uruguayo al que desagua. Mientras se procura avanzar hacia esa trascendente meta, el conocimiento de la asociación de la aparición de factores de riesgo con diferentes condiciones hidrológicas puede contribuir al desarrollo local de alertas tempranas, junto a medidas preventivas y paliativas temporarias para la protección de la población potencialmente afectada (Puig y Olgún Salinas, 2018).

III. Cambios en el régimen hidrológico del Río Paraná Inferior

III.a. Introducción

El régimen hidrológico, patrón natural de caudales de un río, es reconocido como el factor clave para sostener la biodiversidad, la integridad ecológica (lo que puede asimilarse a un buen estado de “salud” de los ecosistemas) y los servicios ecosistémicos fluviales. Consecuentemente, las alteraciones en el régimen hidrológico de grandes ríos pue-

den originar riesgos o aumentarlos, tanto para los ecosistemas como para los seres humanos (Puig *et al.*, 2016c).

La participación de la Dra. Alba Puig en la 2^o Conferencia Internacional sobre Grandes Ríos del Mundo (Manaos, 2014) contribuyó a visualizar la necesidad teórica y práctica de avanzar hacia la evaluación de alteraciones del régimen hidrológico. Esto nos motivó, como ecólogos acuáticos del Proyecto UBACYT, a abordar un arduo proceso de investigación sobre cambios en el régimen hidrológico del río Paraná Inferior, tema que evidenciaba un escaso conocimiento, a pesar de su relevancia ecológica y social para el Delta. El nuevo desafío representó una notable ampliación de escala, no solo espacial (cuenca del río Paraná), sino también temporal (se analizaron más de 40.000 datos diarios, abarcando más de una centuria) e, incluso, una ampliación disciplinar, por el involucramiento en el campo de la hidrología y, en menor grado, de la climatología, si bien, manteniendo nuestra visión ecológica. Para este objetivo, contamos con el invaluable aporte, fundamentalmente de datos de caudal, del Ing. Juan Borús, hidrólogo del Instituto Nacional del Agua (INA) responsable del Sistema de Alerta Hidrológica de la Cuenca del Plata.

Los ríos naturales se caracterizan por la variación temporal y espacial en la magnitud, frecuencia, duración, momento y tasa de cambio de sus caudales. Estas características fueron las que moldearon a escalas de tiempo evolutivo (milenios) los rasgos de las especies que los habitan, así como la estructura de sus procesos ecológicos y la productividad de sus comunidades acuáticas y ribereñas (Poff *et al.*, 1997). Para evaluar la mayoría de las respuestas ecológicas se considera apropiado analizar datos de caudal a una escala diaria.

Es bastante reciente el reconocimiento de que las series hidrológicas de muchos ríos no mantienen sus características históricas, sino que evidencian tendencias a lo largo del tiempo o bien, períodos diferentes (delimitados por puntos de cambio). Por otra parte, hay un interés creciente en distinguir los efectos de la variabilidad climática con respecto a efectos antrópicos, en particular, los ocasionados por las represas. Los análisis mencionados se dificultan en grandes sistemas fluviales, como en el caso del Paraná que presenta variabilidad hidrológica a distintas escalas de tiempo, cambios en el uso del suelo (como la deforestación) y numerosas represas en la alta cuenca, factores que podrían estar afectando a su relevante Delta, ubicado a más de 1000 km aguas abajo de la última represa.

El objetivo que nos propusimos fue cuantificar los cambios en los componentes claves del régimen hidrológico (magnitud, duración, mo-

mento, frecuencia y tasa de cambio de los eventos de caudal) al inicio del Paraná Inferior (unos 40 km aguas arriba del comienzo del Delta) en la serie de más de una centuria de caudales diarios (Puig *et al.*, 2016c).

III.b. Metodología

Luego de una intensa revisión de bibliografía y de métodos, seleccionamos estrategias y una metodología que incluyó lo más avanzado del estado del arte, detallada en Puig *et al.* (2016c).

Los Indicadores de Alteración Hidrológica (IHA, por su sigla en inglés) se encuentran entre los enfoques que fueron propuestos (Richter *et al.*, 1996) para el análisis de estos cambios. Como representan adecuadamente a los cinco componentes mencionados en el objetivo, se considera que proveen una primera evaluación del deterioro ecológico potencial. Posteriormente, se definieron los Componentes del Caudal Ambiental (EFC, por su sigla en inglés), que caracterizan a cinco eventos diferentes de caudal (extremadamente bajos, bajos, pulsos altos, pequeñas inundaciones y grandes inundaciones) considerados como ecológicamente relevantes en muchas regiones hidroclimáticas, lo que facilita encaminarse hacia la recomendación de caudales ambientales (Mathews y Richter, 2007). Ambos sistemas de indicadores se pueden aplicar tanto para comparar períodos diferenciados como para analizar tendencias.

El año hidrológico para el río Paraná abarca desde septiembre de un año hasta agosto del siguiente (se denomina por el último año). Dispusimos de la serie de datos diarios de caudal del río Paraná Inferior (sección Santa Fe-Paraná) a lo largo de más de una centuria (años hidrológicos 1903-1914) y de la serie de niveles hidrométricos diarios de San Pedro (1902-2014), sitio ubicado en el Delta medio (Fig. 2a), siendo ambas series provistas por el INA.

En nuestra investigación nos propusimos, en primer lugar, detectar si esta serie presentaba puntos de cambio o tendencias con significación estadística, como una base formal para elegir la estrategia de aplicación de los IHA/EFC, mencionados más arriba, y, luego, emplearlos para cuantificar cambios en los componentes del régimen hidrológico.

Para la detección de puntos de cambio aplicamos, además del test usado tradicionalmente por los hidrólogos (que solo detecta un punto en una serie univariada), un método desarrollado recientemente (disponible en el software R) que permite identificar jerárquicamente más de un punto de cambio en una serie multivariada, que en nuestro caso compusimos con una selección de siete indicadores de alteración que

consideramos como básicos. Luego, testeamos la presencia de tendencia significativa en cada período identificado de la serie.

A continuación, aplicamos, por primera vez en un río de nuestro país, el sistema de Indicadores de Alteración Hidrológica y de Componentes de Caudal Ecológico mediante el software específico provisto por The Nature Conservancy (TNC, 2011).

Además, incorporamos innovaciones metodológicas, aplicando variado software específico gratuito, principalmente en R, y algunos índices. Adicionalmente a lo provisto por el *software* de TNC, testeamos diferencias entre pares de períodos en tendencia central (mediana, en general) y en variabilidad de cada indicador.

Para cuantificar la estacionalidad de los caudales mensuales, aplicamos un índice propuesto recientemente que estima el grado de concentración dentro del año, considerando a los caudales mensuales como ángulos. De modo similar, para el análisis cuantitativo de fechas de caudal máximo y de caudal mínimo, en vez de la corrección parcial calculada por el software de TNC, recurrimos a lo correcto, que consiste en aplicar estadística circular, asimilando los días del año a los 360° de un círculo y analizando como ángulos a las fechas julianas (numeradas desde 1 para el primer día del año hasta 366 para el último), a fin de obtener su media y su varianza circular. Estimamos el potencial de alteración del conjunto de embalses ubicados aguas arriba (Fig. 1d) para regular el caudal fluvial del río Paraná mediante un índice (volumen de agua acumulable en los embalses en proporción al caudal anual del río).

Como una primera aproximación al efecto de este conjunto de embalses, obtuvimos datos para la zona de la última represa (Yacyretá, Argentina-Paraguay, Fig. 1d) tanto de caudales “reconstruidos” (valores generados en Brasil, eliminando el efecto de la regulación por represas, evaporación por represas, usos que consumen agua y desvíos de agua, a los que el hidrólogo del INA sumó el aporte estimado de agua que recibe en el tramo hasta Yacyretá), como de los caudales regulados (provistos por el INA) durante 15 años hidrológicos del presente siglo (2000-2014) y los graficamos a escala mensual y diaria.

Complementariamente, considerando el Delta medio, estimamos para cada período en San Pedro (Fig. 2a) el número de días que el río excedió el nivel hidrométrico de alerta (3 m), lo que afecta los *albardones* de la mayoría de las islas, y el número de días en que excedió el nivel de evacuación (3.6 m), lo que genera, además, afectación urbana.

III.c. Resultados y conclusiones

En la larga serie de caudales diarios del río Paraná Inferior identificamos dos puntos de cambio muy significativos: el primero en los 70 tempranos y el segundo al inicio de este siglo. Para el primer punto de cambio, la estimación del volumen de agua acumulado en todas las represas aguas arriba, expresado como una proporción del caudal anual del río (un 10%), indica un potencial bastante bajo de alteración hidrológica. En cambio, para el último año analizado (2014) esa proporción superó la mitad del caudal del río (60%), lo que indica un alto potencial de alteración. En consecuencia, distinguimos un período que denominamos “histórico” (1903-1972) y otro relativamente alterado, subdividido en dos períodos de características contrastantes, a los que denominamos: “húmedo” (1973-1999) y “seco” (2000-2014). Ninguno de estos tres períodos evidenció alguna tendencia significativa.

El contraste entre ambos períodos alterados (húmedo y seco) nos permitió distinguir cambios más transitorios, asociables con los rasgos climáticos propios de cada uno (por ejemplo, la frecuencia de las grandes inundaciones se cuadruplicó en el período húmedo), de otros más persistentes, asociables a cambios antrópicos más permanentes, como posibles efectos de represas.

Los cambios más evidentes en ambos períodos alterados fueron la pérdida de los caudales extremadamente bajos (el 10% inferior de los caudales), la atenuación de la estacionalidad mensual del caudal a menos de la mitad y el aumento en la variabilidad de las fechas de caudal máximo y mínimo. En el período seco aumentaron las reversas (cantidad de veces en un lapso que cambia el sentido del caudal: en aumento o disminución).

Estos cambios son ecológicamente relevantes, pudiendo facilitar la proliferación de especies invasoras (por la falta del componente extremo de caudal) y afectar la sincronía de los ciclos biológicos (por la estacionalidad reducida y la fuerte variabilidad en las fechas de los caudales extremos).

Las alteraciones que detectamos son consistentes con la regulación del caudal ejercida a escala diaria y mensual por el conjunto de represas en la alta cuenca, de acuerdo con lo observado en gráficos comparativos a ambas escalas de datos de caudales “reconstruidos” y regulados disponibles para el período seco. El aumento de las reversas refleja el incremento de represas de paso diario, especialmente en este último período.

Resulta relevante haber detectado en el régimen hidrológico del Delta efectos transfronterizos, ya que la alta cuenca del Paraná es la

región de Brasil con mayor número de represas, fuerte deforestación y mayor influencia de los factores macroclimáticos, como la lluvia, sobre el caudal del río.

En San Pedro, la proporción entre los días que excedieron el nivel de evacuación y los días que excedieron el de alerta se duplicó en el período húmedo con respecto al período histórico y mostró apenas un leve descenso en el período seco subsiguiente. Este cambio evidencia que, incluso en el período seco actual, pueden llegar al Delta eventos abruptos, como ondas de inundación poco atenuadas, con intenso efecto, aumentando el riesgo de daño, especialmente para los habitantes del delta.

Hacia el final del Proyecto, comenzamos a avanzar hacia la distinción cuantitativa de los efectos del conjunto de todas las represas de la alta cuenca del Paraná, de aquellos originados por variabilidad climática o cambios en uso del suelo, comparando los ya mencionados caudales diarios (más de 10.000 datos) regulados con los “reconstruidos” (sin efecto de represas ni desvíos de agua) de este gran río en la zona de la última represa (Yacyretá).

Las investigaciones realizadas y en marcha sobre el régimen hidrológico y la influencia de las represas revisten carácter fundante, al proveer, mediante rigurosos análisis, bases cuantitativas sólidas, no solo para los responsables de la gestión, sino también para facilitar a otros investigadores el análisis de cambios asociados a la alteración del régimen hidrológico, por ejemplo, en morfodinámica fluvial, sedimentos en suspensión, calidad del agua y variados aspectos biológicos en la cuenca de este gran río.

Posteriormente, motivados por la experiencia obtenida en este trabajo y por la invitación a contribuir a un número especial de la *Revista Jurídica de Buenos Aires*, elaboramos un extenso artículo sobre la relevancia del régimen hidrológico fluvial, sus alteraciones, y los caudales ambientales, publicado en 2016 (disponible online) para facilitar la transferencia a países de la temática, en primer lugar, hacia el ámbito jurídico.

En este artículo en español (Puig *et al.*, 2016a), sintetizamos bases y argumentos de bibliografía de los mejores especialistas mundiales, principalmente ecólogos, sobre un tema tratado con aproximaciones simplistas en varios países sudamericanos, incluso en la gestión integrada de recursos hídricos. Pahl-Wostl *et al.* (2012) muestran que los marcos jurídicos innovadores son una condición necesaria, pero no suficiente para abordar con eficacia los problemas de gestión relacionados con el agua. La definición de caudal ambiental de la Declaración

de Brisbane de 2007, que incluye la cantidad, momento y calidad del agua considerando tanto a los ecosistemas como a la población que depende de ellos, es la mayormente adoptada en la actualidad. De una revisión (Sánchez Navarro y Martínez Fernández, 2007) sobre la interesante experiencia en España, con numerosos embalses y nueva normativa moderna, destacamos valiosos principios para pautar caudales ambientales. En nuestra síntesis resaltamos criterios como reservar agua para el funcionamiento del ecosistema y considerar si los caudales evidencian puntos de cambio o tendencias (tanto para pautar como para controlar caudales ambientales). Con respecto a los métodos, como los indicadores que utilizamos (IHA y EFC) reflejan el deterioro ecológico potencial, concordamos con la recomendación de los autores españoles mencionados de aplicarlos a las cuencas del país, como un primer paso que permita pautar medidas precautorias, y reservar los métodos a nivel de tramo de río, que requieren más tiempo y costos, para zonas donde se requiera refinar el análisis.

IV. Transferencia

Como se mencionó, las investigaciones desarrolladas derivaron en la elaboración de dos relevantes artículos científicos (Puig *et al.*, 2016b, c) publicados en una prestigiosa revista europea (*Environmental Science and Pollution Research*), luego de rigurosos referatos. Ambos trabajos son complementarios entre sí, dado que en uno enfatizamos el análisis cuantitativo de la calidad del agua en la Reserva Delta (incluyendo la consideración de las condiciones hidrológicas dominantes) y en el otro, el análisis cuantitativo de los cambios del régimen hidrológico del Paraná Inferior (incluyendo la consideración de señales de riesgo en los cursos de la Reserva).

También mencionamos la elaboración posterior de un extenso artículo (Puig *et al.*, 2016a) sobre alteraciones del régimen hidrológico fluvial y caudales ambientales, publicado en la Revista Jurídica de Buenos Aires (disponible *online*) para la transferencia de la temática.

Estos trabajos fueron requeridos, por ejemplo, por profesionales dedicados a asuntos de recursos acuáticos, de biodiversidad y de gestión del agua y ecosistemas acuáticos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. La Dra. Puig integró en 2017 el ‘Grupo Asesor sobre Bioindicadores’ de la Mesa de Trabajo “Aspectos Técnicos de la Calidad de Aguas Superficiales” en el marco del proceso de Reglamentación de la Ley de Régimen de Gestión Ambiental de Aguas (Ley 25.688, art. 7 y otros), para la Dirección de Gestión Ambiental de Recursos Hídricos y Acuáticos, del mismo Ministerio (actualmente,

Secretaría). En este contexto, aportó también trabajos sobre enfoque múltiple para evaluar contaminación acuática y sobre bioindicadores, que fueron oportunamente solicitados.

Relatamos el trabajo sobre calidad del agua de los cursos de la Reserva de un modo más ampliamente comprensible, para facilitar una transferencia más amplia a nivel universitario, en el capítulo respectivo del libro editado por EUDEBA (Puig y Olguín Salinas, 2018).

El trabajo sobre cambios en el régimen hidrológico del río Paraná Inferior fue expuesto en disertaciones a nivel internacional en el I Congreso Iberoamericano de Limnología (Valdivia, 2016) y el III Taller Internacional sobre Gobernanza del Agua (Buenos Aires, 2016), organizado junto con la Universidade Regional Integrada de Santo Ângelo (Brasil), causando alto impacto.

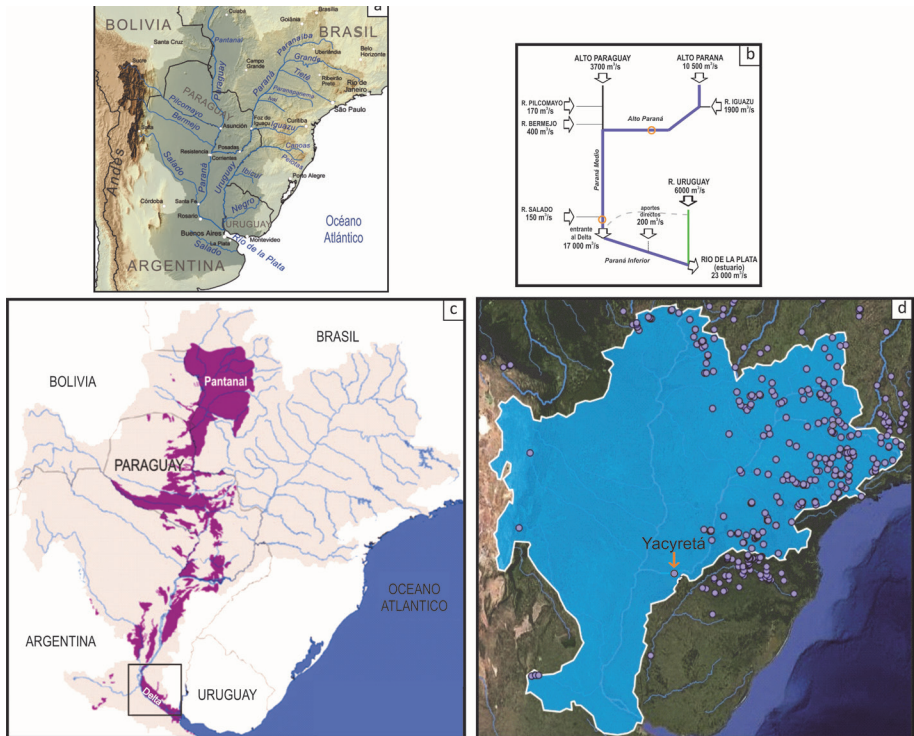


Figura 1. a) imagen de la Cuenca del Plata, b) diagrama de sus ríos principales (R. Uruguay en verde, R. Paraná en azul, y principales afluentes del Paraná en negro) con su caudal medio (elaborado por el Ing. J. Borús), c) mapa de la Cuenca del río Paraná con sus principales ríos (azul) y humedales (violeta), d) embalses (círculos) en esta cuenca, donde se destaca Yacyretá (GrandBase e International Rivers).

La problemática y los resultados parciales obtenidos del análisis cuantitativo iniciado sobre la regulación ejercida por el conjunto de re-

presas de la alta cuenca del río Paraná se expusieron, como charla de apertura de una sesión especial sobre efectos de represas, en el marco de una Conferencia Científica (Río de Janeiro, 2017) del Programa HyBAm (liderado por l'Institut de Recherche pour le Developement, Francia, e instituciones de las cuencas del Amazonas, Orinoco y Congo), reflejándose el interés y la valoración generados en este ámbito de primer nivel en las numerosas preguntas y reflexiones posteriores de los expertos allí reunido

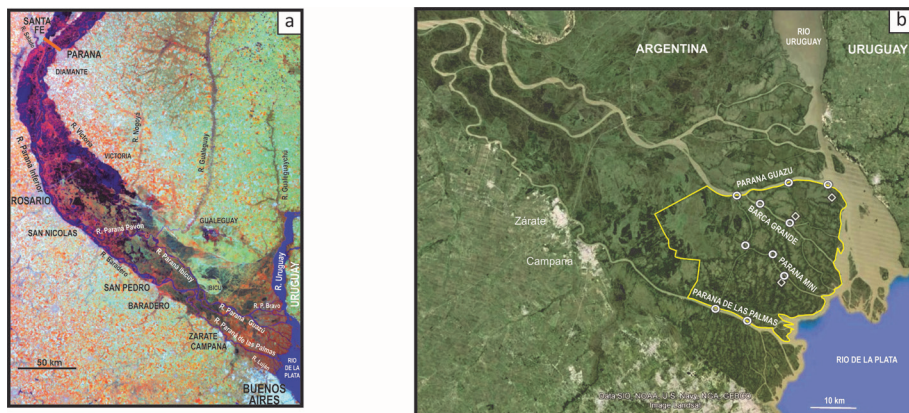


Figura 2. a) imagen del río Paraná Inferior (al sur de la confluencia con el río Salado, cerca de las ciudades de Santa Fe y Paraná), incluyendo la región del Delta (al sur de la ciudad de Diamante), localidades y ríos principales. La línea naranja indica la sección cuyos datos de caudal analizamos, b) bajo Delta, incluyendo la Reserva de Biósfera “Delta del Paraná” (delimitada con línea amarilla) con los sitios de muestreo en los cuatro grandes ríos (círculos) y en arroyos seleccionados (rombos).

Bibliografía

- Andrade Pérez, A. (ed.), *Aplicación del Enfoque Ecosistémico en Latinoamérica*, Bogotá, CEM - UICN, 2007.
- Baigún, C. R. M.; A. Puig; P. G. Minotti; P. Kandus; R. Quintana; R. Vicari; R. Bo; N. O. Oldani y J. A. Nestler, “Resource use in the Parana River Delta (Argentina): moving away from an ecohydrological approach?”, *Ecohydrology and Hydrobiology* 8 (2-4), 2008, 77-94.
- Baron, J. S.; N. L. Poff; P. L. Angermeier; C. Dahm; P. H. Gleick; N. G. Hairston; R. B. Jackson; C. A. Johnston; B. G. Richter y A. D. Steinman, “Sustaining healthy freshwater ecosystems”, *Water Resources Update*, 127, 2004, 52-58.
- Capaldo, G.; J. Echaide; M. Vigevano; A. Puig; C. Minaverry; M. Biagi; M. Ferro; H. Olguín; K. Carvallo; C. Mantecón y M. Castillo, *Sustentabilidad y gobernabilidad del agua en ecosistemas. Análisis de gestión en el ámbito de América del Sur*. 5º Foro Mundial de Derechos Humanos: “Desarrollo sostenible / Derechos humanos: ¿un mismo combate?”. Nantes, Francia, 22-

- 25 de mayo de 2013. Trabajo *online* aceptado por el Comité Científico: 21 pp. 2013.
- R Core Team, “R: a language and environment for statistical computing”. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2015, <https://www.R-project.org>.
- Imhoff, R. R.; P. Koppe y E. A. Nusch, *Toxic Substances Management Principles derived from the Experience with Water Quality Management in the Ruhr River Basin*, 127-159, En: S. Matsui (ed.), *Guidelines of Lake Management*, Vol. 4: Toxic Substances Management in Lakes and Reservoirs, UNEP/ILEC, 1992.
- Junk, W. J., “Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change”, *Aquatic Sciences* 75 (1), 2013, 113-131.
- Khan, S. J.; D. Deere; F. D. Leusch; A. Humpage; M. Jenkins y D. Cunliffe, “Extreme weather events: should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles?”, *Water Res.* 85, 2015, 124–136.
- Mathews R. y B. D. Richter, “Application of the indicators of hydrologic alteration software in environmental flow setting”, *J. Am. Water Resour. As.* 43, 2007, 1400-1413.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment), *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*, Washington, World Resources Institute, 2005.
- Neiff, J. J., *El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica*, En: A. I. Malvárez y P. Kandus (Eds.), *Tópicos sobre Humedales Subtropicales y Templados de América*, Montevideo, UNESCO, 1999.
- Otero, M. A. y A. I. Malvárez (eds.), *Documento Base para la incorporación de las islas de San Fernando en el marco de la Red Mundial de Reservas de Biósfera MaB-UNESCO*, Municipalidad de San Fernando y FCEN, UBA, 2000.
- Pahl-Wostl, C.; L. Lebel, C.; Knieper y E. Nikitina, “From applying panaceas to mastering complexity: toward adaptive water governance in river basins”, *Environmental Science and Policy*, 23, 2012, 24-34.
- Peterson, E. E.; J. M. Ver Hoef; D. J. IsaakM; J. A. Falke; M. J. Fortin; C. E. Jordan; K. McNyset; P. Monestiez; A.S. Ruesch; A. Sengupta; N. Som; E. A. Steel; D. M. Theobald; C. E. Torgersen y S. J. Wenger, “Modelling dendritic ecological networks in space: an integrated network perspective”, *Ecology letters*, 16(5), 2013, 707-719.
- Poff, N. L.; J. D. Allan; M. B. Bain; J. R. Karr; K. L. Prestegard; B. D. Richter; R. E. Sparks y J. C. Stromberg, “The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration”, *Bioscience* 47, 1997, 769-784.
- Puig, A.; J. Borús y H. F. Olguín Salinas, *El agua del Bajo Delta Insular en el marco regional*, 55-65, En: R. D. Quintana, M. V. Villar, E. Astrada, P. Saccone y S. M. Malzof (eds.), “El patrimonio natural y cultural del Bajo Delta Insular del río Paraná. Bases para su conservación y uso sostenible”, *Convención Internacional sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), Programa Humedales para el Futuro*, Buenos Aires, Ed. Aprelenda, 2011.
- Puig, A. y H. F. Olguín Salinas, *Evaluaciones ecohidrológicas en cursos de la Reserva de Biósfera “Delta del Paraná” en dos años hidrológicos extremos*, 239-278, En: G. D. Capaldo (comp.), *Gestión sostenible del agua en eco-*

- sistemas. Una visión jurídica, sociológica y ecohidrológica*, Buenos Aires, Eudeba, 2018.
- Puig, A.; H. F. Olguin Salinas y A. Castro, "Alteraciones del régimen hidrológico fluvial y consideraciones sobre caudales ambientales", *Revista Jurídica de Buenos Aires* 2016 I, "Derecho de Aguas y Derecho Ambiental", Depto. de Publicaciones, Facultad de Derecho, UBA, AbeledoPerrot, 2016a, 91-123.
- Puig, A.; H. F. Olguin Salinas y J. A. Borús, "Relevance of the Paraná River hydrology on the fluvial water quality of the Delta Biosphere Reserve", *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23(12), 2016b, 11430-11447.
- Puig, A.; H. F. Olguin Salinas y J. A. Borús, "Recent changes (1973-2014 versus 1903-1972) in the flow regime of the Lower Paraná River and current fluvial pollution warnings in its Delta Biosphere Reserve". *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23(12), 2016c, 11471-11492.
- Ramsar (Convención sobre Humedales), *Lineamientos para elaborar y aplicar políticas nacionales de humedales* (Resolución VII.6, Anexo), 1999.
- Richter, B. D.; J. V. Baumgartner; J. Powell y D. P. Braun, "A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems", *Conserv. Biol.* 10, 1996, 1163-1174.
- RIOC/GWP, *Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas*, Estambul, 2009.
- Salvia, M.; D. Ceballos; F. Grings; H. Karszenbaum y P. Kandus, "Postfire effects in wetland environment: landscape assessment of plant coverage and soil recovery in the Paraná River Delta marshes, Argentina", *Fire Ecol.* 8, 2012, 17-37.
- Sánchez Navarro, R. y J. Martínez Fernández, *Los caudales ambientales: Diagnóstico y perspectivas*, Conferencia: Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas, Fundación Nueva Cultura del Agua, Convenio Universidad de Sevilla-Ministerio de Medio Ambiente, 2007
- TNC (The Nature Conservancy), *User's manual for the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) software version 7.1*, 2011, <http://conserveonline.org/workspaces/iha>
- UNEP/CBD, *The Ecosystem Approach*, Decision V/6, Decisions adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, COP 5, Nairobi 15-26 May, 2000.
- Wiens, J. A., "Riverine landscape: tacking landscape ecology into the water", *Fresh. Biol.* 47, 2002, 501-515.
- Zalewski, M.; G. A. Janaver y G. Jolánkai (eds.), *Ecohydrology. A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources*, París, UNESCO IHP, 1997.