



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

Oficina Regional de Ciencia para
América Latina y el Caribe



Programa
Hidrológico
Internacional

Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay

Autores:

Viveka Sabaj
Lorena Rodríguez-Gallego
Christian Chreties
Magdalena Crisci
Marianela Fernández
Noelia Colombo
Bibiana Lanzilotta
Matilde Saravia
Carolina Neme
Daniel Conde

phi - LAC
Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO
para América Latina y el Caribe

PHI-VIII / Documento Técnico N° 34





Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe



Programa Hidrológico Internacional

Qué son los Caudales ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay

PHI-VIII / Documento Técnico N° 34.



Publicado en el 2014 por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)

ISBN 978-92-9089-194-9 Documento Técnico N° 34: Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay

© UNESCO 2014

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figura no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, no en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de UNESCO, MVOTMA y PNUMA

Se autoriza la reproducción, a condición de que la fuente se mencione en forma apropiada, y se envíe copia a la dirección abajo citada. Este documento debe citarse como:

UNESCO, 2014. Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay.

Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 34

Dentro del límite de la disponibilidad, copias gratuitas de esta publicación pueden ser solicitadas a:

Programa Hidrológico Internacional para
América Latina y el Caribe (PHI-LAC)
Oficina Regional de Ciencia para América
Latina y el Caribe
UNESCO
Dr. Luis P. Piera 1992, 2º piso
11200 Montevideo, Uruguay
Tel.: (598) 2413 2075
Fax: (598) 2413 2094
E-mail: phi@unesco.org.uy
<http://www.unesco.org.uy/phi>

Agradecimientos

El presente trabajo es una síntesis de los principales resultados del proyecto “Servicio de Consultoría y Asistencia Técnica para el fortalecimiento del concepto de Caudales Ambientales como Herramienta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)”, desarrollado por Vida Silvestre Uruguay, financiado por PNUMA y apoyado por UNESCO y el Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático (DINAMA-MVOTMA). El trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto K (Vulnerabilidad y Sostenibilidad Ambiental a Nivel Territorial) y promovió el fortalecimiento y apropiación del concepto de caudales ambientales como herramienta de GIRH, mediante la conformación de un equipo interdisciplinario que utilizó metodologías de estimación de caudales ambientales ajustadas a un caso de estudio y con participación de actores involucrados en la temática. El contenido de esta publicación se basa en el informe de Rodríguez-Gallego et al. (2011).

Queremos agradecer el apoyo de Naciones Unidas en especial de Diego Martino y Zelmira May. También a Rodolfo Chao de DINAGUA, Valeria Pérez, Luis Reolón, Gabriel Yorda y Lizet De León de DINAMA por su participación activa en las instancias de discusión. A Gabriel Oyhantçabal, Daniel de Álava y Eleonora Leitch por sus aportes en varias instancias del trabajo. A Michael McClain de UNESCO-IHE Institute for Water Education, Holanda, por la revisión crítica del documento. A Gabriela Jorge por su apoyo en salida de campo y la participación en las instancias de trabajo. A Marcelo Loureiro, Franco Teixeira de Mello y Alicia Acuña por su colaboración en la construcción de las curvas de preferencia de hábitat de peces. A los entrevistados y participantes del Taller de Devolución de los Resultados por su colaboración. A los compañeros de Vida Silvestre Uruguay por su apoyo.

Autores

Viveka Sabaj	Vida Silvestre Uruguay; Sección Limnología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República (UdelaR).
Lorena Rodríguez-Gallego	Vida Silvestre Uruguay; Polo de Desarrollo Universitario (PDU) Ecología Funcional Acuática, Centro Universitario de la Regional Este (CURE), Universidad de la República.
Christian Chreties	Facultad de Ingeniería, UdelaR.
Magdalena Crisci	Facultad de Ingeniería, UdelaR.
Marianela Fernández	Vida Silvestre Uruguay.
Noelia Colombo	Vida Silvestre Uruguay.
Bibiana Lanzilotta	Centro de Investigaciones Económicas (CINVE).
Matilde Saravia	Vida Silvestre Uruguay.
Carolina Neme	Vida Silvestre Uruguay.
Daniel Conde	Sección Limnología, Facultad de Ciencias, UdelaR. PDU Ecología Funcional Acuática, CURE, UdelaR. Centro Interdisciplinario de Manejo Costero Integrado (CURE/Espacio Interdisciplinario), UdelaR.

Índice

1. El agua y su gestión	5
2. El concepto de caudales ambientales.....	7
¿Qué son los caudales ambientales?.....	7
¿Cuáles son las metodologías para estimar caudales ambientales?.....	9
¿Cuál es el marco normativo para la incorporación de caudales ambientales en Uruguay?	10
¿Qué opinan los actores institucionales involucrados de la integración de caudales ambientales a la GIRH?	12
Una definición de caudales ambientales acorde a Uruguay	13
3. Experiencia piloto de aplicación de caudales ambientales.....	14
La cuenca del Arroyo Maldonado	14
Aplicación de los métodos hidrológicos de estimación de caudales ambientales.....	16
Aplicación de la metodología eco-hidráulica	18
Aplicación de la metodología holística	20
4. Elementos para una estrategia de incorporación de caudales ambientales a la GIRH en Uruguay	22
¿Dónde enfocar esfuerzos?.....	22
¿Qué debemos tener en cuenta para aplicar caudales ambientales?.....	22
Reflexiones finales	26
Bibliografía.....	27

1. El agua y su gestión

El **agua** es esencial para la vida en el planeta. Muchas de nuestras actividades dependen de este recurso finito y vulnerable que utilizamos a diario, el cual también se usa en diversas actividades como la industria, la producción agrícola, la generación de energía hidroeléctrica, el abastecimiento de agua para consumo y la recreación. Los ecosistemas y la biodiversidad también dependen del agua para su adecuado funcionamiento y supervivencia.

El agua dulce representa sólo 2.6 % del agua disponible en el planeta y se encuentra mayoritariamente en reservorios de glaciares (76 %) y subterráneos (23 %). Solamente 0.3 % está disponible en ecosistemas acuáticos superficiales (Kalff 2001) y de esta cantidad tres cuartas partes es utilizada por la sociedad. La agricultura consume 76 % del agua dulce, la industria el 15 % y el uso doméstico el 9 %. Sin embargo, un tercio de la población mundial está afectada por escasez de agua. A esto se suma el deterioro de su calidad por diferentes fuentes de contaminación (Carpenter et al. 2011). En 2010, el 89 % de la población mundial consumía agua potable, con disparidad entre regiones y especialmente entre zonas rurales y urbanas (UNICEF-WHO 2012).

El uso excesivo de los recursos hídricos y el deterioro de los ecosistemas acuáticos (ríos, arroyos, lagunas y humedales) limitan la disponibilidad y la calidad del agua. Asimismo, generan tensiones y conflictos entre usuarios y con el mantenimiento de ecosistemas funcionales.

El agua cicla en el planeta en un sistema cerrado entre la atmósfera, la biósfera, el continente y los océanos, denominado **ciclo hidrológico** (Cuadro 1). En dicho ciclo existe una elevada interdependencia entre los subsistemas antes mencionados, así como también entre los diferentes usos del agua que ocurren en la **cuenca hidrográfica**.

Cuenca hidrográfica – territorio delimitado por su topografía a partir de la divisoria de aguas, cuya escorrentía superficial (de lluvias, surgencias o derretimiento de nieves) fluye hacia un cuerpo de agua receptor hasta desembocar en otro cuerpo de agua (generalmente el mar). Incluye a los cursos de agua, lagos u otros sistemas acuáticos, así como a los ecosistemas terrestres y actividades humanas que ocurran en dicho territorio.

Para gestionar el agua resulta indispensable integrar aspectos sociales, económicos, políticos, ecológicos e hidrológicos, de forma de asegurar su **uso sustentable** a largo plazo. La **Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)** promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua y la cuenca asociada, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas (GWP 2000). Este enfoque involucra a la sociedad y a los diferentes intereses, buscando prevenir y resolver conflictos entre usuarios por la demanda de agua.

Para abordar la problemática mundial del uso excesivo de los recursos hídricos y el deterioro de los ecosistemas acuáticos se utilizan los **caudales ambientales** como herramienta de la GIRH (Dyson et al. 2003). Actualmente, se reconocen a los caudales ambientales como esenciales para la salud de los ecosistemas y el bienestar humano, lo que ha sido mundialmente reconocido a través de la Conferencia de Brisbane, realizada en Australia en 2007. La aplicación de caudales ambientales requiere de un involucramiento social, un marco institucional y normativo, así como de políticas claras y efectivas.

Cuadro 1. Ciclo hidrológico



Fuente: USGS

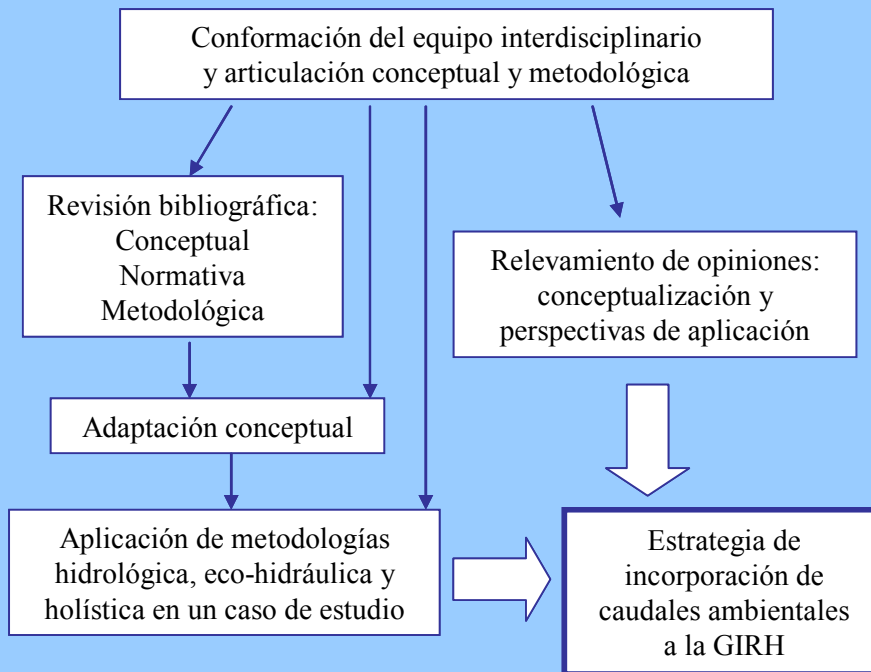
El flujo de agua en el ciclo hidrológico abarca la evaporación del agua desde el océano y la superficie terrestre hacia la atmósfera, de donde precipita hacia éstos nuevamente en forma de lluvia o nieve. En la superficie terrestre se deposita formando glaciares, se infiltra en el suelo y rocas alimentando las reservas de agua subterráneas (acuíferos) o se transporta por escurrimiento alcanzando cursos de agua que finalmente desembocan en el océano. Parte del agua vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración de la vegetación. La sociedad utiliza el agua en diferentes etapas del ciclo hidrológico en su fase líquida, ya sea removiendo, desviando o embalsando agua o alterando el ciclado de forma indirecta a través de la alteración de la vegetación.

Uruguay no escapa a la tendencia mundial de la creciente demanda de agua para usos socio-productivos y del consecuente deterioro de su calidad (GEO Uruguay 2008). Por esto, es necesario tener políticas claras y efectivas de gestión integrada de recursos hídricos e incorporar a las mismas herramientas que permitan fijar criterios cuantitativos de uso de agua que aseguren el cumplimiento tanto del bienestar humano como del mantenimiento de los ecosistemas.

Este trabajo discute interdisciplinariamente la aplicación de caudales ambientales en Uruguay, y se exploran tres metodologías de estimación de caudales ambientales aplicados a un caso de estudio, identificándose desafíos y oportunidades para la implementación de caudales ambientales como herramienta de la GIRH. La estrategia de trabajo se presenta en el Cuadro 2.

El volumen de agua que fluye por unidad de tiempo en el canal principal de un río representa el **caudal**. El valor del caudal suele ser muy variable en el tiempo y puede alcanzar extremos que ocurren en eventos de inundación o de sequía. La variabilidad del caudal influye en las actividades humanas, afectando la disponibilidad de agua para riego, potabilización, navegación, recreación, etc. El **paradigma del régimen hidrológico natural** (Cuadro 3) plantea que dicha variabilidad es fundamental para sostener la biodiversidad y la integridad de los ecosistemas acuáticos (Poff *et al.* 1997).

Cuadro 2. Estrategia de trabajo



Se trabajó en un equipo interdisciplinario integrado por ecólogos, ingenieros hidráulicos, abogados, economista, sociólogos y profesionales de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA), de la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), contando además con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), lo cual permitió integrar las percepciones desde la gestión en todas las etapas del trabajo. Se integraron además aportes desde la agronomía, geomorfología y ordenamiento territorial.

Se comenzó con la discusión de las bases teóricas y metodológicas de cada disciplina, las que se articularon en un abordaje común. Se revisó la bibliografía sobre caudales ambientales abarcando el concepto, la normativa nacional e internacional y las metodologías de estimación. Se realizó un relevamiento de las opiniones de los actores de instituciones relacionadas sobre la conceptualización de caudales ambientales y sobre las perspectivas de aplicación a nivel nacional y local (para un caso de estudio).

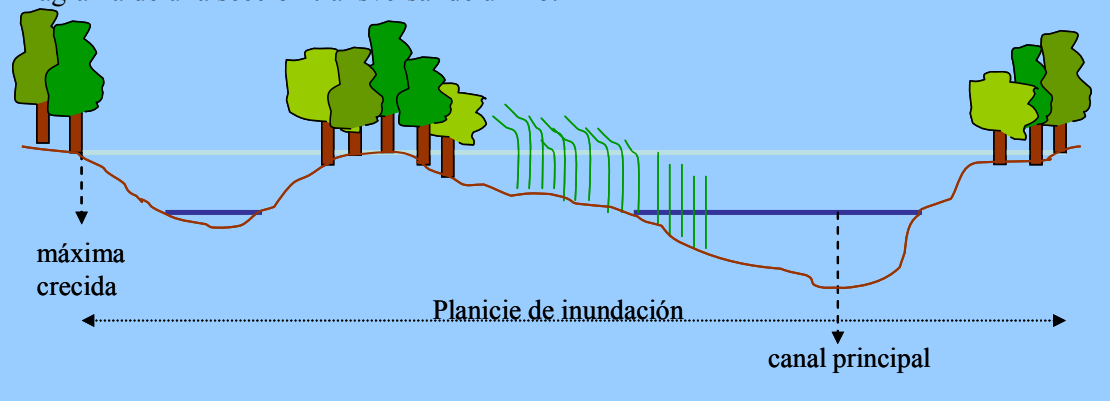
La conceptualización y adaptación del término caudales ambientales al país se realizó en base a lecturas de bibliografía especializada y a talleres de discusión interdisciplinaria.

Simultáneamente, se realizó una aplicación rápida de tres tipos de metodologías de determinación de caudales ambientales (hidrológica, eco-hidráulica y holística) al Arroyo Maldonado como caso de estudio. Finalmente, se identificaron los desafíos y oportunidades para la implementación de caudales ambientales como herramienta para la GIRH en Uruguay.

Cuadro 3. Paradigma del régimen hidrológico natural

Actualmente se reconoce que el funcionamiento natural e integral del sistema fluvial depende de una gran cantidad de variables, determinadas en gran medida por el régimen hidrológico, que modelan el hábitat de las especies y controlan los procesos ecosistémicos. El río ya no es entendido como un mero transportador de agua medida en término de caudales. Se asume la planicie de inundación como parte integral y estructural del río, y por tanto, el régimen de crecidas y sequías se vuelve esencial. El paradigma del régimen hidrológico natural plantea que para que un río se mantenga sano, resiliente y productivo hay que manejarlo dentro de su rango de variabilidad hidrológica natural (Richter *et al.* 1997, Poff *et al.* 1997). En este sentido, no basta con fijar un único valor de caudal mínimo que debe ser mantenido en el río, sino que también debe considerarse su régimen de variación interanual e incluso espacial.

Diagrama de una sección transversal de un río:



El **caudal ambiental** establece cuánto del régimen hidrológico natural de un río debería seguir fluyendo aguas abajo y hacia la planicie de inundación para mantener los valores característicos del ecosistema (Tharme 2003).

En un comienzo, la aplicación de caudales ambientales surgió por la necesidad de establecer límites de extracción de agua en ríos con el fin de que mantuvieran la capacidad de dilución y evitaran niveles de contaminación inadmisibles. Posteriormente se consideró la cantidad de agua que debía permanecer en los ríos para mantener poblaciones de peces de interés comercial (caudales ecológicos). Actualmente, también se busca conservar los servicios ecosistémicos, entendidos como los beneficios que proveen los ecosistemas a los seres humanos, contribuyendo a su bienestar (Alcamo & Bennett 2003). De esta manera, el concepto de caudales ambientales plantea específicamente el interés de **sostener los ecosistemas y el bienestar humano** que depende de estos (Conferencia de Brisbane 2007).

Los caudales ambientales como herramienta de la GIRH (Dyson *et al.* 2003) aportan elementos para responder a algunas de las preguntas que surgen al abordar el uso sustentable de los recursos hídricos (Cuadro 4). Esta herramienta, además, contribuye a lograr las condiciones para generar una adecuada implementación de la normativa, debido a que requiere de **acuerdos entre usuarios** y de instancias de **participación social**. El desafío de determinar cuánto del régimen hidrológico puede ser alterado sin comprometer la salud y los servicios de los ecosistemas implica establecer límites de sustentabilidad en un marco de **decisión tanto socio-político como científico** (Poff *et al.* 2011).

Cuadro 4. Aplicaciones de caudales ambientales como herramienta de la GIRH

- ¿Cuánta cantidad de agua se puede extraer del ecosistema sin provocar una degradación inaceptable?
- ¿En qué momento del año se puede extraer agua?
- ¿Cuánta cantidad del flujo original se debería reincorporar a un río altamente modificado y con alta extracción de agua para que recupere un funcionamiento saludable?

¿Cuáles son las metodologías para estimar caudales ambientales?

La aplicación de metodologías de estimación de caudales ambientales surge por la necesidad de establecer límites para la alteración del régimen hidrológico, de forma que la cantidad de agua sea suficiente ya sea para mantener los diversos usos del agua, cierta especie de importancia comercial o de interés para la conservación, o la integridad del ecosistema. Existen variadas metodologías de estimación de caudales ambientales que se pueden agrupar en métodos hidrológicos, hidráulicos, ecohidráulicos y holísticos. La elección del estimador dependerá del objetivo ambiental planteado para el sistema en donde se quiere aplicar dicha herramienta de gestión integrada.

Los **métodos hidrológicos** representan el abordaje más simple, menos costoso y más utilizado a nivel mundial. Estos se basan en el análisis de series temporales de los caudales de un curso de agua, datos que pueden obtenerse del registro histórico de estaciones de aforo o mediante modelación numérica hidrológica-hidrodinámica, entre otras formas. Estos métodos se pueden dividir en dos grupos: 1) los que establecen un único valor de caudal ambiental para todo el año o mes, y 2) los que establecen un régimen completo de caudales ambientales. Si bien son de menor costo, las relaciones entre los indicadores hidrológicos y ecológicos no han sido evaluadas. Los métodos de régimen completo de caudales proporcionan valores para cinco componentes del régimen hidrológico (magnitud, frecuencia, duración, momento y tasas de cambio de los diferentes caudales), los cuales son reconocidos como determinantes para la integridad ecológica de los sistemas fluviales (Lytle & Poff 2004).

Los **métodos hidráulicos** son similares a los anteriores pero incorporan parámetros hidráulicos como la velocidad y profundidad del agua y el perímetro mojado, etc. Los requerimientos mínimos de caudal se fijan generalmente como el punto de inflexión entre el incremento del caudal y del perímetro mojado o también fijando un porcentaje de hábitat a reservarse con un determinado valor de caudal. Los métodos hidrológicos e hidráulicos han sido desarrollados y aplicados por ingenieros. Los métodos hidráulicos no fueron aplicados en el presente trabajo.

Los **métodos eco-hidráulicos** determinan un valor de caudal ambiental integrando el análisis hidrodinámico del tramo del curso bajo estudio y los requerimientos o preferencias de las especies que caracterizan el ecosistema fluvial. Los primeros métodos eco-hidráulicos se aplicaron a especies de peces de interés comercial o de interés para la conservación. Actualmente, también se toma en cuenta la comunidad biológica (grupos de especies de un mismo sitio) y el mantenimiento de la integralidad del ecosistema. Estos métodos son replicables pero para su aplicación se requiere información de la topografía del curso de agua y de la ecología de las especies o comunidades que se quiere conservar, por lo que son más costosos. En general han sido desarrollados conjuntamente entre ingenieros y biólogos pesqueros.

Hace dos décadas se comenzaron a desarrollar **métodos holísticos**, que permiten determinar regímenes hidrológicos necesarios para mantener la integralidad del ecosistema, además de los usos sociales y productivos. Se basan en que el manejo debe contemplar todos los factores biológicos, abióticos, socioeconómicos y el espectro completo del régimen hidrológico, incluyendo tanto su variabilidad espacial como temporal. Por lo tanto, son esencialmente interdisciplinarios. Una de las metodologías holísticas más recientes y la elegida en este trabajo es DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation), la cual consiste en cuatro módulos: biofísico, sociológico, desarrollo de escenarios y económico (King *et al.* 2003). El módulo biofísico implica la descripción de los elementos naturales y el funcionamiento del río y establece las bases para predecir cambios relacionados a modificaciones del caudal. El módulo sociológico identifica la población en riesgo, describe los usos del río y los perfiles de salud, que contribuyen a predecir los impactos sociales de los cambios en el río. En base a esto, en el tercer módulo se identifican escenarios hidrológicos posibles y se describen las potenciales consecuencias biofísicas y sociales. Por último, el cuarto módulo calcula los costos de compensación y mitigación de los impactos en la población en riesgo para cada escenario. El resultado es una serie de escenarios descritos que pueden ser utilizados para la toma de decisión.

¿Cuál es el marco normativo para la incorporación de caudales ambientales en Uruguay?

Uruguay cuenta con un marco jurídico adecuado para incorporar el concepto de caudales ambientales a la gestión de los recursos hídricos nacionales y a aquellos compartidos con los países limítrofes. Del análisis de la normativa uruguaya surge una marcada tendencia a regular los recursos hídricos desde una óptica territorial y ecosistémica. En el Cuadro 5 se muestra la normativa nacional que trata específicamente o que hace referencia a los recursos hídricos, la GIRH, la regulación de los usos y el aprovechamiento, la calidad del recurso, y la función de la sociedad en la regulación y la gestión, entre otras. En este mismo sentido, las obligaciones mundiales y regionales asumidas por Uruguay a través de la ratificación de los tratados internacionales (Cuadro 5) que regulan los recursos hídricos refieren al uso sustentable y a la conservación del agua y del ambiente acuático, en los cuales la cuenca hidrográfica constituye la unidad de gestión.

La normativa nacional expresa claramente el interés de planificar, gestionar y controlar los recursos hídricos desde una dimensión ambiental. El recurso agua es reconocido en la Constitución de Uruguay como un elemento esencial para la vida y el acceso al agua potable y al saneamiento son considerados como derechos humanos fundamentales. También declara que la política nacional de aguas deberá basarse en el ordenamiento territorial, la protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza, y establece que la unidad básica de gestión deberá ser la cuenca hidrográfica. A su vez, plantea la participación activa de la sociedad civil en todas las etapas de planificación, gestión y control de recursos hídricos. La Ley 18.610 de Política Nacional de Aguas ratifica los principios constitucionales definiendo a la cuenca hidrográfica como la unidad de actuación para la GIRH y también para las políticas de descentralización, ordenamiento territorial y desarrollo sustentable. Se hace énfasis en la participación de la sociedad en las distintas etapas de formulación, implementación y evaluación de los planes y políticas del agua, y también se prevé una nueva institucionalidad que se

concreta en la formación de consejos regionales de recursos hídricos y comisiones de cuenca y acuíferos (Cuadro 6).

Cuadro 5. Normativa nacional referida al agua y tratados internacionales ratificados por Uruguay

Normativa	Propósito referido a recursos hídricos
Nacional	
Constitución de la República Oriental del Uruguay (con reforma 2004)	Protección del ambiente y del agua. Establece los aspectos básicos de la política nacional para la gestión del agua.
Código de Aguas (Dto 14.859/78 modificado por Ley 15.903 año 1987)	Conservación de la calidad del agua y regulación del uso. Establece criterios de uso del agua. Prohíbe la contaminación.
Contaminación (Dto 253/79)	Prevención de la contaminación en los cursos de aguas. Establece estándares de calidad de agua según su tipo de uso.
Evaluación de Impacto Ambiental (Ley 16.466 año 1994 y Dto 349/2005)	Establece un régimen nacional de evaluación de impacto ambiental. Dispone que las actividades realizadas dentro de la faja de defensa costera (construcción, explotación y regulación de recursos hídricos) deban presentar una autorización ambiental previa.
Protección del Medio Ambiente (Ley 17.283 año 2000)	Establece los principios de la política ambiental, con un enfoque de desarrollo sostenible (protección de la calidad del agua, conservación de la diversidad biológica, configuración y estructura de la costa, entre otros).
Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Ley 17.234 año 2000 y Dto 52/2005)	Crea el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Propone la protección de la diversidad biológica y los ecosistemas. Señala que para asegurar la cantidad y calidad de las aguas de las áreas protegidas es necesario evitar el deterioro de las cuencas hidrográficas y un uso del agua que altere el régimen hidrológico.
Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible (Ley 18.308 año 2008)	Establece la organización de los usos del territorio con el fin de mantener y mejorar la calidad de vida, la integración social y el uso sustentable y democrático de los recursos naturales y culturales. Incorpora la dimensión territorial en la planificación y gestión de los recursos hídricos.
Política Nacional de Aguas (Ley 18.610 año 2009)	Establece los principios que dirigen la Política Nacional de Aguas.
Descentralización Territorial y Participación Ciudadana (Ley 18.567 año 2009)	Incluye la protección del ambiente y el desarrollo sustentable de los recursos naturales dentro de las jurisdicciones departamentales.
Internacional	
Tratado de la Cuenca del Plata (firmado en 1969)	Acuerdo marco que tiene como fin promover un óptimo aprovechamiento de los recursos naturales y el desarrollo sostenible de la cuenca.
Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo (firmado en 1973 y Dto-Ley 14.145 año 1974)	Cooperación entre Argentina y Uruguay para la conservación de las aguas y la prevención de su contaminación. Contiene disposiciones sobre la calidad y cantidad de aguas.
Estatuto del Río Uruguay (firmado en 1975)	Tratado entre Argentina y Uruguay que regula los usos y actividades y la conservación del Río Uruguay en el tramo del río que ambos países comparten. Su propósito es el aprovechamiento óptimo y racional del río, la conservación del medio acuático y la prevención de la contaminación.
Tratado de la Laguna Merín (firmado en 1977)	Cooperación entre Uruguay y Brasil para el aprovechamiento de los recursos naturales y la cuenca de la Laguna Merín. Se refiere al abastecimiento de aguas, la regulación de caudales, el control de inundaciones, utilización de energía hidroeléctrica, la navegación, elevación del nivel socio-económico, entre otros.
Convención Ramsar (aprobado a través de Dto-Ley 15.337 año 1982)	Promueve el uso racional y la conservación de los humedales. Establece humedales de importancia a nivel internacional.

Cuadro 6. Ámbitos de planificación, articulación y asesoría en la gestión de recursos hídricos creados por la Ley 18.610 de Política Nacional de Aguas (con integración del gobierno, usuarios y sociedad civil)

Consejo Nacional de Agua, Ambiente y Territorio (CNAAT)

Elabora las directrices nacionales en agua, ambiente y territorio.

Consejos Regionales de Recursos Hídricos (CRRH)

Planifican, articulan y discuten los temas relativos al agua en la región. Se divide el territorio en tres regiones: 1- Río Uruguay, 2- Laguna Merín y 3- Río de la Plata y su Frente Marítimo.

Comisiones de cuencas y de acuíferos

Permiten dar sustentabilidad a la gestión local de los recursos naturales y administrar los potenciales conflictos por su uso. Funcionan como asesoras de los Consejos Regionales y su integración asegurará una representatividad amplia de los actores locales con presencia activa en el territorio.

¿Qué opinan los actores institucionales involucrados de la integración de caudales ambientales a la GIRH?

Basándonos en las entrevistas a los actores institucionales entrevistados en este trabajo (Cuadro 7) se observa que el concepto de caudales ambientales es poco conocido. Esto muestra la necesidad de definir dicha herramienta, tanto a nivel conceptual como instrumental, previo a integrarlo en planes de GIRH.

Cuadro 7. Principales temáticas abordadas en la pauta de entrevista y actores entrevistados

Entrevistas:

- Conocimiento del concepto de caudales ambientales
- Identificación de fortalezas y debilidades, y de tensiones
- Opinión sobre las características institucionales y actores que debieran estar involucrados

Actores entrevistados:

Estado:

Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA)
Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA)
Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA)
Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial (DINOT)
Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP)
Dirección Nacional de Recursos Naturales Renovables
Intendencia de Maldonado (IDM)

Sociedad civil:

Red Uruguaya de ONG ambientalistas,
ONG REDES-Amigos de la Tierra,
Asociación Formadores Docentes en Educación Ambiental (AFDEA) - Maldonado
Federación de Funcionarios de OSE (FFOSE).

Empresas:

OSE
Cámara de Industria del Uruguay (Unidad de Medioambiente)
Asociación Rural del Uruguay

Para implementar una política pública sobre gestión de recursos hídricos los actores entrevistados mencionaron:

Debilidades:

- Solapamiento de esfuerzos
- Desarticulación institucional
- Abordajes desde percepciones parciales o sectorizadas
- Tensiones cuando se enfrentan diferentes intereses productivos, sociales y ecológicos relacionados al agua.

Fortalezas:

- Conciencia ambiental y en particular el reconocer la importancia del recurso hídrico así como su relevancia ecológica.
- Avances en la normativa sobre recursos hídricos.

Surge la necesidad de:

- Buscar consensos y abordar la temática de manera transversal e interdisciplinaria.
- Que exista una mayor integración, organización y esfuerzos de control para su cumplimiento.
- Ampliar y mejorar la existente red de monitoreo de cantidad de agua.
- Conocer los momentos y sitios críticos para establecer prioridades de aplicación de caudales ambientales.
- Realizar experiencias piloto que apliquen la estimación de caudales ambientales.
- Destinar recursos económicos y humanos de forma estratégica para estas acciones de gestión.

La mayoría de los actores entrevistados coincidieron en la importancia de tener un único **espacio institucional** a nivel nacional que promueva las políticas de aguas para evitar la superposición de los esfuerzos existentes. A pesar de esto, hubo diferentes opiniones sobre la institucionalidad que debiera tratar los temas del agua, ya sea mediante un espacio nuevo o dentro de una institución existente pero acondicionada a las necesidades. Vinculado a esto, también se cuestionó si la coordinación debiera tener un énfasis local o nacional. Sin embargo, algunos entrevistados plantearon que estas visiones pueden ser complementarias; por ejemplo, las decisiones locales aportarían a una articulación y coordinación a nivel nacional. Hubo consenso en que deben participar diferentes actores, de manera que se abarque una amplia representación de los distintos usuarios del agua que existen en el territorio. En el caso que se contemple la amplia representación de actores, los entrevistados plantearon que los consejos regionales y comisiones de cuenca serían espacios de participación favorables para gestionar los recursos hídricos.

Una definición de caudales ambientales acorde a Uruguay

A partir de un taller interdisciplinario de discusión entre los especialistas del proyecto, DINAMA, DINAGUA y PNUD, y en base a una revisión bibliográfica previa, se formuló una definición de caudales ambientales que pudiera ser apropiada para su integración a la GIRH en Uruguay. Para su definición se consideraron los siguientes criterios: que estuviera actualizada en función de los avances conceptuales y metodológicos a nivel internacional; que fuera operativa y fácil de aplicar; y que se ajustara a la realidad nacional.

La definición propuesta se presenta a continuación:

“Régimen hidrológico y calidad del agua de ecosistemas acuáticos continentales que aseguren la sustentabilidad a largo plazo de la estructura y funcionalidad del ecosistema y que mantengan los servicios ecosistémicos en la cuenca”.

Se entiende que el método de estimación debería decidirse caso a caso, ya que los diferentes métodos presentan ventajas y desventajas en cuanto a los costos, rapidez de estimación, información y recursos económicos y humanos disponibles. El análisis interdisciplinario y las instancias de participación social deberían estar considerados, aunque no se especifican en la definición debido a que aún resta profundizar en la discusión sobre las modalidades, momento y cobertura de la participación a alcanzar.

3. Experiencia piloto de aplicación de caudales ambientales

Se presenta la aplicación de tres tipos de metodología de estimación de caudales ambientales (hidrológica, eco-hidráulica y holística) en la cuenca del Ao. Maldonado como experiencia piloto, con el objetivo de identificar desafíos y oportunidad para su implementación y proyectar ajustes metodológicos necesarios.

La cuenca del Arroyo Maldonado



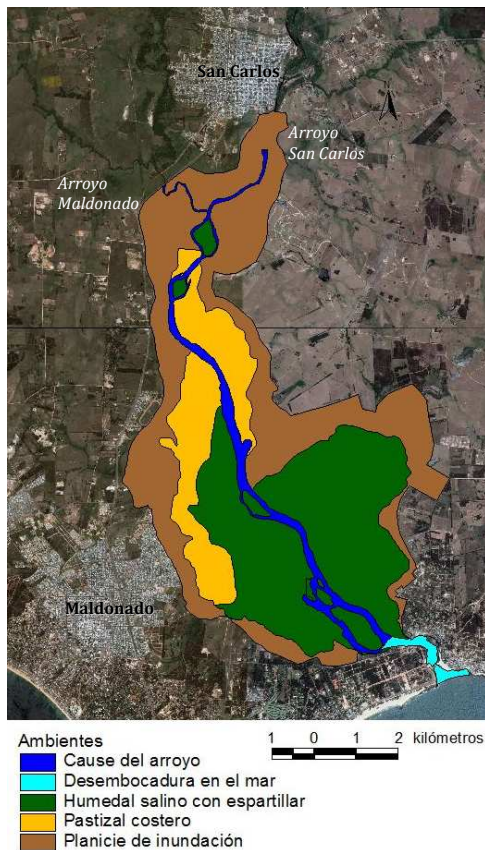
La cuenca del Arroyo Maldonado ocupa aproximadamente 1.376 km² e incluye las ciudades San Carlos y Maldonado. El Humedal del Arroyo Maldonado (Cuadro 8) se desarrolla desde la confluencia del Arroyo San Carlos y del Arroyo Maldonado hacia su desembocadura en el Océano Atlántico. Este humedal salino es la marisma más extensa del país, que ocupa un área de 19 km² (Isacch *et al.* 2006).

En la zona de estudio habitan 29000 personas (INE 2004), que representa 21 % de la población del Departamento de Maldonado. En la ciudad de San Carlos se concentra la mayor población urbana del área (89 %), mientras que las demás localidades urbanas presentan menos de 2000 personas, entre las que se encuentran el Barrio Hipódromo, El Tesoro, La Barra, Canteras de Marelli y Parque Medina. Entre los años 1996 y 2004 la zona tuvo un crecimiento poblacional de 3.3 %, con un pronunciado aumento poblacional en las localidades de El Tesoro y Parque Medina, mientras que la zona rural presentó reducción poblacional. En este período también aumentó la cantidad de viviendas (37 %) en general, con un incremento pronunciado en La Barra (517 %) y en El Tesoro (228 %).

La actividad con mayor ocupación del área es el comercio (19 %), seguida de la construcción (15 %) (INE 2010). Sin embargo, las actividades vinculadas al turismo (hoteles, restaurantes, transporte, inmobiliaria y servicios sociales) alcanzan una alta

tasa de ocupación (40 %). El Departamento recibe casi 30 % de los turistas que ingresan al país y 20 % del turismo interno (MINTURD 2010). Se destaca el uso turístico en las localidades de La Barra y El Tesoro, que representa 10 % del sistema turístico asociado a Punta del Este.

CUADRO 8. Humedal del Arroyo Maldonado



El humedal salino del Arroyo Maldonado es un sitio de relevancia para la conservación de la biodiversidad a nivel nacional e internacional (Rodríguez-Gallego *et al.* 2008).

Alberga:

- ✓ 24 especies endémicas (que se encuentran únicamente en Uruguay y en la región).
- ✓ 20 especies amenazadas o vulnerables a la extinción.
- ✓ 24 especies de prioridad para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP).
- ✓ 43 especies con valor comercial (pesca o acuarismo).
- ✓ 14 especies migratorias (sin considerar cetáceos).
- ✓ Población del cangrejo *Neohelice granulata* más grande del país (Cuadro 10).

Los principales impactos sobre el humedal son:

- Deseccación y sustitución del humedal por suelo urbano y jardinería.
- Aporte de aguas pluviales desde la zona urbanizada (suelo impermeabilizado).
- Eutrofización (enriquecimiento con nutrientes y materia orgánica) por efluentes urbanos, descarga de barométricas o por fuentes de contaminación difusas desde la zona agrícola.
- Presencia de basurales.
- Presencia de especies exóticas invasoras como el poliqueto formador de arrecifes *Ficopomatus sp.*



Experiencia de participación local: “Gestión Ecosistémica del Humedal del Arroyo Maldonado” co-gestionado entre la Intendencia de Maldonado (IDM) y la Asociación de Formadores Docentes en Educación Ambiental (AFDEA) busca diagnosticar las problemáticas asociadas a la gestión del humedal y sus condiciones, y promueve la protección del mismo como área natural prioritaria.



Cuadro 9. Cangrejales en la marisma del Arroyo Maldonado

En la marisma del Arroyo Maldonado se encuentra la población del cangrejo *Neohelice granulata* más grande del país. A su vez, esta especie es fuente de alimento para muchos peces de interés comercial como la corvina negra (Blasina *et al.* 2010) y para aves como la gaviota cangrejera (*Larus atlanticus*) (Herrera *et al.* 2005), especie que sufre la pérdida de sitios de alimentación y es considerada “Casi Amenazada” por UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza).



Aplicación de los métodos hidrológicos de estimación de caudales ambientales

Se presentan los resultados del cálculo de diferentes estimadores hidrológicos del caudal ambiental que establecen un valor anual, mensual y del régimen completo. Las estimaciones se realizaron para los datos de caudal medio diario registrados en el Arroyo San Carlos (estación 46.1 de DINAGUA en la Ruta 9) y el Arroyo Maldonado (estación 174 de DINAGUA en la Ruta 9) en el período 1983-2000 y 1985-1993, respectivamente. Una breve descripción de los métodos hidrológicos aplicados se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Estimadores hidrológicos aplicados.

Clasificación	Metodología	¿Qué establecen como caudal ambiental?
Valor anual	7Q10	Caudal mínimo semanal asociado a un determinado período de retorno de 10 años.
	Q95, Q90, Q85	Porcentaje de tiempo que un caudal mínimo es igualado o superado (de excedencia) durante un año.
	Aquatic Base Flow (ABF)	Promedio de la mediana de los caudales medios diarios del mes más seco (enero) de cada año de la serie considerada.
	Caudal del 10, 25 y 30 % (QMA)	Porcentaje del caudal medio anual y medio mensual.
Valor mensual	USA-Nothern Great Plains Resource Program (NGPRP)	Porcentaje de excedencia de caudales diarios para cada mes, descartando extremos secos y húmedos.
	Caudal 30 % (QMM)	Porcentaje del caudal medio mensual.
Régimen completo	RVA, IHA	Considera los cinco componentes del régimen hidrológico (magnitud, frecuencia, duración, momento y tasas de cambio). Fija un rango de variabilidad natural (RVA) para no alterar más de lo aceptable el estado del río.

El caudal anual estimado mediante métodos hidrológicos varió entre 0.5 - 1.6 m³/s en el Arroyo Maldonado y entre 0.4 - 8.1 m³/s en el Arroyo San Carlos. En la Figura 1 se observa lo variables que pueden ser los valores de caudales ambientales determinados a partir de los diferentes estimadores hidrológicos, sobre todo para el caso del Arroyo San Carlos.

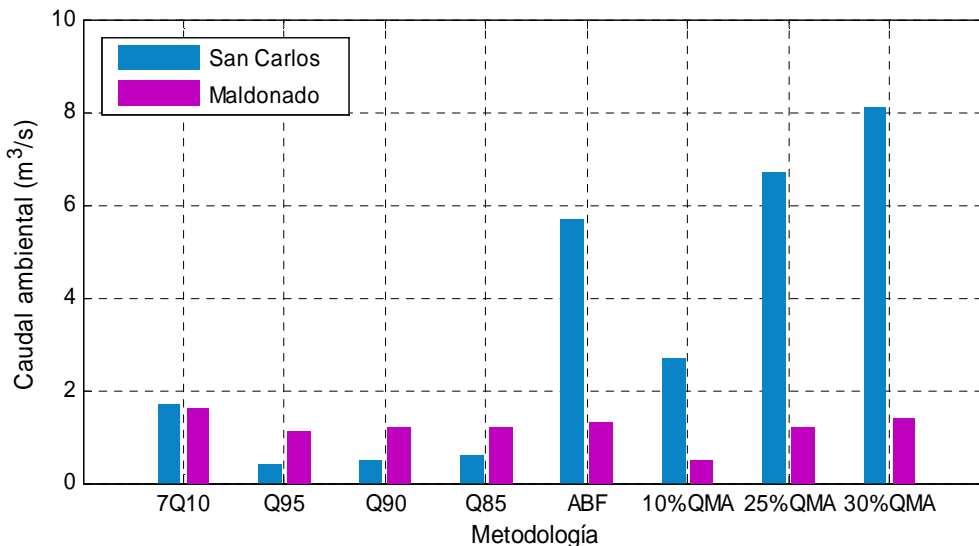


Figura 1. Comparación de los resultados de las metodologías hidrológicas que estiman un sólo valor de caudal ambiental anual.

Los resultados de la aplicación de los estimadores de caudal ambiental mensual muestran una variación mensual del caudal a lo largo del año para los diferentes métodos de estimación (Fig. 2; se presentan los resultados únicamente para el A° Maldonado). Nuevamente, se observa la gran diferencia en el valor de caudal ambiental según la metodología que se utilice.

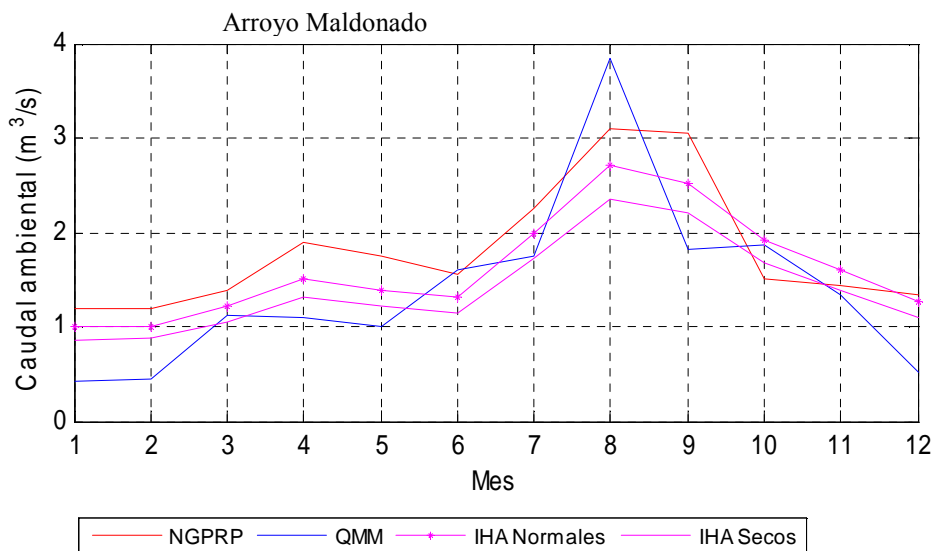


Figura 2. Caudal ambiental mensual a lo largo del año basado en métodos hidrológicos.

La aplicación del método del régimen completo (Richter *et al.* 1997) estima 24 indicadores organizados en cinco componentes del régimen hidrológico (magnitud, duración, momento, frecuencia y tasa de cambio), mostrando un panorama más amplio de la variación del caudal. En la Tabla 2 se muestran los indicadores más relevantes para el A° Maldonado.

Tabla 2. Régimen completo del caudal ambiental para el Arroyo Maldonado.

Parámetros de Richter		Años Normales	Años Secos
Caudal mínimo (m ³ /s)	Anual	1	0.9
	Enero	1	0.9
Fluctuación estacional del caudal mínimo (m ³ /s)	Febrero	1	0.9
	Marzo	1.2	1.1
	Abril	1.5	1.3
	Mayo	1.4	1.2
	Junio	1.3	1.1
	Julio	2	1.7
	Agosto	2.7	2.4
	Setiembre	2.5	2.2
	Octubre	1.9	1.7
	Noviembre	1.6	1.4
	Diciembre	1.3	1.1

Caudal máximo en los meses secos del año (m ³ /s)	Enero	1.4
	Febrero	1.7
	Marzo	1.6
Caudal de crecida	Magnitud (m ³ /s)	266.5
	Frecuencia (días)	2
	Momento (días)	252.5
	Duración (días)	2.3
	Rango de variación de la tasa cambio ascendente	0.9
	Rango de variación de la tasa cambio descendente	-0.2
		-0.1

Aplicación de la metodología eco-hidráulica

Se utilizó la modelación eco-hidráulica en el caso piloto del Arroyo Maldonado, aplicando la metodología IFIM (Instream Flow Incremental Methodology, Bovee *et al.* 1998) que toma en cuenta la hidrodinámica y la preferencia de hábitat. A continuación se señalan las diferentes etapas del procedimiento aplicado (esquemático en el Cuadro 11):

- 1- Implementación de un modelo hidrodinámico para el sistema fluvial: Arroyo Maldonado - Arroyo San Carlos (descrito en Teixeira *et al.* 2008).
- 2- Selección del tramo fluvial a estudiar (Arroyo Maldonado, tramo adyacente a San Carlos).
- 3- Selección de la especie a estudiar: *Hoplias malabaricus* (tararira en estadio adulto y juvenil) (Cuadro 10).
- 4- Elaboración de curvas de preferencia de profundidad y velocidad del agua de la especie seleccionada (en base a consulta a expertos).
- 5- Determinación de la velocidad y la profundidad en función del caudal. Estas funciones se construyen a partir de los resultados del modelo hidrodinámico, el cual, para un caudal fijo del arroyo, asocia la velocidad media y la profundidad en la sección transversal con el caudal.
- 6- Cálculo del hábitat potencialmente útil (HPU) de la especie de referencia en función del caudal, en base a las variables velocidad y profundidad y combinando los resultados de los puntos 4 y 5.
- 7- Determinación del hábitat real útil (HRU) a partir de las relaciones establecidas por Bovee (1998) que vinculan el estadio adulto y juvenil de la especie de referencia.

- 8- Determinación del caudal ambiental (punto de inflexión entre el HRU y el caudal circulante, cuando el aumento del caudal no genera aumentos considerables en el HRU).

El caudal ambiental mínimo en el tramo estudiado del Arroyo Maldonado para la tararira en su fase adulta y juvenil se estimó en $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

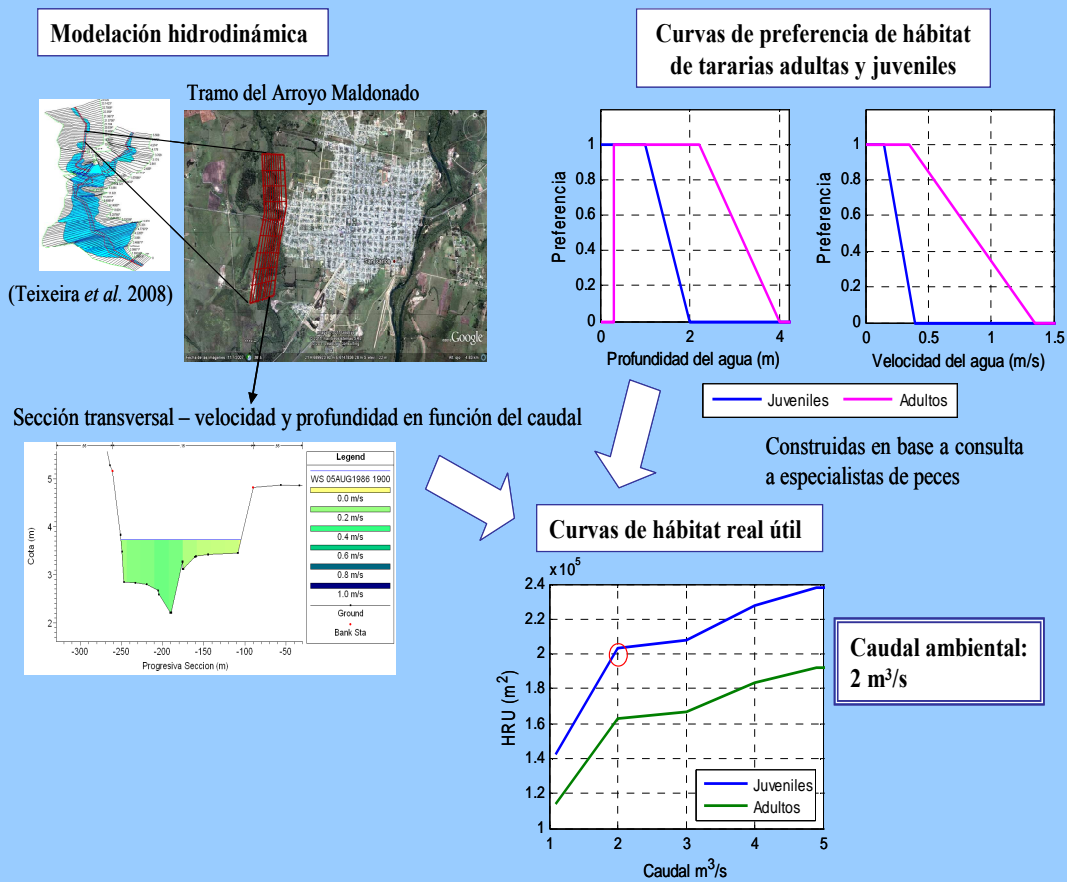
Cuadro 10. Tararira (*Hoplias malavaricus*)

Especie de pez habita ríos, arroyos y lagunas de agua dulce de todo el país y se alimenta preferentemente de otros peces y también de ranas, aves y ratones. La tararira tiene gran importancia comercial y en algunos sitios del país se ha detectado sobre-explotación pesquera (Teixeira de Mello *et al.* 2011).



Foto: Franco Teixeira

Cuadro 11. Aplicación del método eco-hidráulico IFIM en un tramo del Arroyo Maldonado (IFIM: Instream Flow Incremental Methodology, Bovee *et al.* 1998)



Cuadro 12. Comparación entre métodos hidrológicos y eco-hidráulicos

La heterogeneidad de resultados obtenidos mediante la aplicación de diferentes métodos hidrológicos de estimación de caudales ambientales expresa la necesidad de contar con información ecológica adicional que permita validar técnicamente la metodología más adecuada. La aplicación de algunos métodos hidrológicos (7Q10 principalmente y caudal máximo de estiaje del método de régimen total) muestran valores de caudales ambientales similares en relación al método eco-hidráulico, aunque un poco menores. Para poder evaluar si dichos estimadores hidrológicos (más sencillos y baratos de aplicar) pueden ser a su vez buenos estimadores eco-hidráulicos sería necesario replicar este estudio en otros ríos del país e incluir no solo otras especies de peces sino también comunidades o ensambles de especies. Dentro de los métodos hidrológicos el de régimen completo es el que describe mejor la variabilidad del régimen hidrológico empleando la misma información, y para el cual existen evidencias de relación entre estos indicadores y procesos ecológicos (Bunn & Arthington 2002, Lytle & Poff 2004).

Aplicación de la metodología holística

En este caso adaptamos la metodología DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation, King *et al.* 2003) al alcance del proyecto en cuanto a tiempo y de información disponible. La aplicación de dicha metodología se realizó a modo de ejercicio para dimensionar los requerimientos necesarios para su utilización apropiada y en menor medida como herramienta para obtener un valor de caudal ambiental aproximado. Los pasos que se siguieron fueron:

- 1- Se identificaron escenarios de cambios hidrológicos, que incluyó la descripción del escenario “actual”, la simulación de un escenario “natural” sin la extracción actual de agua y un escenario “potencial” donde se triplica el consumo actual de agua. Para cada escenario se realizó una modelación hidrodinámica que permite estimar el caudal ambiental anual y mensual mediante métodos hidrológicos.
- 2- Se identificaron atributos ecológicos, económicos y sociales, y dentro de éstos, indicadores medibles que permitieran comparar los escenarios.
- 3- Se le asignó un valor al cambio de dichos indicadores entre escenarios (con un valor de 10 para el máximo valor deseado). Se asumió que todos los indicadores tenían igual importancia relativa (ponderación de los indicadores = 1).
- 4- Se calculó la suma ponderada de todos los atributos en cada escenario para obtener un valor total comparable entre escenarios.

Los principales resultados se muestran en el Cuadro 13. El caudal ambiental anual estimado mediante el método hidrológico 7Q10 para cada escenario fue de 12.9 para el escenario natural, 12.7 para el escenario actual y 11.3 m³/s para el escenario potencial. Los escenarios natural y actual presentan valores muy similares, lo que indica que la extracción actual de agua es moderada a baja. Para el escenario potencial se observa una disminución, aunque moderada, en el caudal ambiental. Esto se observó para otros estimadores hidrológicos anuales, mensuales (resultados presentados en las gráficas del Cuadro 13 que muestran la variación del caudal en el tiempo para cada escenario) y para el régimen completo (datos no presentados).

La comparación de los diferentes atributos ecológicos, sociales y económicos entre escenarios muestra que el escenario natural tuvo el mayor puntaje, con resultados

similares al escenario actual (Cuadro 13). El escenario crítico de mayor extracción de agua mejora tres de los cuatro aspectos económicos considerados pero disminuye el resto de los atributos ecológicos y sociales.

Como resultado se obtuvieron tres escenarios alternativos de uso de los recursos hídricos del Arroyo Maldonado que pueden ser brindados a los tomadores de decisión. Para cada escenario se estimó el caudal (anual, mensual y de régimen completo) y los cambios en los atributos ecológicos, económicos y sociales. El escenario que presenta el valor más elevado de la suma de todos los indicadores y el mayor valor de caudal ambiental es el escenario natural, seguido del actual.

Cuadro 13. Aplicación del método holístico DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation, modificado de King *et al.* 2003)

Escenarios de cambios hidrológicos:

Natural

Sin extracción de agua de ningún tipo y sin embalses.

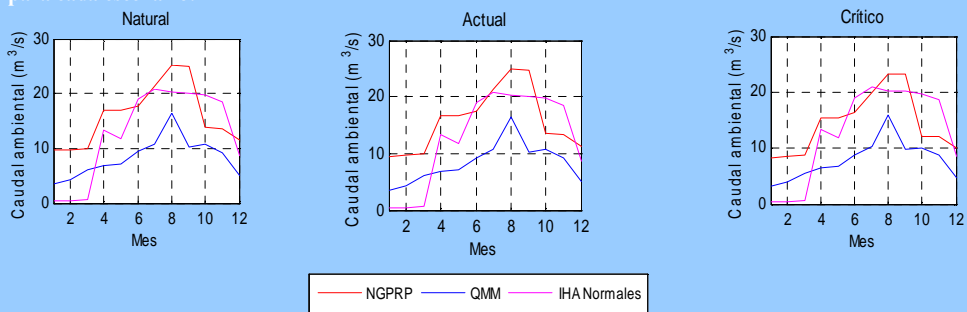
Actual

Situación actual del uso del agua incluye embalses (4% de la cuenca) y tomas de agua potable para la ciudad de San Carlos.

Crítico

Se triplica la reserva de agua en embalses y se intensifica la extracción de agua (equivalente a la toma de la Laguna del Sauce), proyectado en base a la tendencia de crecimiento poblacional y de intensificación del turismo.

Caudal ambiental según estimadores hidrológicos mensuales para cada escenario:



Comparación de los diferentes escenarios de cambios hidrológicos (Natural, Actual y Crítico). Se muestran los valores asignados a cada indicador, considerando atributos ecológicos, económicos y sociales:

	Indicador	Natural	Actual	Crítico
Atributos ecológicos	Calidad del agua (coliformes, ufc/ml)	10	8	5
	Superficie de <i>S. densiflora</i> (ha)	10	9	8
	Abundancia de lacha (kg/uec)	10	10	8
Atributos económicos	Costo de reparación (dólares/ año) – inverso	10	8	4
	Ingreso de los hogares (dólares/ año)	5	7	10
	Recaudación gobierno local (dólares/ año)	6	7	10
Atributos sociales	Empleo (n° personas empleadas/año)	6	7	10
	Salud: enfermedades hídricas relacionadas con calidad del agua (n° enfermos/año)	10	9	6
	Viviendas: viviendas en zonas inundables (n°)	7	8	10
	Uso del espacio público (n° personas/año)	10	9	7
	SUMA TOTAL	84	82	78

4. Elementos para una estrategia de incorporación de caudales ambientales a la GIRH en Uruguay

La incorporación del concepto de caudales ambientales en la política nacional de aguas precisa de una estrategia que tome en cuenta el marco institucional y las capacidades nacionales existentes. Se identifican posibles ámbitos de aplicación y criterios de selección metodológica que estarán en función de los objetivos ambientales acordados que se desee mantener en cada caso. A su vez, se plantean ajustes metodológicos para que su aplicación sea operativa.

¿Dónde enfocar esfuerzos?

Existe dispersión y superposición de normativas y especialmente de instituciones involucradas en la gestión del agua. En este sentido, es preciso fortalecer las capacidades humanas y de infraestructura, así como promover las alianzas y la coordinación interinstitucional. Es necesario impulsar programas de capacitación y de investigación en esta temática, que a su vez promuevan estrechar lazos entre investigación y gestión, para que la investigación aporte herramientas que contribuyan a las necesidades de gestión.

El país cuenta con un adecuado marco normativo para incorporar los caudales ambientales como herramienta de GIRH. Sin embargo, se plantea la necesidad de discutir si los caudales ambientales deberían estar definidos y regulados por la normativa o deberían ser considerados como una herramienta más de gestión. La Política Nacional de Aguas y en particular la temática de caudales ambientales requieren mayor difusión nacional a fin de que el concepto sea incorporado y así facilitar su implementación. Para esto, sería deseable establecer ámbitos informativos y de discusión.

Las instancias participativas previstas en la normativa (comisiones de cuenca por ejemplo) son relevantes para una adecuada aplicación y descentralización de dicha política. Sin embargo, sería necesario fortalecer las capacidades de ministerios, empresas públicas e intendencias involucradas, para que puedan apoyar a las comisiones regionales y de cuenca con recursos humanos e infraestructura. A su vez, sería recomendable generar programas de fortalecimiento de las organizaciones y actores locales para que logren una adecuada participación en las diversas instancias.

¿Qué debemos tener en cuenta para aplicar caudales ambientales?

En primera instancia, es necesario identificar los posibles ámbitos de aplicación en donde el uso de caudales ambientales podría ser útil (Cuadro 14). A su vez, dado que existen diferentes estimadores de caudales ambientales, surge la pregunta de cuál metodología utilizar. Como se observa en la Tabla 3, dichas metodologías presentan ventajas y desventajas para su aplicación.

La selección de los métodos de estimación de caudales ambientales dependerá del objetivo ambiental que se plantee alcanzar y debería ser caso a caso, debido a la complejidad y diversidad de situaciones en donde podría ser útil aplicarlos. Por lo tanto, se propone una aproximación de tipo “caja de herramientas”, con la cual los gestores puedan elegir las metodologías más adecuadas para el grado de conflictividad,

disponibilidad de información, tiempos y costos económicos. De esta forma, los criterios propuestos en la Figura 3 para la selección de metodología de estimación de caudales ambientales contienen objetivos ambientales implícitos. Cabe resaltar que el esquema propuesto es orientativo, por ejemplo en situaciones con amplia variabilidad hidrológica, el método del régimen completo será adecuado o en áreas protegidas donde hay un interés particular de conservación un método ecohidráulico podría aplicarse. A su vez, existe una amplia variedad de métodos de estimación que establecen límites muy distintos de flujo de caudal (como ocurre en los métodos hidrológicos), en todos los casos, la selección del tipo de estimador será en función de las condiciones que se desea mantener en el sistema en cuestión.

Se propone una serie de recomendaciones para mejorar la aplicación de caudales ambientales y adaptarla al caso de Uruguay (Cuadro 15). La estrategia apunta a mejorar la información y a avanzar en la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas mediante discusión en talleres, programas de monitoreo e investigación y aplicación a casos de estudio concretos. Se podría diseñar una estrategia de investigación, innovación y desarrollo de alternativas de “buenas prácticas” a partir de la contribución de diferentes actores (especialistas, productores y otros usuarios del agua). Sería recomendable aplicar métodos a corto plazo y en paralelo desarrollar y ajustar los métodos a mediano y largo plazo.

Cuadro 14. Ámbitos de aplicación de los caudales ambientales:

- Evaluación del impacto ambiental de represas, tomas de agua, desecación de humedales, vertido o desvío de aguas, etc.
- Evaluación del impacto ambiental estratégico para obras que pudieran modificar la hidrología local.
- Planes de manejo en áreas protegidas con ecosistemas acuáticos relevantes.
- Planes de ordenamiento territorial en casos que exista un ecosistema acuático con importancia socioeconómica o ecosistémica que pueda verse alterado por diferentes usos del territorio.
- Planes de gestión de cuencas en los diversos niveles que plantea la Ley de Política Nacional de Aguas.
- Otorgamiento de permisos para la construcción de embalses o tomas de agua para riego.
- Planes de riego.
- En momentos críticos, como por ejemplo en época de sequía, como medida para evitar conflictos por uso sobrepuesto e intensificado del agua.
- Para el manejo de los recursos hídricos que realizan las empresas públicas como OSE, UTE y ANCAP.
- En la gestión de recursos hídricos transfronterizos como los ecosistemas bajo control de las comisiones técnicas mixtas del Río de la Plata, Río Uruguay, Laguna Merín, Río Cuareim o la represa de Salto Grande, entre otros.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la aplicación de las diferentes metodologías de caudales ambientales en Uruguay.

Métodos	Ventajas	Desventajas
Hidrológicos	Bajo costo. Bajo requerimiento de información. Existe una importante red nacional de monitoreo hidrológico. Rápida aplicación. Aplicable en casos poco controversiales y como manejo precautorio.	Requiere información hidrológica diaria disponible para el ecosistema acuático de interés. No tiene relación explícita con el componente ecológico (excepto el método del régimen completo).
Eco-hidráulicos	Toma en cuenta la dimensión ecológica del sistema de interés. Presenta ventajas para conservar recursos pesqueros de interés y comunidades relevantes a nivel ecosistémico.	Mayores costos y tiempos. Requiere información hidrológica y ecológica integrada que, en el caso de Uruguay, ha sido escasamente relevada.
Holísticos	Integra aspectos hidrológicos, ecológicos y socioeconómicos, permitiendo abordar la gestión de los recursos hídricos de forma integral. La participación de diferentes disciplinas y de grupos interesados contribuye al planteo de escenarios de decisión en casos conflictivos.	Mayores costos y tiempos de aplicación. Precisa generar información hidrológica, ecológica y socioeconómica en detalle para cada caso.

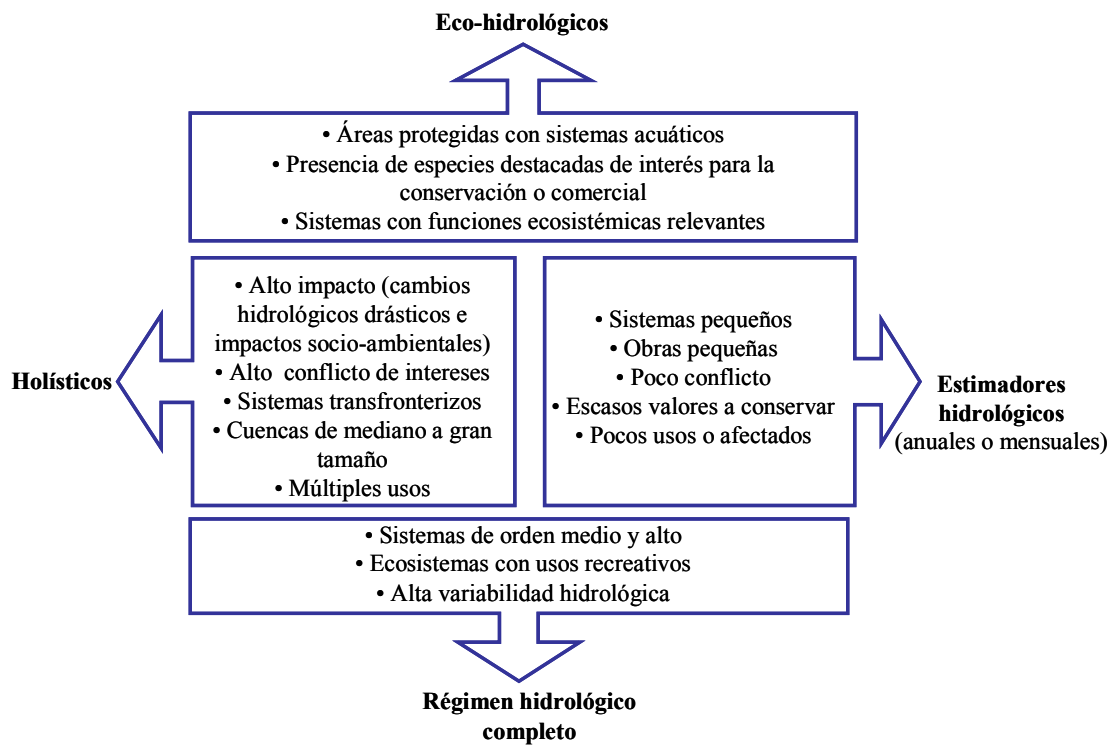


Figura 3. Propuesta de criterios de selección de métodos de estimación de caudales ambientales.

Cuadro 15. Recomendaciones para el desarrollo de un programa de investigación necesario para la aplicación de caudales ambientales en Uruguay

Un programa de investigación sobre caudales ambientales debería contemplar la variabilidad espacial y temporal del régimen hidrológico en los ecosistemas acuáticos del país. En un comienzo, sería necesario identificar vacíos de información y diseñar estrategias para recopilar la información sobre calidad y cantidad de agua superficial y subterránea e iniciar un sistema de monitoreo único a nivel nacional.

A continuación se brindan algunas recomendaciones puntuales para cada metodología.

Para abordar la falta de información hidrológica en cuencas de tamaño medio y pequeño en Uruguay se podría aplicar modelación hidrológica e hidrodinámica a partir de datos observados en otro sitio del mismo sistema de interés o a partir de un modelo calibrado y regionalizado. Además, sería necesario adecuar la metodología de estimación para que incluya caudales bajos, los que presentan dificultades técnicas de medición.

En el caso de los métodos hidrológicos sería necesario conocer la relación que tienen con los procesos ecológicos y validar dicha relación a nivel nacional, mediante la aplicación simultánea de ambas metodologías en varios casos de estudio.

Para la aplicación de los métodos eco-hidráulicos se recomienda trabajar con un amplio grupo de especies, por ejemplo agrupadas en gremios (especies del sitio que utilizan un mismo recurso), o en ensambles y comunidades (peces, invertebrados acuáticos, microalgas del sustrato, vegetación riparia y acuática de un sitio), o por uso de hábitat (columna de agua, zona litoral, fondo), y también tomar en cuenta los diferentes estadios biológicos (huevo, semilla, larva, juvenil y adulto). Además, se podría explorar la aplicación de índices que integren diferentes comunidades biológicas. Se requiere avanzar sobre el conocimiento de uso del hábitat, poco desarrollado en general. Para construir curvas de preferencia de hábitat es necesario recabar información de estudios previos y nuevas investigaciones sobre la abundancia (cantidad por especie) y composición (tipos de especies) de las especies de interés vinculadas a las variables hidrológicas claves (profundidad, velocidad de agua, tipo de sustrato).

En el caso de los métodos holísticos, además de los ajustes de la información hidrológica y ecológica, y la generación de información social y económica específica, es necesario invertir en la capacitación de recursos humanos y en la conformación de equipos interdisciplinarios que implementen la metodología en casos concretos.

Reflexiones finales

En este trabajo, el aporte desde diferentes disciplinas contribuyó a lograr un enfoque integral sobre el concepto de caudales ambientales, necesario para trabajar los diversos aspectos hidrológicos, ecológicos, sociales, políticos y económicos implicados en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, su uso sustentable y su gestión.

El análisis del marco normativo y de la opinión de los actores involucrados indica la existencia de condiciones adecuadas para incorporar el concepto de caudales ambientales en Uruguay. Sin embargo, la superposición de instituciones involucradas muestra la necesidad de aunar esfuerzos para implementar una gestión integrada de los recursos hídricos.

La aplicación de diferentes metodologías de estimación de caudales ambientales al Arroyo Maldonado como caso de estudio permitió identificar ajustes metodológicos necesarios para su adecuada incorporación a la GIRH. En este sentido, fue posible orientar sobre ciertos criterios de selección metodológica y proponer una serie de recomendaciones para mejorar la aplicación de caudales ambientales y adaptarla al caso de Uruguay. Tomando en cuenta la etapa inicial que transita el país en esta temática, es necesario generar ámbitos de participación y desarrollar programas de investigación conjunta entre la academia y las instituciones de gestión, acompañados de instancias de difusión y capacitación.

Bibliografía

- Alcamo J & Bennett EM. 2003. Ecosystems and Human Well-Being. A Framework For Assessment. World Resources Institute; Millennium Ecosystem Assessment Series. Island Press.
- Blasina GE, Barbini SA & Díaz de Astarloa JM. 2010. Trophic ecology of the black drum, *Pogonias cromis* (Sciaenidae), in Mar Chiquita coastal lagoon (Argentina). *Applied Ichthyology*, 26: 528-534.
- Bovee KD, Lamb BL, Bartholow JM, Stalnaker CB, Taylor J & Henriksen J. 1998. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-1998-0004.viii+131pp.
- Bunn SE & Arthington AH. 2002. Principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30:492-507.
- Carpenter SR, Stanley EH & Vander Zanden J. 2011. State of the world's freshwater ecosystems: physical, chemical, and biological changes. *Annual Review of Environment and Resources*, 36:75-99.
- Conferencia de Brisbane. 2007. http://www.eflownet.org/download_documents/brisbane-declaration-spanish.pdf
- Dyson M, Bergkamp G & Scanlon J (Eds.). 2003. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Tr. José María Blanch. San José, C.R.: UICN-ORMA. xiv+125 pp.
- GEO URUGUAY. 2008. Informe del estado del ambiente. Montevideo, PNUMA-CLAES-DINAMA. 350pp.
- Global Water Partnership (GWP). 2000. Technical Advisory Committee (TAC). Integrated Water Resources Management, TAC Background Papers N° 4.
- Herrera G, Punta G & Yorio P. 2005. Diet specialization of Olrog's Gull *Larus atlanticus* during the breeding season at Golfo San Jorge, Argentina. *Bird Conservation International*, 15:89-97.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2004. www.ine.gub.uy
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2010. www.ine.gub.uy
- Isacch JP, Costa CSB, Rodríguez-Gallego L, Conde D, Escapa M, Gagliardini DA & Iribarne O. 2006. Distribution of saltmarsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the South-West Atlantic coast. *Journal of Biogeography*, 33:888-90.
- Kalff J. 2001. *Limnology, Inland Water Ecosystems*. McGill University, Prentice Hall. 592pp.
- King J, Brown C & Sabet H. 2003. A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications*, 19: 619–639.
- Lytle DA & Poff LN. 2004. Adaptation no natural flow regime. *Trends Ecology Evolution*, 19(2):94-100.
- Ministerio de Turismo y Deporte (MINTURD). 2010. www.minturd.gub.uy
- Poff NL, Allan JD, Bain MB, Karr JR, Presteggaard KL, Richter BD, Sparks RE & Stromberg JC. 1997. The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47(11):769–784.
- Richter BD, Baumgartner JV, Wigington R & Braun DP. 1997. How much water does a river need?. *Freshwater Biology*, 37: 231–249.
- Richter BD, Davis MM, Apse C & Konrad D. 2011. A presumptive standard for environmental flow protection. *River Research and Applications*, 28(8), 1312-1321.
- Rodríguez-Gallego L, Chreties Ch, Crisci M, Fernández M, Colombo N, Lanzilotta B, Saravia M, Neme C, Sabaj V & Conde D. 2011. Fortalecimiento del concepto de Caudales Ambientales como Herramienta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. *Vida Silvestre Uruguay*, PNUMA y UNESCO. 138pp.
- Rodríguez-Gallego L (coordinadora). 2008. Aspectos destacados de la biodiversidad del A° Maldonado: recomendaciones para su uso y manejo. Convenio IMMaldonado-IMFIA-Facultad de Ciencias. Montevideo.
- Teixeira de Mello F, González-Bergonzoni I & Lourerio M. 2011. Peces de agua dulce de Uruguay. PPR-MGAP. 188pp.

- Teixeira L, Chreties CH, López G, Alonso R & Mosquera R. 2008. Informe final. Estudio de Problemas Costeros. Actividad Específica: Estudio del arroyo Maldonado orientado a definir la política de manejo integrado de su curso y planicie de inundación. UdelaR-FING-IMFIA, IMMaldonado. 79pp.
- Tharme RE. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19: 397–441.
- UNICEF & World Health Organization (WHO). 2012. Progress on drinking water and sanitation. United States of America. 66pp.

Qué son los Caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay



Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura



Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe

Programa Hidrológico Internacional

UNESCO
Programa Hidrológico Internacional
Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe
Edificio Mercosur - Dr. Luis Piera 1992, 2º piso
Casilla de Correo 859
11200 Montevideo, Uruguay
Tel.: 598 2413 2075, Fax: 598 2413 2094
phi@unesco.org.uy
<http://www.unesco.org.uy/phi>

