



Caja de herramientas para la determinación de caudal ambiental

Octubre 2017



**Oficina
de San José**
Representación para
Costa Rica, El Salvador,
Honduras, Nicaragua
y Panamá

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



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



Programa
Hidrológico
Internacional

Créditos

Publicado en 2017 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia

Oficina UNESCO San José, Costa Rica. Representación para Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Panamá/

Programa Hidrológico Internacional para Latinoamérica-Montevideo.



© UNESCO 2017

Esta publicación está disponible en acceso abierto bajo la licencia Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>(link is external) (link is external)). Al utilizar el contenido de la presente publicación, los usuarios aceptan las condiciones de utilización del Repositorio UNESCO de acceso abierto (www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-sp).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen no implican toma alguna de posición de parte de la UNESCO en cuanto al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o regiones ni respecto de sus autoridades, fronteras o límites.

Las ideas y opiniones expresadas en esta obra son las de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la UNESCO ni comprometen a la Organización.

Autores:

Anny Chaves, Javier Fallas, Kimberly Rojas, Francisco Quesada

Coordinación Área de Ciencias Unesco San José:

Juan Criado

Revisión Técnica:

Perla Alonso, Michael McClain, Jorge Picado, Francisco Riestra.

Diseño gráfico y diseño web:

Isaías Vega

Ilustraciones:

María Fernanda Bonilla y Pedro Bolaños

Índice

1. Introducción
2. Información requerida del proyecto
3. Metodologías
4. Gobernabilidad
5. Glosario
6. Cuadro de afectación y recomendaciones
7. Biblioteca de recursos (Link Externo)

<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0BFF3TleIYZFME1VdzNDYIRMWDQ>



Introducción



Para el programa Hidrológico Internacional de UNESCO, la seguridad hídrica es el tema base de su octava fase de desarrollo, la cual se enmarca en una estrategia a mediano plazo que incluye metas para ser cumplidas entre 2014 y 2021. En particular, estas metas están relacionadas a la incidencia del comportamiento humano, las creencias culturales y las actitudes hacia el agua; la necesidad de investigar en los ámbitos de las ciencias sociales y económicas a fin de profundizar conocimientos y así poder crear herramientas, con las que sea posible adaptarse a los efectos de los cambios en la disponibilidad del agua en el ser humano.

De igual manera, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), ha definido los objetivos para el desarrollo sostenible como meta mundial del milenio, en los que se

incluye el objetivo 6 “ **Agua limpia y saneamiento** ”, donde se busca garantizar agua potable segura y asequible para todos en 2030, y para lo que es necesario realizar inversiones adecuadas en infraestructura, proporcionar instalaciones sanitarias y fomentar prácticas de higiene en todos los niveles.

Si se quiere mitigar la escasez de agua, es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como los bosques, montañas, humedales y ríos.” UNEP (<http://www.undp.org>)

El agua es un factor determinante en el desarrollo económico y social y, a la vez que cumple la función básica de mantener la integridad del entorno natural. Debido a que el agua es solo uno de los recursos naturales vitales, es imperativo que los temas hídricos sean tratados en un enfoque forma integral,

Dentro del concepto de gestión integrada del recurso hídrico, es relevante identificar y cuantificar el recurso con el que se dispone y las diferentes necesidades a contemplar en su distribución. Es a partir de ahí que será posible administrar y otorgar el agua necesaria para los diferentes usos previstos y solicitados en una cuenca o en un sistema hídrico.

Desde inicios del siglo XX, en las áreas del planeta donde hay escasez de agua, inició la discusión y búsqueda de respuestas para atender, además de las necesidades humanas, los requisitos para mantener el ecosistema acuático, el tema fue enmarcado primero en el término de caudal ecológico y posteriormente derivó en el concepto caudal ambiental. A medida que los conflictos por el agua se han presentado por diferentes motivos alrededor de todo el planeta, el tema del caudal ambiental tomó una importancia global y ha sido incorporado en las agendas y acuerdos de conferencias mundiales. Se han definido acciones prioritarias en las organizaciones de Naciones Unidas, agencias de financiamiento, organismos estatales y organizaciones no gubernamentales.

No hay duda en este momento de la prioridad del tema, sin embargo, por lo diverso de la problemática en torno al agua, existe una gran variedad de opciones y metodologías para buscar resolverlo. Este gran abanico de opciones,

que contempla más de 200 metodologías para identificar el caudal ambiental que aplica en la atención de una demanda de agua, es una condición de oportunidad para poder identificar la mejor posición metodológica que se ajuste a las necesidades y condiciones particulares de un caso específico, a la vez que se pueda resolver con recursos definidos.

Con el objetivo de poner a disposición los elementos necesarios para seleccionar la metodología adecuada para tomar una decisión en cuanto al caudal ambiental aplicable a un caso particular, se presenta esta caja de herramientas. Se pretende que el equipo de trabajo encargado de atender una situación de extracción de agua, esté en la posibilidad de entender el problema y encontrar las opciones que mejor le aplican. No hay una receta única, pero si requisitos básicos que se deben cumplir para dar una solución integral, según la escala y complejidad de la situación a resolver.



Entender el problema

Encontrar una respuesta para definir el caudal ambiental aplicable a una situación particular pasa en primer lugar por entender que es caudal ambiental y para ello nos vamos a apoyar en la definición que por consenso de adoptó en una reunión sobre caudales ambientales donde participaron representantes de todo el mundo en Brisbane, Australia en el 2007.

“El caudal ambiental fue definido como la cantidad, periodicidad y calidad del caudal de agua que se requiere para sostener los ecosistemas dulceacuícolas, estuarinos y el bienestar humano que depende de estos ecosistemas”

Los diferentes países han adoptado definiciones de acuerdo con el estado de su legislación respecto al recurso hídrico, algunas de ellas están basadas en concepciones meramente hidrológicas, mientras que otros han avanzado a un concepto integral. A través de acciones de capacitación, se está buscando que los países mejoren su legislación en torno al agua y con ello incorporen el concepto de caudal ambiental para que contemple los aspectos ecológicos y sociales que dan la integralidad al manejo del recurso hídrico.

En el siguiente cuadro se resume la definición y concepto que se está utilizando en los diferentes países de la región.

País	Definición de caudal ambiental
Honduras	No se incluye una definición en la normativa
El Salvador	Proyecto de ley (desde 2012 y todavía en discusión) contempla esta definición: Régimen hídrico necesario y permanente, característico y propio de cada cuenca, que se da en un río, humedal o zona costera, que permite todo aprovechamiento, con la condición de que se mantenga la estabilidad de los ecosistemas y satisfaga las necesidades de usos particulares y comunes.
Nicaragua	Ley General de Aguas Nacionales (Ley No. 620) como el Reglamento de la Ley General de Aguas (No. 44-2010), contemplan regulaciones específicas sobre caudales mínimos y condiciones de calidad de las aguas requeridas para mantener el equilibrio ecológico y sostener la biodiversidad de las cuencas, subcuencas y microcuencas o la de ríos, lagos, lagunas, esteros, manglares o acuíferos específicos.
Costa Rica	<p>El Manual Técnico del Departamento de Aguas define <i>caudal mínimo remanente</i> como el caudal no derivable de una fuente producto de la particularidad hidrográfica de cada región, de tal forma que se garantice un caudal mínimo continuo y permanente aguas abajo de todo aprovechamiento a lo largo del cauce, estableciendo para generación hidroeléctrica un 10% del caudal promedio de la fuente.</p> <p>Reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Aguas Superficial, en su Artículo 3, define Caudal Ecológico de la siguiente forma: <i>Caudal de mantenimiento, es el caudal que hay que dejar en un río aguas abajo de cada aprovechamiento de regulación o derivación (modificación del régimen natural) para que se mantenga un nivel admisible de desarrollo de la vida acuática.</i></p> <p>Los proyectos de ley de Gestión Integrada del Recurso Hídrico, definen caudal ambiental como: La cantidad de agua, expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia del caudal específico y la calidad de agua expresada en términos de rangos, frecuencias y duración de la concentración de parámetros claves que se requieren para mantener un nivel técnicamente justificado de salud en el ecosistema y en las condiciones socio-económicas y culturales.</p>
Panamá	No se incluye una definición en la normativa vigente, está en preparación una propuesta.

Fuente: Peña Chacón, 2017.

El tema de caudal ambiental es relevante en lo relacionado a las concesiones de agua que se otorgan en un sistema hídrico para diferentes usos, pero es también una herramienta que ayuda en la planificación del recurso hídrico en una cuenca hidrográfica. Los caudales ambientales se determinan para lograr un objetivo, no son un objetivo en sí mismo. Identificar el objetivo para el cual se va a aplicar un caudal ambiental, es la base para seleccionar la metodología que mejor va a ayudar a resolver una situación.

Entre los objetivos se consideran:

- Mantener la integridad del ecosistema
- Asegurar los servicios ecosistémicos

Se trata entonces de identificar, cuando se va a autorizar un aprovechamiento del recurso, cual es el régimen de caudal (cantidad, periodicidad y calidad) que se puede mantener en el río para que se asegure el sostenimiento del ecosistema y de los usos y bienestar de las comunidades que dependen de ellos.

En función de entender el problema, hay que iniciar con conocer el sistema hidrológico, el ecosistema que depende de él, las condiciones del ambiente socioeconómico y la dependencia de este en el sistema. Luego se debe caracterizar y dimensionar el aprovechamiento que se va a realizar para identificar en qué forma se impactaría el régimen de caudal. Este ejercicio se puede realizar mediante la utilización de indicadores y la modelación de diferentes escenarios, lo que permite visualizar de previo la combinación de factores que definen un aprovechamiento en determinadas condiciones y si fuera necesario, una recomendación de ajustes al aprovechamiento (proyecto) para que se cumpla el caudal ambiental.



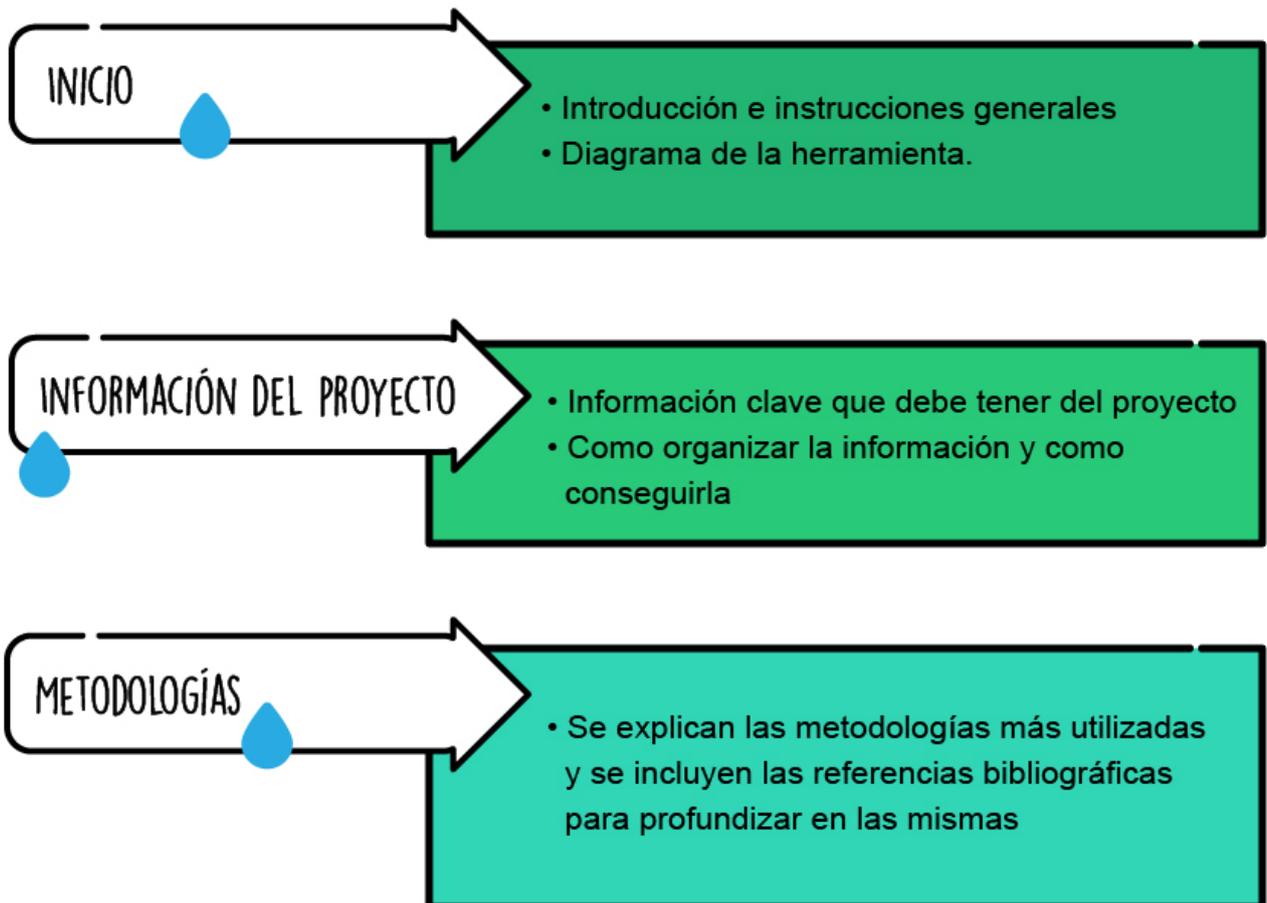
Instrucciones

¿Como utilizar esta caja de herramientas?

Como se expuso anteriormente, no hay receta válida para toda ocasión. Las herramientas que se presentan le servirán al equipo de trabajo para construir la realidad que necesita descifrar.

La caja de herramientas contempla cinco módulos o instrumentos, entre los cuales puede navegar en cualquier secuencia, según los necesite, solo presione en la pestaña del módulo que desea desplegar.

Secciones



GOVERNABILIDAD

- Se integra información relevante para lograr la aplicación del concepto de caudal ambiental.
- Se incluyen temas de legislación, conflictos de uso, género, seguridad hídrica, sostenibilidad, participación, manejo alternativo de conflictos.
- Lista de instituciones y organizaciones que pueden apoyar.
- Multiculturalidad.

CONCEPTOS

- Buscador alfabético o conceptual
- Definiciones y explicación de conceptos relacionados a la aplicación del caudal ambiental.
- Incluidos en el texto principal y en los documentos de referencia

DIAGRAMA DE AFECTACIÓN Y RECOMENDACIONES

Según el tipo de uso, magnitud del proyecto o características de una cuenca, las extracciones de agua tendrán un impacto que modifican la condición natural o existente del sistema hídrico. Se presenta un planteamiento para identificar los criterios que se deben tomar en cuenta para clasificar el tipo de uso y la metodología que se podría utilizar para definir el caudal ambiental.

A vibrant illustration of a waterfall cascading over rocks in a lush, green forest. The scene is framed by various tropical plants and ferns. The text 'INFORMACIÓN DE PROYECTOS' is overlaid on a semi-transparent white banner across the middle of the image.

INFORMACIÓN DE PROYECTOS

Información requerida del proyecto

Guía para organizar la información sobre el proyecto

El punto de partida es tener claro el objetivo para el cual se necesita definir un caudal ambiental, identificar si:

- Se trata del otorgamiento de una concesión de agua?
- Se busca que, al aprobar una extracción, se mantengan las condiciones de integralidad del ecosistema y los usos sociales?
- Si el contexto es el manejo de cuenca, se busca proyectar y planificar los usos futuros de esa cuenca.
- Se trata de definir reservas de aguas?,

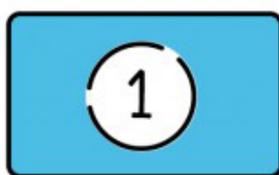
En el contexto del otorgamiento de concesiones para diferentes usos, dependiendo de la magnitud del proyecto o actividad, se va a requerir cierto nivel de información para poder aplicar una metodología de caudal ambiental acorde con el impacto del proyecto en la dinámica del sistema hídrico.

La información sobre la actividad que utilizará el agua y las características del sitio donde se realiza la toma, son los puntos de partida para poder determinar de que manera una actividad va a impactar las condiciones naturales de un curso de agua y definir el caudal ambiental que corresponde. De igual manera, conocer el contexto social y la dependencia que existe en la zona del recurso agua, ayudará a prever conflictos o realizar una gestión adecuada del recurso. La condición deseada es que se pueda contar con un equipo profesional multidisciplinario que pueda integrar la información y participar en la definición del caudal ambiental, al menos se requieren profesionales en hidrología, ciencias biológicas y ciencias sociales. Proyectos de mayor magnitud necesitarán de otros profesionales según la metodología que corresponda utilizar.

En el tema de reservas de agua, es necesario analizar a profundidad los ecosistemas que necesitan del agua para su mantenimiento, así como la periodicidad en que se necesitan.

En el módulo 6 se aportan los criterios para clasificar **el impacto general al sistema hídrico** y un cuadro para seleccionar cual metodología corresponde utilizar según el puntaje que se obtenga de los criterios ambientales y los diferentes tipos de uso.

En el presente módulo se pretende conducir al interesado para organizar la información del proyecto y cuánto se debe profundizar en cada tema según las metodologías aplicables al caso específico.



1- Primer nivel. Información de contexto del proyecto.

Información general del proyecto	
Ubicación	<p>Coordenadas y altitud sobre el nivel del mar. (según sistema aceptado en cada país, por ejemplo, en Costa Rica, se utiliza el sistema transversal de Mercator, CRTM05 del 2005) preferible utilizar un SIG.</p> <p>Incluir el orden hidrológico en escala 1:50000</p> <p>Fuente, río (o quebrada) utilizar el nombre que aparece en hoja cartográfica</p> <p>Ubicación en la cuenca</p> <p>Indicar si se relaciona a un afluente o al cauce principal</p>
A cuál tipo de uso corresponde la actividad?	<p>En el cuadro 2.1 se presenta una clasificación de posibles usos, sin embargo, cada país puede tener su propio sistema.</p>
Cuánta agua requiere el proyecto?	<p>Al seleccionar el uso se debe consultar la información específica del reglamento del país en el cual se detalla y subdivide cada tipo de uso, así como la dotación por unidad. Para estimar cuánta agua va a necesitar se debe contemplar la correspondencia con las dotaciones, de manera que sea congruente con las necesidades reales del proyecto.</p>

Contexto Ecológico	
Zona de vida en la que se ubica el proyecto	<p>La zona de vida se refiere a la unidad ecológica que corresponde, se utiliza la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967), pero también se puede utilizar alguna otra zonificación de unidades ecológicas que esté debidamente referenciada. En el caso del sistema de zonas de vida existen mapas para Centroamérica en general y en específico para cada uno de los países, están disponibles a diferentes escalas y en formato digital, también los hay para Ecuador, Perú, Colombia y otros países. La zona de vida se asocia a una caracterización de la vegetación y conlleva información de las características de los ecosistemas que se pueden encontrar en la región, según la relación entre la precipitación, biotemperatura y piso altitudinal. También los grupos de fauna se asocian a las zonas de vida en las que se les puede encontrar.</p>
Ubicación respecto a presencia de áreas silvestres	<p>Señalar la presencia y proximidad a ecosistemas frágiles, humedales, áreas protegidas, tanto en el sistema estatal como privado. Esta información es de gran importancia para la clasificación de la afectación. La relación en el contexto depende de cuanto se puede ver afectada esta área silvestre con respecto al uso del agua por el proyecto o actividad. Existen limitaciones para la utilización de fuentes de agua que se encuentran en una categoría de protección.</p>
Biodiversidad	<p>Describir y caracterizar las comunidades que se ubican aguas arriba y aguas abajo del sitio de intervención del cauce. Mencionar las comunidades que se ubican en ambos lados del río en una cercanía de hasta un 1 kilómetro de distancia de las orillas y en el curso del río hasta el encuentro de un afluente mayor. (que dé un aporte de más de un 30% del caudal que lleva el río en el punto de toma)</p> <p>Datos de población diferenciados por género y edad, condiciones de riesgo social, organización, relaciones de poder, actividades productivas y de dependencia. La información de los censos nacionales es muy útil para esta sección.</p>
Contexto socioeconómico	
Poblaciones aledañas	<p>Describir y caracterizar las comunidades que se ubican aguas arriba y aguas abajo del sitio de intervención del cauce. Mencionar las comunidades que se ubican en ambos lados del río en una cercanía de hasta un 1 kilómetro de distancia de las orillas y en el curso del río hasta el encuentro de un afluente mayor. (que dé un aporte de más de un 30% del caudal que lleva el río en el punto de toma)</p> <p>Datos de población diferenciados por género y edad, condiciones de riesgo social, organización, relaciones de poder, actividades productivas y de dependencia. La información de los censos nacionales es muy útil para esta sección.</p>

<p>Usos del río que están identificados en el mismo sistema</p>	<p>Para facilitar la recolecta de información, se sugiere identificar sectores en cuenca alta, media y baja, que tengan condiciones semejantes para agrupar los usos por sector, los límites del sector deben ser naturales o lógicos, que integren la relación real entre el uso y el río.</p> <p>Enlistar los diferentes usos asociados directamente al río, los usos se pueden clasificar inicialmente por ser consuntivos o no consuntivos. En el cuadro 2.2. se incluyen ejemplos de usos observados en diferentes cuencas.</p> <p>En este tema es muy importante destacar el papel de la mujer y el uso que realiza del recurso, en el módulo de Gobernabilidad se dan instrucciones específicas para la recolecta de información con enfoque de género. Así mismo, tener en cuenta usos culturales.</p>
<p>Servicios ecosistémicos</p>	<p>Estos se diferencian de los usos directos mencionados anteriormente, se relacionan a los beneficios, tangibles e intangibles, que se derivan de la naturaleza para provecho del ser humano y que son considerados como parte del capital natural de un país o región. (Valdez y Ruiz 2012). Existen diferentes <u>clasificaciones para los servicios ecosistémicos</u>, una de los más aceptadas es la de la evaluación de ecosistemas del milenio (2003) y actualizado en el informe 2005 que se presenta en la figura 2-1.</p> <p>Los servicios ecosistémicos tienen gran importancia en el manejo social de situaciones de conflicto, en el módulo de gobernabilidad se refiere a los temas de conflicto.</p>
<p>Concesiones de agua existentes en el mismo sistema</p>	<p>La Dirección de Aguas o de Recursos Hídricos de cada país, lleva un registro de las concesiones de agua que han sido otorgadas en el mismo río, este será un dato importante para la información que se requiere más adelante, en algunos casos, la información está disponible en línea. Todas las concesiones otorgadas con anterioridad a su solicitud tienen prioridad y deben respetarse. También existen tomas de agua no registradas de consumos menores y existen las tomas ilegales, las cuales se dan de hecho, pero no han llevado ningún proceso de permiso y por lo tanto no se contabilizan en los registros, el problema es que están tomando el agua del mismo sistema y afectan los cálculos para definir el caudal ambiental. Por lo que es importante identificar su existencia..</p>

Contexto Ecológico	
Zona de vida en la que se ubica el proyecto	<p>La zona de vida se refiere a la unidad ecológica que corresponde, se utiliza la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967), pero también se puede utilizar alguna otra zonificación de unidades ecológicas que esté debidamente referenciada. En el caso del sistema de zonas de vida existen mapas para Centroamérica en general y en específico para cada uno de los países, están disponibles a diferentes escalas y en formato digital, también los hay para Ecuador, Perú, Colombia y otros países. La zona de vida se asocia a una caracterización de la vegetación y conlleva información de las características de los ecosistemas que se pueden encontrar en la región, según la relación entre la precipitación, biotemperatura y piso altitudinal. También los grupos de fauna se asocian a las zonas de vida en las que se les puede encontrar.</p>
Ubicación respecto a presencia de áreas silvestres	<p>Señalar la presencia y proximidad a ecosistemas frágiles, humedales, áreas protegidas, tanto en el sistema estatal como privado. Esta información es de gran importancia para la clasificación de la afectación. La relación en el contexto depende de cuanto se puede ver afectada esta área silvestre con respecto al uso del agua por el proyecto o actividad. Existen limitaciones para la utilización de fuentes de agua que se encuentran en una categoría de protección.</p>
Biodiversidad	<p>Describir y caracterizar las comunidades que se ubican aguas arriba y aguas abajo del sitio de intervención del cauce. Mencionar las comunidades que se ubican en ambos lados del río en una cercanía de hasta un 1 kilómetro de distancia de las orillas y en el curso del río hasta el encuentro de un afluente mayor. (que dé un aporte de más de un 30% del caudal que lleva el río en el punto de toma)</p> <p>Datos de población diferenciados por género y edad, condiciones de riesgo social, organización, relaciones de poder, actividades productivas y de dependencia. La información de los censos nacionales es muy útil para esta sección.</p>
Contexto socioeconómico	
Poblaciones aledañas	<p>Describir y caracterizar las comunidades que se ubican aguas arriba y aguas abajo del sitio de intervención del cauce. Mencionar las comunidades que se ubican en ambos lados del río en una cercanía de hasta un 1 kilómetro de distancia de las orillas y en el curso del río hasta el encuentro de un afluente mayor. (que dé un aporte de más de un 30% del caudal que lleva el río en el punto de toma)</p> <p>Datos de población diferenciados por género y edad, condiciones de riesgo social, organización, relaciones de poder, actividades productivas y de dependencia. La información de los censos nacionales es muy útil para esta sección.</p>

Cuadro 2.1: Ejemplos de usos del agua.

Cuadro 2.1 Ejemplo de clasificación de usos del agua (se recomienda apearse a lo recomendado por la legislación de cada país)	
Consumo humano	Doméstico unipersonal
	Doméstico poblacional
	Otros (agua potable para diferentes servicios, oficinas, centros educativos, centros culturales)
Agropecuario	Animales domésticos, necesidades varias en una finca
Riego	Por cultivo y área
Agroindustria	Procesos de café, banano, caña y otros
Acuicultura	Cultivo de peces
Industrial	Bebidas, hielo, lavandería, producción de papel, etc.
	Construcción
Industrial	Tenerías
Generación hidroeléctrica	Con embalse o filo de agua, restitución
Turismo	Hotelería, restaurantes, parques temáticos, piscinas
Recreación	Instalaciones deportivas, ferias y circos
Comunicación y transporte	Estaciones de autobuses, estacionamientos
Espacios abiertos	Parques, jardines

Cuadro 2.2 Usos del río clasificados por consumo

Uso	Clasificación
Doméstico	Consuntivo
Ganado/pastura	Consuntivo
Riego	Consuntivo
Cultivo trucha	Consuntivo
Navegación	No consuntivo
Rafting	No consuntivo
Pesca	No consuntivo
Bañismo	No consuntivo
Turismo	No consuntivo
Deportes acuáticos	No consuntivo
Límite entre fincas	No consuntivo

El agua que se va a solicitar en concesión se puede identificar como el caudal de diseño y se expresa, según sea poca cantidad de agua en litros por segundo (l/seg) o mucha cantidad en metros cúbicos por segundo (m³/seg).

Un metro cúbico por segundo (m³/seg). Equivale a mil litros por segundo (lts/seg.)

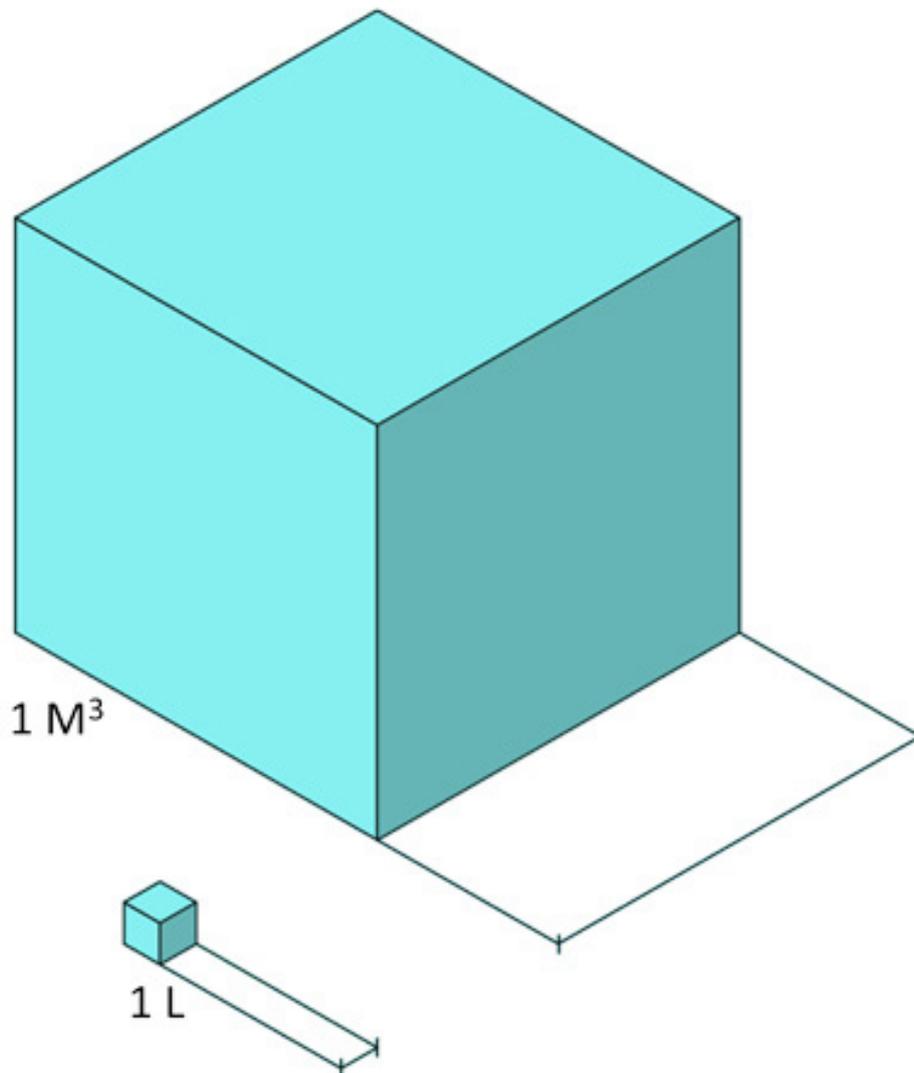
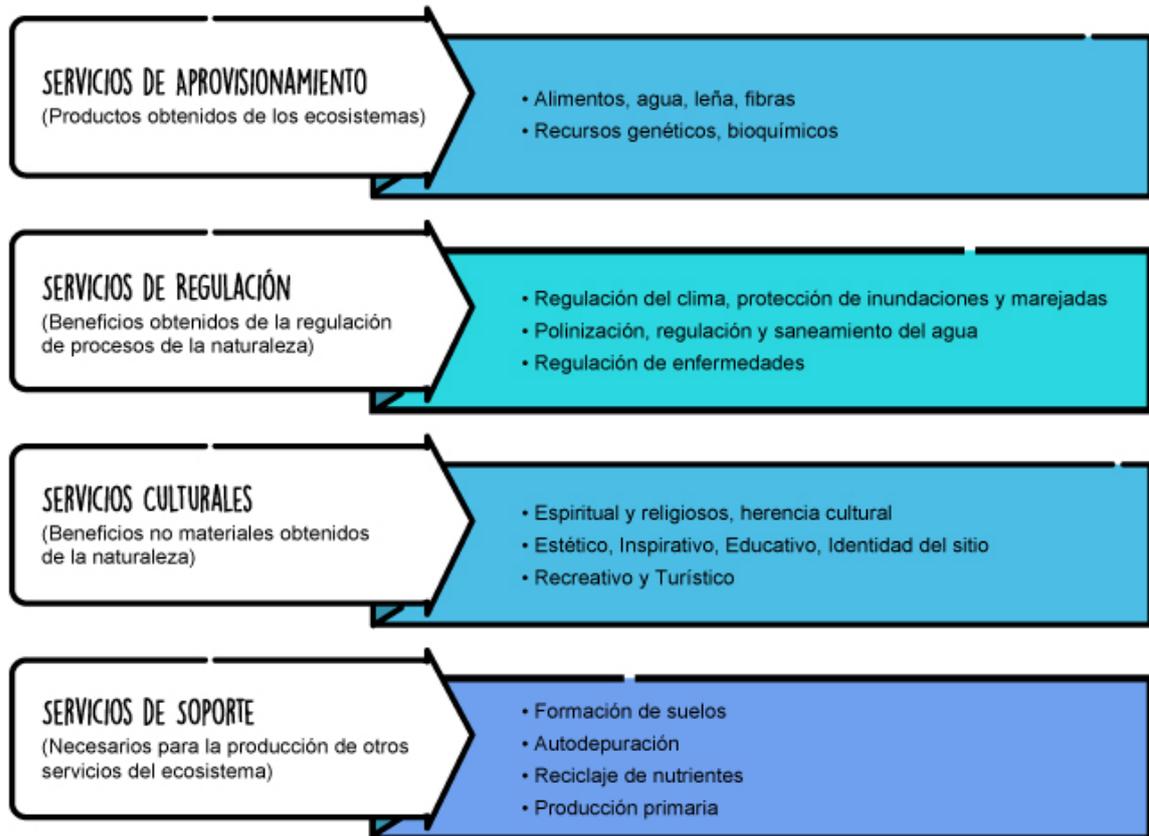
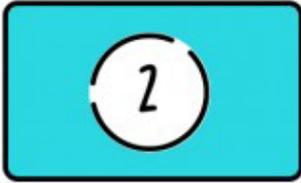


Figura 2-1 Clasificación de servicios ecosistémicos modificado de MA 2005



Cuadro 2-3 Instituciones estatales responsables del agua en cada país de CA

País	Autoridad del agua, Dirección General de Recursos Hídricos, Ministerio del ambiente	Contacto
Guatemala	Dirección de Cuencas y Programas Estratégicos, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales	http://www.marn.gob.gt/paginas/Direccin de Cuencas y Progra...
El Salvador	Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales	http://www.marn.gob.sv/recursos-hidricos-2/
Honduras	Autoridad del agua, Dirección General de Recursos Hídricos, Ministerio del ambiente	http://www.miambiente.gob.hn/?q=node/70
Nicaragua	Dirección General de Recursos Hídricos, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER	http://www.ineter.gob.ni/recuh.html
Costa Rica	Dirección de Aguas, Ministerio del Ambiente y Energía	http://www.da.go.cr/
Panama	Dirección Gestión Integrada de Cuencas, Ministerio del Ambiente	http://www.miambiente.gob.pa/index.php/es/gestion-integradas...



Segundo nivel. Información específica del río

Un segundo nivel de información, más específico y relacionado propiamente al estudio del río se requiere para entender con que recurso se cuenta y las necesidades específicas del proyecto, según la magnitud del proyecto, así será el nivel de requisito de información.

En el tema del caudal ambiental se requiere un buen conocimiento de la dinámica del caudal del río, en especial las variaciones durante el año, la dinámica de periodicidad de eventos tanto máximos como mínimos, cuánto tiempo se prolonga o duración del caudal mínimo, el comportamiento del caudal en el cauce, en especial todo el tramo del río que se va a afectar por la toma.

El agua es el medio en el que se desarrollan los habitantes del río, el agua es el hábitat de estas especies, por lo tanto, conocer cuánta agua hay, cuándo está disponible y que calidad tiene, son las condiciones que marcan la vida en el río.

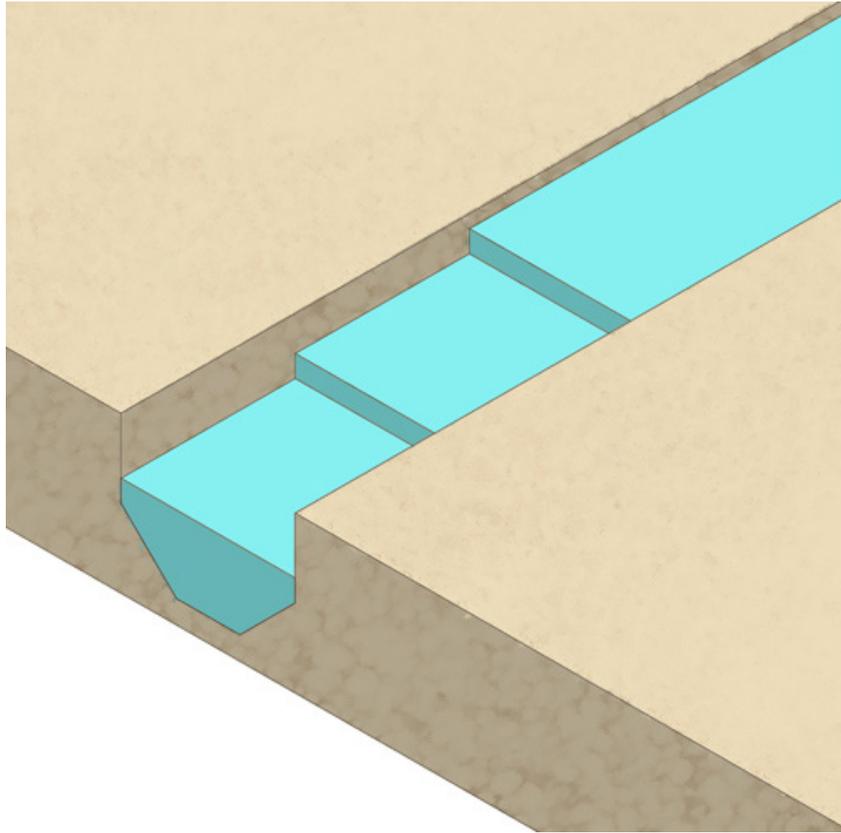
Información hidrológica: Conocer el río.

La información hidrológica es el primer paso para conocer con cuanto recurso se cuenta. El agua es la materia prima de estos proyectos y por lo tanto la planificación y sostenibilidad de un proyecto depende de cuánta agua está disponible en ese punto, cuándo está disponible, cómo varía en el año, cómo se ha comportado el río históricamente. Entre más y mejor

información se tenga del propio sistema, mejor va a ser la certeza para estimar con qué recurso se cuenta. No basta tener un dato de caudal promedio anual, en la medida de lo posible se debe aplicar la estadística de uso común en hidrología que permita trabajar con series de caudal, curvas de duración, determinación de máximos y mínimos, los períodos de duración de los caudales mínimos y otros.

La falta de información hidrológica ha sido el punto débil de toda la gestión del recurso hídrico en los diferentes países. Por diferentes razones, hay muy pocas estaciones de medición hidrológica, algunas contemplan pocos años y ocasionalmente hay una o dos estaciones por cuenca. Adicionalmente, la información se encuentra en bases de datos de acceso restringido, por lo tanto, se reconoce la limitación de que existe poca información, sin embargo no se justifica que proyectos de alta inversión tomen el alto riesgo de trabajar y proyectar el negocio con muy poca certeza de que van a tener el agua que se necesita y cuando se necesita. En el proceso de planificación de una inversión de alto nivel y totalmente dependiente del recurso agua, se debe empezar por la instalación de estaciones hidrológicas con suficiente anticipación, preferiblemente décadas antes de construir un proyecto.

El agua que hay en el río en cada época del año es un conocimiento básico para poder hacer un uso, a veces no se dimensiona la diferencia que puede significar un m^3/seg . En la siguiente figura se muestra cómo se puede ver en un cauce la diferencia en perder un m^3/seg .



Por otra parte, las instituciones estatales responsables del recurso agua, deben también hacer el esfuerzo por documentar su capital natural en este recurso. Los diferentes programas internacionales como el Programa Hidrológico Internacional de UNESCO (PHI-UNESCO) han trabajado por más de cinco décadas procurando que la información hidrológica esté disponible para la toma de decisiones, la prevención de riesgos como en sequías e inundaciones, el cambio climático, el saneamiento y muchos otros campos que impactan en el bienestar humano. Temas como mantener actualizada la información sobre el balance hídrico de cada país, es una prioridad en la que se debe destinar los recursos disponibles.

Se trata entonces de buscar cómo cerrar el faltante de información con las técnicas que mejor se ajusten al tipo de proyecto, sin poner en riesgo la sostenibilidad del mismo, ni comprometer los ecosistemas ni los servicios sociales que de estos se derivan.

Para toda concesión se necesita al menos realizar un aforo en estiaje en el punto de captación (capítulo 3, del reglamento manual técnico departamento de aguas-CR) y preferiblemente otro en época lluviosa. A partir de ahí, la necesidad de información va relacionada a la cantidad de agua que se necesita. Es muy importante poder documentar las variaciones estacionales. Las diferentes instituciones a cargo de otorgar las concesiones tienen su sistema para identificar si se cuenta con el agua para suplir la concesión solicitada, al contemplar el caudal ambiental, se introduce un criterio más que se debe contabilizar en esa disponibilidad.

Los registros de caudal, ya sea que provengan de estaciones hidrológicas manuales, de aforos periódicos o de estaciones automatizadas, deben ser analizados por personal capacitado para valorar calidad de los datos, consistencia y confiabilidad del registro. Máquinas y humanos son susceptibles a error y es importante depurar los datos para tener la seguridad que se cuenta con una base de datos confiable.

Existen en la literatura metodologías que permiten realizar una reconstrucción de la historia del cauce a partir de observaciones en campo, de tal manera que al identificar

las terrazas que señalan por donde ha pasado el río en algún momento, se puede documentar las características que ha tenido el río en su devenir. Se recomienda revisar la referencia de Rosgen 1996, la cual se incluye en la biblioteca de recursos.

Los profesionales en hidrología están capacitados y tienen fe pública respecto al cálculo del caudal de un río, por lo que es recomendable contar con el debido apoyo profesional. Los proyectistas que tienen bajo presupuesto pueden acudir a organizaciones gremiales o a instituciones estatales para suplir las necesidades de información. En la página web de referencia que se da para cada uno de los países de la región Centroamérica (cuadro 2-3) se puede tener acceso a información.

Según la metodología de prescripción de caudal ambiental que corresponda utilizar, así va a ser el nivel de información hidrológica y modelaje que necesita. Cada metodología tiene los requerimientos bien definidos, pero, conocer el caudal y la dinámica del río es esencial hasta para una captación pequeña.

Identificar cuánta agua necesitan los ecosistemas acuáticos para sobrevivir integralmente es uno de los objetivos de las metodologías hidrobiológicas y de las holísticas. Este tema se relaciona también a lo que se denominan reservas de agua, en las que se busca contabilizar el agua para los ecosistemas y reservarlo de lo que puede ser concesionado. En algunos casos se recomienda no concesionar más del 60% del caudal disponible en la época seca. De tal manera que ahí se pueda asegurar la integralidad de los ecosistemas acuáticos a pesar de no tener mediciones de los requerimientos particulares.

Información socioeconómica

En este segundo nivel se profundiza en la valoración de la importancia de los usos específicos en el sector que sería afectado por el proyecto. Esta información es relevante en la toma de decisiones, ya que entran en juego razones de gobernabilidad, manejo político, relaciones de poder y conflicto de usos. Se toman en cuenta los usos sociales ya identificados en el nivel 1 y los servicios ecosistémicos. Es importante la objetividad en la valoración de la importancia de los diferentes usos y servicios, para lo cual se han desarrollado herramientas que permiten dar un valor objetivo a cada uso en la situación específica de ese contexto. Las metodologías RANA (Krasovskaia y colaboradores 2014) y la metodología de construcción de bloques conocida como BBM (King y colaboradores 2008) proponen métodos para lograr esta valoración objetiva.

Un tema de trabajo es la priorización de usos, entre los cuales, sin mayor discusión, el consumo humano y la sanidad tienen prioridad sobre todos los usos, a partir de ahí, en cada país se contempla en su ley la jerarquía de los usos, sin embargo, en muchos de los casos la ley de aguas es muy antigua y en ocasiones contempla usos que ya son obsoletos, por lo que es importante el ejercicio a nivel local, de cuáles serían las prioridades de los usos.

Aspectos de género, diversidad cultural, servicios ecosistémicos y otros factores que puedan enfrentar usos del agua, deben ser considerados especialmente en los temas socioeconómicos

Información del ecosistema acuático

En este nivel se caracteriza el ecosistema acuático en su dimensión física, biótica y funcional.

Los factores físicos se analizan tanto respecto al hábitat como en la variación de los factores que lo definen: calidad del agua, temperatura, sustrato, distribución de la velocidad y profundidad del agua, diversidad de hábitat (presencia de pozas, rápidos, bancos de acumulación de materiales entre otros).

Los integrantes bióticos incluyen la composición de comunidades, especies de fauna vertebrados e invertebrados, la vegetación acuática y las especies de la ribera, ya que son muy importantes en el aporte de nutrientes al sistema ripario. De la lista de especies se seleccionan aquellas que puedan calificar como especies indicadoras de cambio de caudal. Una lista propuesta por Chaves y colaboradores (2006) incluye candidatos de los diferentes grupos de vertebrados y macro invertebrados que pueden ser utilizados como indicadores de cambios de caudal, en los ríos tropicales. Se aportan también rangos de preferencia de hábitat teóricos en términos de velocidad y profundidad, como resultado de una consulta a expertos. Se recomienda que esta información sea corroborada en campo, de acuerdo con la oferta de hábitat que se encuentra en el sistema estudiado.

Funcionalidad del ecosistema: aquí se contemplan las relaciones tróficas, conectividad longitudinal (a lo largo del río) conectividad lateral (hacia los bordes del río), ciclos por edades

o etapas de vida. La aplicación de modelos que relacionen la variabilidad del hábitat con los eventos críticos del ciclo de vida y las preferencias de hábitat son de mucha utilidad para entender la funcionabilidad del ecosistema acuático.



Tercer nivel. Información específica del proyecto relevante al nivel de modificación del sistema hídrico

En este nivel se relaciona las características del proyecto y el nivel de cambio que va a provocar en el sistema del río.

Información del proyecto relevante a modificar el sistema hídrico	
Es consuntivo o devuelve el agua al sistema	Dónde, cómo y cuánta agua vuelve al río
Caudal de diseño	Cuanta agua requiere en m ³ /seg
	O en lt/ seg
Obra en cauce	Presa (altura)
	Derivación parcial
Embalse	Retiene el agua, por cuanto tiempo
	Tamaño y capacidad de embalse
Para proyectos de producción de energía	Período de operación diario
	Ubicación de restitución respecto a toma
Relación entre caudal existente y caudal a ser aprovechado.	% de afectación
	Caudal de diseño ----- X 100
	Caudal promedio anual de estiaje
Conflicto de Uso	Se identificó algún uso que puede estar en conflicto con la solicitud.
	El proyecto se ubica en una zona de escasez de agua.
	Está el sistema sobre concesionado
Área Protegida	Existen poblaciones indígenas que dan un uso cultural al río.
	Existen humedales, ecosistemas frágiles, áreas protegidas que se afectan por disminución de caudal o que se haya establecido una reserva de agua
Especies migratorias o en peligro	Existen en el ecosistema acuático especies que están declaradas en amenaza o en peligro de extinción
	Hay especies que realizan migraciones a lo largo del río y en el tramo donde se ubica el proyecto

Bibliografía

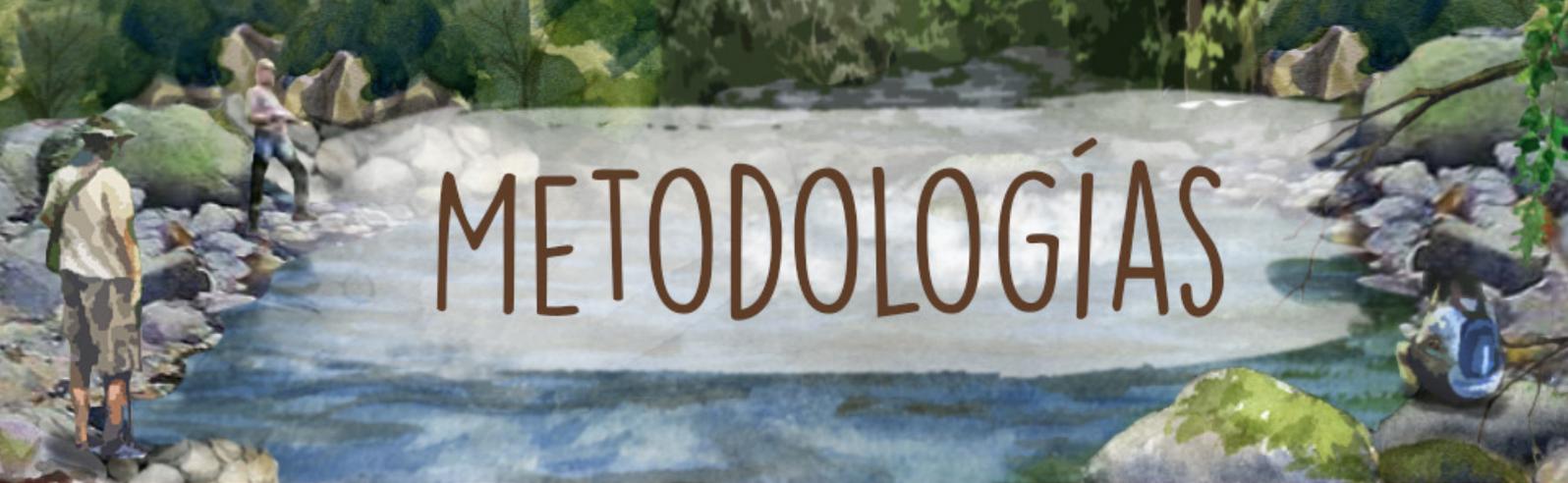
Camacho Valdez y Ruiz Luna 2012. Marco Conceptual Y Clasificación De Los Servicios Ecosistémicos. Revista Bio Ciencias. Vol.1 Núm. 4 Año 2 pp 3- 15.

Chaves, A. I. Krasovskaia, L. Gottschalk. 2006 Environmental demands for sustainable regulation schemes in the humid tropics. In Climate Variability and Change-hydrological impacts. IAHS publication 308: 569-572

Holdridge, L.R. 1967 Life Zone Ecology. Rev ed.San José Tropical Science Center.

Krasovskaia, Irina y Gottschalk Lars. Caudal de Compensación, Fase 2. Determinación del caudal adaptativo. Reporte final. Versión en español. San José Costa Rica. Instituto Costarricense de Electricidad. 2014.

Millennium Ecosystem Assessment. 2003 Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment. Washington, DC: Island Press, 49-70



METODOLOGÍAS

Metodologías utilizadas para determinar el caudal ambiental

En este módulo se presenta información sobre los diferentes enfoques, metodologías y modelos que existen para definir el caudal ambiental que se debe mantener en un río para un proyecto en particular.

Métodos por Enfoque:

Método "Observado" (Indices Hidrológicos).

Enfoques basados en discusión y análisis hidrológico

Métodos de Hábitat

Métodos Híbridos

Métodos Holísticos

Descripción de Metodologías:

Instream Flow Incremental Methodology

Building Block Methodology BBM

Ecological limits of hydrologic alteration: ELOHA

RANA

Modelos:

IBER

PHABSIN

Índice de idoneidad

Para determinar o establecer el caudal que se debe mantener en un río cuando se hacen aprovechamientos, se han propuesto más de 200 metodologías que se han utilizado en más de 50 países (Tharme, 2003). Estos métodos se basan en diferentes criterios, objetivos e intereses, todas estas metodologías han sido analizadas y clasificadas (Palau, 1994) a fin de brindar un abanico de opciones a los interesados, algunas han sido muy utilizadas, pero no necesariamente cumplen con lo que ahora se entiende por caudal ambiental, ya que se limitan al análisis de un solo aspecto de la compleja dinámica del ecosistema acuático.

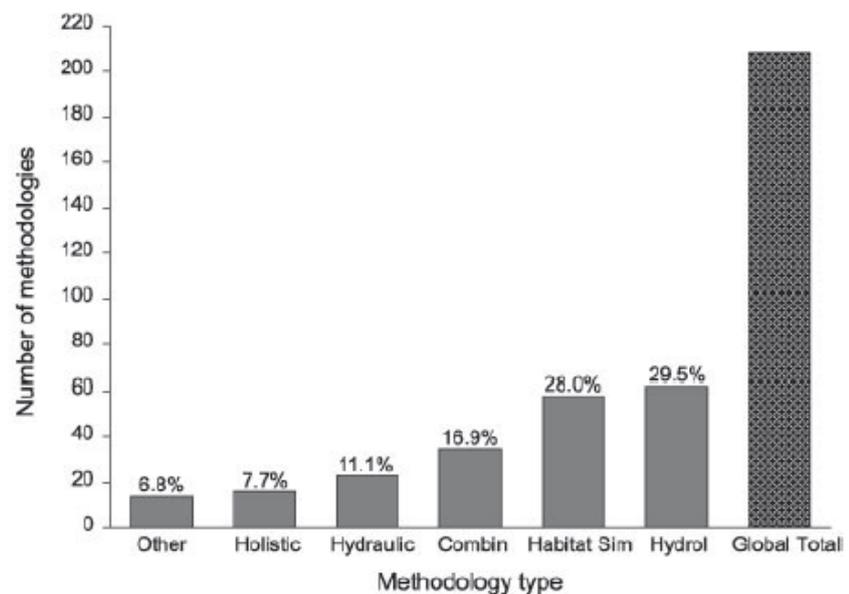


Figura tomada de Tharme (2003), en la que se presentan los tipos de metodologías utilizadas en el mundo entero y su proporción relativa al total global, los grupos son otras, holísticas, hidráulicas, combinadas, simulación de hábitat, hidrológicas y total global.

En términos generales, algunas metodologías entran en la clasificación de métodos estrictamente hidrológicos, basados en registros de caudales. Estos métodos fueron muy utilizados en los años 80 y 90, actualmente se consideran poco integrales ya que no toman en cuenta variables biológicas ni funcionales de los ecosistemas fluviales y tampoco factores socioeconómicos.

En ocasiones se interpreta que al ser solamente basadas en información hidrológica son métodos más simples, lo cual es una percepción errada, ya que la cantidad de información, años de registro y análisis estadístico es tan complejo como el necesario para cualquier otra metodología de un nivel de análisis integral.

Otra clasificación son los criterios hidráulicos o hidráulico-biológico, estos se basan en estudios morfo hidráulicos que determinan el hábitat de una comunidad acuática específica, se han trabajado principalmente con peces, sin embargo estas metodologías han perdido la atención y son considerados métodos de "segunda generación", ya que con el trascurso de los años han ido apareciendo métodos que se consideran más adecuados para poder calcular caudales ambientales, como lo son las simulaciones de hábitat o de "tercera generación", estas toman en cuenta un grupo más extenso de variables, entre las cuales se puede mencionar las morfo hidrológicas, fisicoquímicas, tróficas y las relaciones con variables biológicas y poblacionales, como biomasa, densidad, etc. Esto con el objetivo de poder definir preferencias de hábitat y determinar un caudal más acertado, sin embargo estos métodos, son los más costosos y los que requieren más tiempo (Pizarro, 2004).

Por otra parte, algunos de los enfoques para establecer un caudal ambiental se pueden categorizar según la relación con la condición de la propuesta, ya sea porque se cumpla un

porcentaje del caudal promedio, se establezca un umbral mínimo o un régimen de caudal que semeja el caudal natural.

Según el enfoque, algunos métodos se clasifican como "top down" (de arriba hacia abajo) o "botton up" (de abajo hacia arriba).

Un método es definir un porcentaje del caudal donde se propone cumplir con bandas de alteraciones del régimen del caudal natural (límites de la sostenibilidad admisibles), que en lugar de un umbral se define un porcentaje del caudal para cada condición estacional predominante, por ejemplo, un porcentaje de la época seca o de la época lluviosa. Este es un enfoque "top down". De esa manera, se asume que si se mantiene el régimen del caudal natural se va a minimizar el riesgo de afectar el ecosistema.

Otro método es definir umbrales de caudal mínimo: Cuando se establecen niveles de caudal mínimo anual o estacional que no deben ser superados, o sea que no se admite un caudal menor al umbral definido. Lo que tampoco significa que se va a mantener ese mismo caudal mínimo todo el año. Lo cual ha sido una práctica en la normativa de muchos países, donde se ha definido un caudal mínimo que se mantiene estable. El caudal mínimo aceptable se puede relacionar a mantener las condiciones óptimas para una especie o para un uso determinado.

Otra opción es la construcción sistemática de un régimen de caudal modificado: Se propone un patrón de caudal con elementos bien definidos que representan el régimen de

caudal, ya sea para lograr condiciones particulares ecológicas, calidad del agua, geomorfológicas o usos sociales u otros objetivos en el caudal modificado. Este es un enfoque "bottom up" que construye un régimen de caudal para alcanzar objetivos específicos para un estado ecológico o funcional determinado.

Según resume Krasovskaia (2007), Dunbar et al. (1998) los organiza según el enfoque o de acuerdo a las características de la información en las que se basa la metodología, así los divide en:

- Enfoque (método) observado, o levantado.
- Enfoque basado en discusión y análisis hidrológico
- Modelos basados en respuestas biológicas.

Algunos métodos están dirigidos a establecer un estándar "óptimo", o dirigidos hacia ciertos objetivos específicos.

Mientras que Jowett (1997) sugirió otra subdivisión:

- Métodos de caudal histórico
- Métodos hidráulicos
- Métodos de hábitat

Los métodos de caudal histórico corresponden aproximadamente al "Enfoque de levantado" que propuso anteriormente Dunbar, los métodos hidráulicos forman parte del análisis hidrológico y los métodos del hábitat se parecen a modelos basados en respuestas biológicas. Por su semejanza, se describen en forma general los métodos que calzan en estas dos clasificaciones.

Método “observado” (índices hidrológicos)

Entre los métodos de mayor uso a nivel mundial, las técnicas de “observación” o levantado tienen el liderato. (Dunbar et al. 1998). Este método es basado en índices hidrológicos simples tales como porcentaje del caudal natural promedio o porcentaje de excedencia de la curva de duración del caudal natural. El propósito es determinar un cierto caudal ecológico mínimo estándar que dependa de las variaciones estacionales, o de un cierto umbral “óptimo” deseable. El método, en su etapa inicial, lleva mucho trabajo. Cuando están establecidos, los estándares pueden ser utilizados con eficacia para monitorear, y ayudar a identificar, los sectores del río donde son necesarias otras investigaciones. Como “valores estándares” se utilizan la mediana de los caudales mínimos diarios (Dinamarca); el 25% del caudal promedio anual (Canadá Atlántico); mayor que 1/40 del caudal promedio para esquemas existentes y 1/10 - para los nuevos (Francia); el 10% del caudal promedio (España, en la ausencia de más detalles); porcentaje del caudal promedio anual de acuerdo con las diferentes etapas de la función de la vida, ej. 10%, 30% de la supervivencia para un sistema acuático sano (método de Tennant, Tennant 1976); porcentajes variables de las medianas de los caudales mensuales (método de Texas para condiciones con las distribuciones de frecuencia de los caudales positivamente sesgados, Matthews y Bao 1991, E.E.U.U.). El uso de los índices derivados de las curvas de duración del caudal parece ser prometedor. Es claro que los “métodos observados” son, sobre todo, útiles para las valoraciones de las estimaciones de “nivel-uno” (marginales).

Enfoques basados en discusión y análisis hidrológico

Estos métodos se basan en el uso estructurado de las opiniones de expertos y de análisis hidrológicos. El uso de las opiniones de expertos expresados durante talleres temáticos estructurados está aumentando alrededor del mundo. Este método permite traer y usar la gran experiencia acumulada de los expertos, que es difícil de cuantificar de otra manera. El enfoque de panel de expertos puede ser parte de un análisis holístico que incluyen otros métodos. Ejemplos de los países en donde este método se utiliza activamente son: Australia (ej. Swales y Harris 1995), Austria, España, Suiza, Costa Rica (Chaves et al 2006) y el Reino Unido. A continuación se hace mención de las etapas claves emprendidas en un estudio holístico por un equipo de expertos tomadas de un ejemplo australiano (Thoms y otros, 1996):

- Informe inicial de los miembros del panel; criterios, sectores y sitios.
- Inspecciones del campo con reporte de los resultados iniciales.
- Reuniones públicas con los grupos interesados de la cuenca.
- Taller intermedio.
- Distribución del informe del panel.
- Taller final del panel y de los grupos de interés de la cuenca.

El análisis hidrológico se realiza generalmente como parte del análisis de gabinete de los datos históricos (Petts et al., 1996). Estos métodos son diferentes al "método observado" porque implican la generación y el análisis de series de tiempo hidrológicas alternativas, así como análisis de la información

biológica existente en lo referente a caudales históricos. Al respecto, un diálogo activo entre los ecólogos y los hidrólogos es esencial. Otro tipo de análisis hidrológico incluye investigaciones de campo directas para describir el hábitat en una perspectiva hidrológica. Los enfoques regionales (siempre que sean posibles) tienen un valor agregado.

Los métodos hidráulicos simples se han utilizado en numerosos casos durante mucho tiempo (e.g. en los E.E.U.U.).

La conservación del perímetro mojado es un ejemplo de los métodos de este grupo, usado para definir caudales ambientales en Australia, por ejemplo. La idea se basa en la determinación de un "punto de quiebre" en el perímetro mojado, en relación con el caudal correspondiente, es decir, el punto cuando el crecimiento del perímetro mojado disminuye y el caudal todavía está creciendo. Gippel y Stewardson (1996) proporcionan una revisión útil de este enfoque. Según ellos, los valores obtenidos son algo más altos que los especificados históricamente. La ventaja de este método es que no requiere relaciones detalladas de las especies o del hábitat.

Métodos de hábitat

La metodología detallada más común y consistentemente aplicada en este grupo, es la metodología incremental del caudal (Instream Flow Incremental Methodology - IFIM) y sus variaciones (ej. los E.E.U.U., República Checa, Canadá, Austria, España, Suiza). Este método se utiliza a menudo en el marco de enfoques holísticos. El método IFIM se considera al mismo tiempo uno de los métodos que más demanda recursos. La metodología consiste en un marco conceptual para presentar a los tomadores de decisiones con series de opciones gerenciales y de consecuencias previstas. Proporciona una plataforma para negociaciones y la toma de decisiones. El análisis hidrológico y las simulaciones físicas del hábitat son parte esencial del IFIM, que puede también incluir otros bloques. Según resume Bovee, (1995) en el IFIM se incluyen las siguientes fases:

- Identificación y diagnóstico del problema
- Análisis legal e institucional
- Análisis de temas
- Planeamiento del estudio
- Selección de métodos apropiados
- Objetivos del estudio
- Límites del problema
- Definición e identificación de líneas bases
- Alcance: Hidrología, geomorfología, temperatura, calidad del agua, Micro hábitat
- Puesta en práctica del estudio
- Componente hidrológico
- Temperatura y calidad del agua
- Micro hábitat físico
- Integración del Macro y Micro hábitat

- Análisis alternativo
- Formulando y probando alternativas
- Resolución de problemas
- Negociación

El modelaje del hábitat es una parte esencial de los métodos de hábitat y es de uso frecuente dentro del marco del IFIM.

Entre los métodos más ampliamente utilizados (pero también demandante de cantidad de datos) está el PHABSIM (simulación física del hábitat) desarrollado por el Mid-continent Ecological Science Centre, del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los E.E.U.U. en los años ochenta. Este modelo permite determinar los impactos causados por los cambios en regímenes del caudal en el hábitat físico, dentro de la corriente, sobre las especies seleccionadas. El modelo PHABSIM utiliza dos etapas en la recolección de los datos: 1) características físicas del canal (niveles del agua y velocidad de la corriente en los transectos; estudio de campo sobre la geometría del canal) y 2) condiciones físicas del hábitat que son aceptables o no para la especie acuática. El modelo ayuda a ver cómo un hábitat puede variar sobre la base espacial y temporal con la ayuda de relaciones entre el hábitat físico potencial (área útil pesada WUA) y el caudal en el río. El modelo se ha utilizado, por ejemplo, en los E.E.U.U., República Checa, Reino Unido, Canadá, Austria, Australia, Panamá, España y México. El modelo no proporciona una sola respuesta, sino un abanico de opciones para negociar.

Otro ejemplo de los modelos del hábitat es el EVHA (Evaluación del Hábitat). (Ver por ejemplo, Ginot, 1995) desarrollado por Cemagref, Lyon en colaboración con EDF

(Electricité de France), Francia. Este modelo también se ha utilizado en Finlandia. Las diferencias principales con PHABSIM son: diversos métodos para el cálculo del índice del sustrato apropiado para una celda; uso de un modelo hidráulico sencillo y de la ecuación de Limerinos para describir la hidráulica del canal con unidades métricas.

CASIMIR (Computer Aided Simulation Model for Instream flow Requirements in regulated streams), Jorde, (1996) es un modelo utilizado en Alemania. El modelo incluye tres tipos de hábitat (fondo, acuático y ripario). Se utilizan para calibrar el modelo varios caudales tomados en puntos aleatoriamente seleccionados. El modelo incluye también bloques para el análisis hidrológico y económico.

RFS (River Flow Simulator), Killingtveit & Harby, (1994) es un sistema de simulación hidrológico/ limnológico Noruego que también incluye modelos del hábitat. La simulación hidráulica es modelada por el HEC-2.

Ha habido varias tentativas de desarrollar técnicas regionales para los modelos del hábitat para aplicación a nivel de cuenca. Sin embargo, un gran estudio multidisciplinario de PHABSIM no sería posible ni apropiado (Dunbar y otros. 1998)

Métodos híbridos.

Muchos estudios combinan elementos de los métodos presentados anteriormente. El método de Tennant es un ejemplo. Éste está basado en relaciones regionales estandarizadas entre el porcentaje del caudal promedio y la calidad de la industria pesquera, que se derivan usando la base

de datos de las opiniones de expertos. Los métodos híbridos pueden incluir una combinación de IFIM y de las opiniones de expertos.

El método Vasco (Docampo y de Bikuna, 1995) combina un estudio hidráulico (calibrado de un modelo para estimar la variación en el perímetro mojado dependiente del caudal) y datos de campo sobre la diversidad de las especies. La parte biótica se basa en el concepto del río como un continuo asumiendo que la diversidad de las especies aumenta con el caudal en los tramos altos/medios de un río.

Al elegir un enfoque es necesario considerar cada vez el problema y las condiciones específicas del lugar. El uso a ciegas de las técnicas desarrolladas en otra parte es muy arriesgado. Krasovskaia (2007) recomienda en el marco del proyecto RANA ICE, la utilización de una combinación de estudios. En el cual aplicaron un formato híbrido: comenzar con un análisis profundo de hidrología, aplicar un estudio basado en discusión para establecer las restricciones biológicas naturales y las socioproductivas, investigar las condiciones biológicas naturales y socioproductivas en casos de estudio con respecto a las demandas del caudal mínimo, seguir los pasos del modelo de respuesta biológica y finalmente, trabajar con métodos interactivos de escenarios como herramienta para aplicar los resultados a un caso particular. Probando escenarios se ofrece un marco de negociación para alcanzar un compromiso aceptable entre las necesidades que fueron consideradas históricamente como conflictivas (Everard, 1994).

Métodos holísticos

Los métodos Holísticos, 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 es DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation), la cual consiste en cuatro módulos: biofísico, sociológico, desarrollo de escenarios y económico (King et al. 2008). 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. Con base en 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.

La metodología RANA ICE (Karsovskaja et al 2007 y Krasovskaia y Gotschalk, 2014) propuesta por un equipo de trabajo del Instituto Costarricense de Electricidad y la consultora AB Hydroconsult con apoyo de la Agencia de Cooperación Sueca

ASDI, es considerado un método holístico, incorpora también aspectos hidrológicos, ecológicos y socioeconómicos. En su desarrollo más reciente incorpora aspectos de variabilidad del ecosistema (ver descripción más detallada adelante).

El método desarrollado en Sudáfrica y propuesto por King y colaboradores, (edición actualizada 2008) conocido como Building Block Methodology (BBM) es esencialmente un enfoque prescriptivo, diseñado para construir un régimen de flujo para el mantenimiento de un río en una condición predeterminada. La BBM ha proporcionado además un impulso para la evolución de varias metodologías alternativas de caudal ambiental de tipo holístico, como la metodología DRIFT mencionada anteriormente (Cuadro 3.1)

Como se menciona en este enunciado la existencia de diversas metodologías y enfoques que existen ha producido que diferentes identidades como el Banco Mundial generen una clasificación basada en los datos requeridos y en el tiempo de evaluación de los caudales (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.1. Datos relativos y requerimientos de tiempo de los métodos de evaluación de caudales seleccionados.

Evaluación de caudales seleccionados				
Tipo de método	Método	Duración de la Evaluación	Confiabilidad	Nivel de Aplicación
Prescriptivos	Tennant	2 semanas	Baja	USA-Extensivo
	Perímetro húmedo	2-4 meses	Baja	USA-Extensivo
	Panel de expertos	1-2 meses	Media	Sudáfrica y Australia-Extensivo
	Holístico	6-18 meses	Media	Australia-Muy Limitado
Interactivos	IFI	2-5 años	Alta	USA,UK-Extensivo
	DRIF	1-3 años	Alta	Lesotho, Sudáfrica - Muy limitada

Fuente: Banco Mundial, 2003 .

Otra institución que ha generado una clasificación de los métodos para calcular caudal ambiental es la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), en esta se realiza una diferenciación de cuatro categorías mencionadas a continuación:

1. Cuadro de consultas.
2. Análisis por computadora.
3. Análisis funcional.
4. Modelos de hábitat.

Cada una de estas categorías requiere de un experto y de diferente información, además se puede analizar un sistema fluvial completo o simplemente una parte (Cuadro 3.2) (UICN,2003).

Cuadro 3.2. Metodologías según el sistema de clasificación de la UICN.

Tipo de Metodología	Descripción
Cuadros de consulta	Son normas prácticas que se basan en índices sencillos que se encuentran en cuadros de consulta. Los índices que más se utilizan son puramente hidrológicos, pero, en la década de los setentas, se desarrollaron algunos métodos que utilizan datos ecológicos
	Los gestores de agua utilizan índices hidrológicos como porcentajes del caudal promedio o ciertos percentiles a partir de una curva de duración del caudal. Se ha adoptado este método para el establecimiento del caudal ambiental con el fin de definir reglas sencillas de operación para presas o estructuras de extracción cuando no existen datos ecológicos o son escaso
	Una vez que se ha desarrollado el procedimiento general, se requieren relativamente pocos recursos para la determinación de caudales mínimos y su aplicación
	Los cuadros de consulta son particularmente útiles para situaciones de escasa controversia
Análisis por Computadora	Los métodos de análisis por computadora utilizan datos existentes, de caudales de ríos obtenidos de estaciones de medición y datos de peces a partir de estudios regulares
	Cuando es necesario, se recopilan datos en un sitio o sitios particulares en el río, para complementar la información existente
	Los métodos de análisis hidrológico por computadora examinan todo el régimen de caudal fluvial en vez de estadísticas pre-derivadas. Un principio fundamental es conservar la integridad, la estacionalidad natural y la variabilidad de caudales, incluyendo inundaciones y caudales bajo
	Cuando utilizan datos ecológicos se basan en técnicas estadísticas que relacionan variables independientes, como caudal, con variables bióticas dependientes, como cifras de población o índices de estructura comunitaria calculados a partir de listas de especies
	Abordan de manera directa el caudal y los aspectos ecológicos en cuestión. Existen algunas dificultades en este tipo de análisis: a) Resulta difícil e incluso imposible derivar índices bióticos que sean solo sensibles a caudales y no a otros factores, como estructura del hábitat y calidad del agua. Cuando menos, deberían utilizarse con suma cautela índices bióticos diseñados para monitorear la calidad del agua. b) La ausencia de datos tanto hidrológicos como biológicos resulta a menudo un factor limitante, y a veces los datos han sido recopilados de manera rutinaria para otros fines y no son adecuados. c) Las series temporales de caudales y los índices ecológicos pueden no ser independientes, lo cual puede infringir los supuestos de técnicas estadísticas clásicas.

Análisis Funcional	Incluyen los métodos que desarrollan una comprensión de los vínculos funcionales entre todos los aspectos de la hidrología y ecología del sistema fluvial
	Incorporan de forma importante la participación de expertos
	El método más conocido de este grupo es la "Building Block Methodology" (BBM–metodología de bloques de construcción), desarrollada en Sudáfrica. La premisa básica de la BBM es la dependencia de las especies por elementos básicos (bloques de construcción) del régimen de caudal, incluyendo caudales bajos e inundaciones, para conservar la dinámica de sedimentos y la estructura geomorfológica del río
	Se requiere de la participación de un grupo multidisciplinarios con alto grado de especialización en hidrología, hidrogeología, hidráulica, biología, entomología, botánica, e ictiología
	Estos métodos se han aplicado de manera rutinaria en Australia (King et al. 2000) y se realizan pruebas en Estados Unidos de Norte América
Modelos de hábitat	Se utilizan datos sobre hábitats de especies objetivo con el fin de determinar necesidades de caudal ambiental. • Relacionan directamente los cambios en el régimen del caudal con la respuesta de las especies y comunidades bióticas.
	Los cambios en las variables físicas de los ecosistemas fluviales son relevantes en este tipo de análisis, debido a las inmediatas perturbaciones que se producen en los hábitats por las alteraciones en el régimen del caudal
	La relación entre caudal, hábitat y especies se puede describir mediante el nexo de las propiedades físicas en los tramos del río, (por ejemplo, profundidad y velocidad del flujo, a diferentes caudales medidos o incluidos en un modelo), con las condiciones físicas que las especies claves de animales y plantas necesita
	Estos métodos van acompañados de representaciones de compatibilidad o preferencia de hábitat para definir los cambios del hábitat respecto al caudal. La magnitud del cambio será específica de la especie bajo estudio, y con frecuencia difiere en diferentes etapas de desarrollo de especies individuales
	En 1976 se publicó el primer intento de formulación de este método para ríos (Waters 1976). Esto condujo muy pronto a la descripción más formal de un modelo por computadora llamado PHABSIM (Physical Hábitat Simulation – Simulación de hábitat físico) por parte del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EE UU (Bovee, 1982)
	IUCN Se han desarrollado otros modelos que siguen básicamente el mismo principio del PHABSIM (Parasiewicz & Dunbar 2001).
	El método de modelos de hábitat ya ha sido adaptado para su utilización en muchos países, incluyendo Francia (Ginot, 1995), Noruega (Killingtviert & Harby, 1994) y Nueva Zelanda ((Jowett, 1989), en tanto que otros países han desarrollado de manera independiente métodos similares (Jorde, 1996).
	Se ha utilizado los modelos de hábitat para estimar los efectos, en función de hábitat físico utilizable y de cambios históricos o futuros en caudales debido a la extracción de agua o construcción de represa

Fuente: UICN

Descripción detallada de algunas las metodologías:

Algunos de los métodos más utilizados y que sirven para resolver situaciones de diferente nivel de impacto en el régimen hídrico, se describen a mayor profundidad y se dan referencias específicas, de tal manera que puedan estar entre el abanico de opciones que un desarrollador de un proyecto o actividad, que utiliza el recurso hídrico y pretenda una concesión de agua, pueda utilizarlos.

Instream Flow Incremental Methodology: IFIM (De su siglas en Inglés) Metodología Incremental para el cálculo del Caudal

Este método fue desarrollado por el departamento de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (Bovee y Milhous, 1978) esta metodología es utilizada con el fin de evaluar los efectos del cambio del caudal en la estructura del canal, calidad de agua, temperatura y disponibilidad de micro hábitat, lo que permite hacer referencias a los factores que pueden verse afectados por los cambios en el caudal. El IFIM es una combinación de varias disciplinas: hidrología, hidráulica, ingeniería, geomorfología fluvial, química del agua, biología y ecología entre otros, debido a esto, es uno de los métodos que se utiliza frecuentemente para evaluar la cantidad de agua que debe permanecer en la fuente de agua que se está aprovechando (Espinoza et al, 2010).

Esta metodología es una herramienta que permite una evaluación del hábitat fluvial para que, de esta manera, se pueda relacionar con los posibles impactos que se pueden ocasionar en el ecosistema fluvial debido a cambios en caudal. El IFIM simula

las diferentes condiciones hidráulicas del microhábitat y evalúa los efectos que se pueden dar por los cambios que implica el aprovechamiento del ecosistema fluvial (Armour et al, 1984).

Es importante tomar cuenta que para aplicar esta metodología, hay que tener los objetivos del proyecto bien claros, así como las especies que se van a analizar, también hay que tomar en cuenta los diferentes intereses de los usuarios del recurso hídrico y de las especies que lo utilizan.

Este método es principalmente utilizado con peces e invertebrados, toma en cuenta variables como velocidad, profundidad, sustrato y cobertura (Stalnaker, 1980). Es importante mencionar que el IFIM es una herramienta para la gestión del agua y no un modelo ecológico, por esta razón, no genera una solución, sino más bien una evaluación de los impactos bajo diversos supuestos.

El éxito del IFIM es el establecimiento de un caudal ambiental que cumpla con los requerimientos de las especies y de los usuarios, por esta razón requiere de un trabajo multidisciplinario.

Pasos para aplicar el IFIM

- Determinar el grado actual de la cuenca
- Establecer el uso que se le quiere dar al ecosistema fluvial
- Determinar el alcance del estudio
- Delimitar la zona de estudio
- Elegir los puntos de muestreo
- Recolección de los datos
- Simulación
- Interpretación de los resultados
- Determinación del régimen de caudales

Building Block Methodology BBM: (De sus siglas en inglés).

Metodología de construcción de Bloques

Este método holístico desarrollado en Sudáfrica por King et al 2002, se basa en los siguientes supuestos:

Las especies que hacen usos del sistema fluvial están adaptadas a las fluctuación de caudal que se dan en las diferentes épocas del año (época lluviosa, época seca) ya que estos conservan la dinámica de los sedimentos

La estructura geomorfológica del río y los cambios artificiales que se provocan en el caudal, pueden ocasionar perturbaciones en el ecosistema y de esta manera pueden cambiar el carácter del sistema fluvial y por ende de las especies que la utilizan.

Este método requiere de trabajo interdisciplinario, los expertos se encargan de recopilar y analizar la información del río en estudio, para mantener la biota, el funcionamiento del sistema. El primer bloque de esta metodología consiste en identificar todos los usos que se le dan al río, cultural, social, económico y ecológico. Generalmente se trabajan desde 1 hasta 5 transectos dependiendo del tamaño del área de estudio. En cada transecto se debe analizar el tipo de sustrato, vegetación riparia y de macrófitas. Además, se requiere la información hidrológica, como curvas de duración de caudal, periodo de retorno, otra información que se debe recopilar es la entrada de agua subterránea. (Castro et al, 2006) (Fig. 1).

En el segundo bloque se procede a analizar la información para establecer la relación entre los caudales y las caracter-

ísticas hidráulicas, la morfología del canal y los biotopos, para generar propuestas de un caudal ambiental que garantice el ciclo de vida de la fauna acuática (peces, macroinvertebrados, renacuajos, etc.) por ejemplo, movilidad de los peces migratorios, desove. También debe garantizar los usos socioeconómicos y culturales del río, además de los ciclos vegetativos de las especies que se encuentran en la ribera, cuyo ciclo de vida dependa de la disponibilidad del agua en determinada época del año, y por último la navegabilidad en los casos que aplica (Aguilera y Pouilly, 2012).

La principal ventaja que tiene este método es que al ser holístico, toma en cuenta una gran cantidad de aspectos del régimen fluvial, lo que lo hace que tenga una mayor probabilidad de sostenibilidad a lo largo del tiempo.

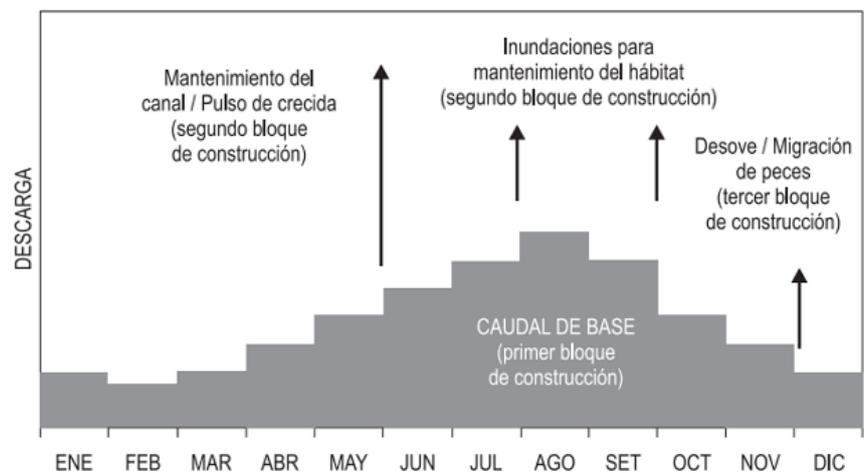


Figura 3.1. Ilustración de la Block Bulding Methodology, Adaptado por King et al, 2008

Ecological limits of hydrologic alteration: ELOHA (De sus siglas en inglés).

Método de límites ecológicos de las alteraciones hidrológicas.

ELOHA es un sistema flexible para determinar e implementar caudales ambientales en una escala regional, a través de información hidrológica y biológica (The Nature Conservancy, 2017). El método surge producto de un comité de científicos especializados en hidrología, ecología y manejo del recurso hídrico, basándose en cuatro argumentos para su implementación (Poff et al., 2010).

Primero argumentaron que la comprensión científica actual en cuanto a la alteración del caudal y por ende, la modificación de los procesos ecológicos, justifica el desarrollo de normas regionales para apoyar la restauración y la conservación de los ríos (Poff et al., 2010).

El segundo argumento para desarrollar ELOHA, es por la gran cantidad de metodologías que se han desarrollado para cuantificar el caudal afectado por el hombre y las alteraciones ecológicas, las cuales proveen una excelente caja de herramientas para determinar caudales ambientales. Muchos de estos métodos y herramientas, pueden ser directamente aplicadas y fácilmente adaptables para evaluar el caudal ambiental de forma regional (Arthington, n.d.; Poff et al., 2010).

Tercero, ya existe una base conceptual para facilitar las evaluaciones de los caudales ambientales regionales. Al clasificar los ríos de acuerdo con características de caudal ecológicamente significativas, se pueden identificar grupos de ríos similares, de

manera que, dentro de un grupo o tipo de río, existe un rango de variación hidrológica y ecológica que puede ser considerado como la variabilidad natural (Arthington, n.d.; Poff et al., 2010).

Cuarto, el desarrollo e implementación de estándares de caudal ambiental a escalas regionales requiere emplear modelos hidrológicos que puedan proporcionar estimaciones razonables, precisas de caudales ecológicamente significativos en ríos o segmentos de ríos distribuidos en una región, incluyendo aquellos que carecen de registro (Arthington, n.d.; Poff et al., 2010).

Por último, se entiende que el manejo de ríos es complejo y debe contemplar la relación socioambiental, por lo que se debe realizar asociaciones entre manejadores e interesados en el aprovechamiento del recurso hídrico (Poff et al., 2010).

Así, el método ELOHA ofrece una solución flexible y científicamente defendible para determinar de manera general las necesidades de caudal ambiental, en casos donde no se pueden realizar estudios detallados para todos los ríos de una región. El método ELOHA se basa en la sumatoria de todos los conocimientos entre la relación caudal-ecología, que se han adquirido a través de décadas de estudios de ríos específicos, aplicando el conocimiento en zonas geográficas tan grandes como un estado, una provincia o una cuenca entera (Arthington, n.d.; Sternberg, 2012).

El marco de trabajo de ELOHA, es una síntesis de una serie de técnicas hidrológicas y ecológicas existentes, que actualmente se están utilizando en diversos grados y que pueden apoyar la gestión integral de caudal regional. En sí, genera relaciones entre la alteración de caudales y las respuestas ecológicas de ríos

con diferentes tipos de regímenes hidrológicos. Con ELOHA, no es necesario obtener información hidrológica y biológica detallada para cada río de forma individual (Arthington, n.d.; Sternberg, 2012).

Las relaciones entre la alteración del caudal y las características ecológicas de los diferentes tipos de ríos constituyen el elemento clave para vincular los aspectos hidrológicos, ecológicos y sociales de la evaluación del caudal ambiental. Estas relaciones se basan entre el caudal y los datos ecológicos de toda la región de interés. La descripción del marco ELOHA se presenta de manera escalonada, reconociendo que es probable que varios procesos científicos y sociales procedan simultáneamente y que muchos tengan que repetirse interactivamente (Poff et al., 2010).

ELOHA consta de los siguientes pasos (Poff et al., 2010; Nature Conservancy, 2017) y que se resumen en la figura 3.2

El proceso social

El proceso social de ELOHA es típicamente un esfuerzo de formulación de políticas impulsado por una nueva ley, reglamentación normativa u orientación política. Este proceso casi siempre está dirigido por una autoridad gubernamental ya involucrada con el sector interesado y se conduce bajo los siguientes tres pasos:

Determinar las condiciones ecológicas aceptables para cada tramo o tipo de río según los valores sociales. Esto se logra identificando los valores ecológicos y culturales a ser protegidos o restaurados mediante la gestión del agua.

Elaborar objetivos de caudal ambiental utilizando relaciones entre alteración de caudales y respuestas ecológicas para asociar la condición ecológica deseada con el grado correspondiente de alteración de caudales para el tipo de río correspondiente.

Implementar la gestión de caudales ambientales mediante la incorporación de objetivos de caudal ambiental en el proceso más amplio de planeación hídrica. Se puede utilizar para jerarquizar proyectos de restauración, optimizar la eficiencia de suministro de agua, o para identificar los efectos acumulativos aguas arriba o aguas abajo de las decisiones de concesión.

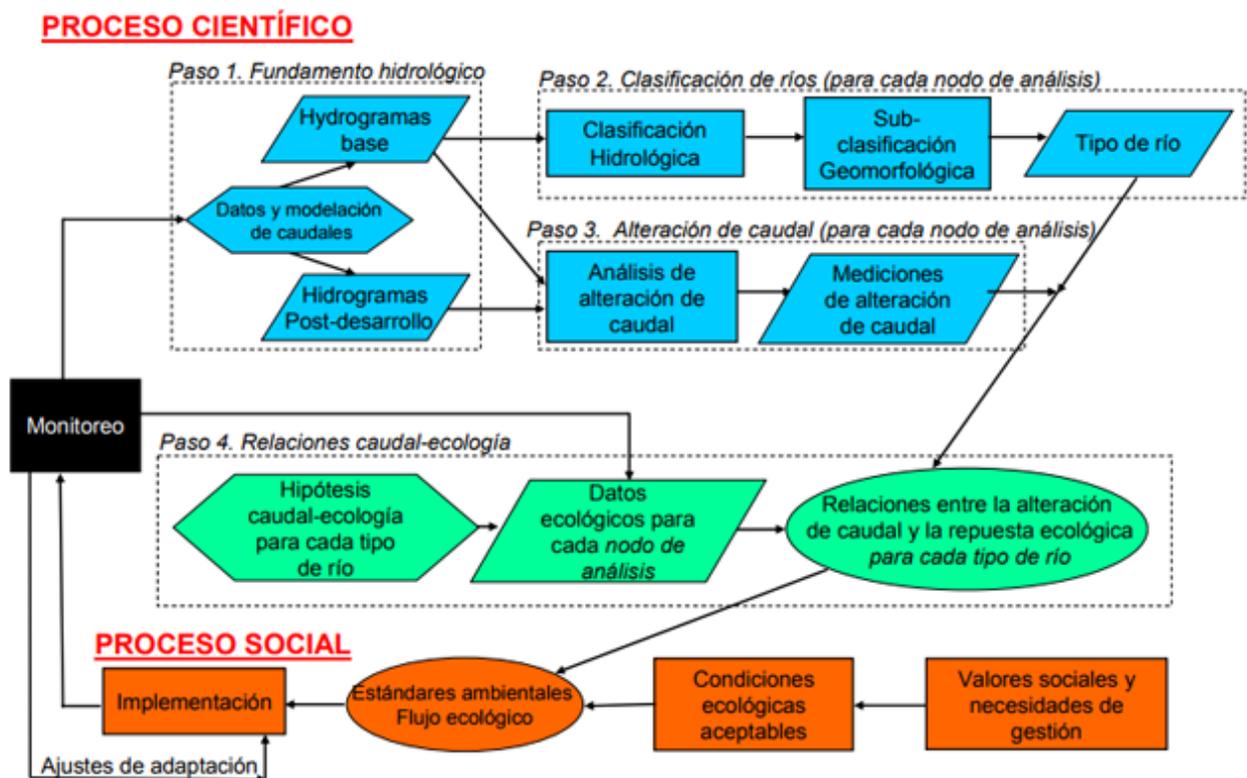


Figura 3.2 Diagrama para proceso de ELOHA, obtenido de www.conservationgateway.org (link is external) (enlace externo)

Metodología RANA

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), desarrolló una metodología para definir lo que se denomina el caudal de compensación, para ser aplicada en los proyectos hidroeléctricos que se estaban analizando en su fase de prefactibilidad. El trabajo se realizó en dos fases, la primera entre el año 2003 y 2007, apoyada por la Agencia Sueca de Cooperación (ASDI) y la segunda fase entre 2013 y 2014, apoyada por el Banco Interamericano de Desarrollo, BID).

Según se expone en el informe final (Krasovskaia y Gottschalk 2014), "el principal objetivo de la Fase 1 fue desarrollar una metodología para la estimación del "caudal de compensación", definida como "caudal mínimo aceptable" para el período más importante de menor caudal para la optimización del uso de los recursos hídricos en Costa Rica.

La metodología desarrollada "RANA" es holístico en su carácter e implica el análisis de la información hidrológica, hidráulica, biológica y socio-económica. Ofrece la posibilidad de analizar el impacto de las diferentes alternativas de regulación de las condiciones biológicas y socioeconómicas en cualquier sector del río estudiado o en el río como un todo durante los diferentes meses del período de menor caudal (diciembre-abril).

El proyecto incluyó un control exhaustivo de los datos de escurrimiento disponibles, incluyendo las curvas de duración e inspecciones de campo, después de lo cual las estaciones indicadoras se clasificaron de acuerdo con su confiabilidad. Se utilizaron todos los datos diarios de 79 estaciones hidrológicas y 235 estaciones de precipitación para el período 1979-2003, con los registros de observación de más de 10 años.

Para la identificación de la red del río, se utilizó un modelo de elevación digital con una resolución de 500x500 m (plataforma IDRISI) y mapas hidrográficos digitalizados, aplicando el software HydroDem (aportado por CEMAGREF).

Se aplicaron métodos de interpolación hidroestocástico para la interpolación y la estimación de los diferentes descriptores de caudal (caudal medio anual de, varianza y curvas de duración de caudal) en cualquier punto a lo largo del río. Se utilizaron restricciones de balance hídrico para asegurar la consistencia de los valores interpolados a lo largo del río. El caudal mínimo fue regionalizado aplicando el enfoque de distribución de derivados, lo que permitió la estimación de estos valores en cualquier punto a lo largo de los ríos.

Las demandas biológicas de hábitat se establecieron con la ayuda de un panel de expertos y estudios de campo intensivos. Los expertos proporcionaron una lista de las especies indicadoras y sus demandas de hábitat, mientras que el trabajo de campo se utilizó para la validación. Se elaboró una metodología especial para la investigación de las preferencias de hábitat en el campo como un esfuerzo conjunto entre los biólogos y los hidrólogos. Se vincularon las preferencias de hábitat de las especies indicadoras a la velocidad del flujo y la profundidad utilizando reglas difusas.

La información sobre las demandas socio-económicas de la corriente del río se obtuvo por medio de inventarios de campo y talleres con los actores. Todos los usos del agua de cada sector fueron clasificados de acuerdo a su importancia y un rango de criterios múltiples. La lógica difusa se utiliza para vincular las demandas socio-económicas y los descriptores del caudal del río en una forma similar a las preferencias de hábitat.

El modelado hidráulico permitió estimar las velocidades de flujo y las profundidades para una descarga dada en los sitios específicos a lo largo del río. La vinculación de éstos a las demandas de hábitat permitió estimar el área útil en condiciones de regulación de caudales naturales y regulados.

El software y la base de datos creados ofrecen una plataforma fácil de usar para probar diferentes escenarios de regulación de caudal flujo en condiciones de caudal mínimo. El enfoque se demostró tomando como ejemplo los Ríos Savegre y Reventazón (Fig 3.3).

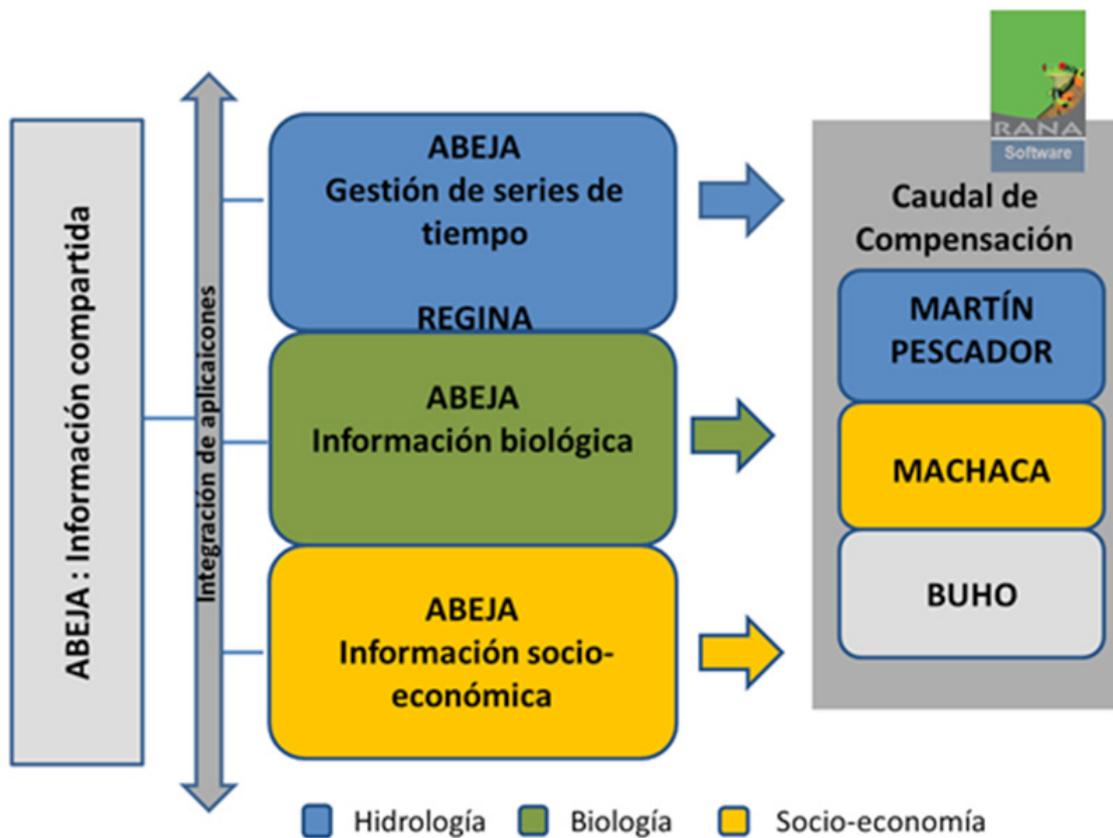


Figura 3.3. Componentes del software de RANA para la estimación del caudal de compensación con enfoque de caudal adaptativo.

La metodología **RANA** se utilizó en la determinación del caudal de compensación para el proyecto hidroeléctrico Reventazón, a partir de la modelación y prueba de escenarios se recomendó un caudal para el tramo crítico y un caudal superior para el tramo de regulación, a partir de la restitución. Este análisis impactó en la necesidad de un cambio de diseño de la casa de máquinas y la programación permanente de un aporte de energía por parte de la planta Reventazón al despacho del sistema eléctrico nacional, a fin de poder cumplir con la definición de caudal ambiental propuesta.

Para la fase 2, el objetivo del estudio fue desarrollar una metodología para la determinación de lo que se denomina “el caudal adaptativo”. Más precisamente, desarrollar una herramienta para la evaluación de los posibles impactos de los diferentes escenarios de regulación del río en la búsqueda de la mejor solución, para un nivel de riesgo definido, para los espacios ecológicos, sociales y económicos que figuran en el proceso de intercambio con todos los actores titulares. El caudal adaptativo se aplica a todo el año. El producto final no es un valor único de diseño, sino un marco de escenarios de pruebas con el fin de llegar a través de la negociación, a un compromiso aceptable entre las necesidades que históricamente fueron vistas como conflictivas.

La metodología desarrollada consta de dos partes - **REGINA y RANA**. La parte **REGINA** incluye los métodos para la regionalización de los caudales mínimos y máximos, así como el caudal de las curvas de duración, los cuales se utilizan en combinación con los resultados de la parte **RANA**. La estimación de los caudales máximos y mínimos es un complemento y un mayor desarrollo de los métodos de regionalización aplicados en la Fase 1 del proyecto. Particularmente fue necesario caracteri-

zar las tres categorías de crecientes (llenas) importantes en la evaluación de los caudales ambientales, a saber: activación, mantenimiento y reconfiguración. Esta metodología, basada en métodos de interpolación hidroestocástica, es aplicable a Costa Rica como un todo.

El objetivo de **RANA** es identificar las demandas ecológicas y socioeconómicas a lo largo del año. En contraste con **REGINA** que específicamente necesita estudios de campo y teóricos dirigidos para cada aplicación en el propio sitio.

En la segunda fase, se utilizó la información de estudios realizados en varios lugares a lo largo de los ríos Reventazón, Savegre y Térraba, en el marco de los procesos de factibilidad de los proyectos hidroeléctricos propuestos. Estos tres ríos también se utilizaron para la demostración del enfoque **REGINA**. La vulnerabilidad de los sectores en los ríos también es evaluada desde la perspectiva socioeconómica de **RANA**.

RANA - REGINA vincula los resultados de la parte **REGINA** con los de la parte **RANA**, para evaluar la variación estacional del área útil para las especies acuáticas y los usos del agua, condicionados a los caudales naturales o regulados.

La conectividad entre las pozas y rápidos a lo largo del río y la conectividad del río y la llanura de inundación bajo diferentes escenarios de regulación, son también analizados en esta sección. Comparando la relación entre el área útil y la conectividad en cada sector del río con las demandas identificadas en la parte **RANA**, lo que permite comparar el impacto en diferentes escenarios de regulación.

Para la parte **RANA** se utilizó la información recolectada en las investigaciones de campo biológicas y socioeconómicas,

así como los registros de caudales disponibles en la parte **REGINA**. El panel de expertos se utilizó como otra herramienta de adquisición de información. Se llevaron a cabo estudios hidráulicos en varios sectores de las tres cuencas de estudio, seleccionadas con base en su importancia para el régimen hidrológico, aspectos ecológicos y socioeconómicos. El impacto de la regulación de caudal para las especies acuáticas fue investigado con base en las preferencias de hábitat de tres grupos indicadores, peces, anfibios y macro invertebrados, según fue sugerido por expertos durante la Fase 1 del Proyecto (Fig 3.4).

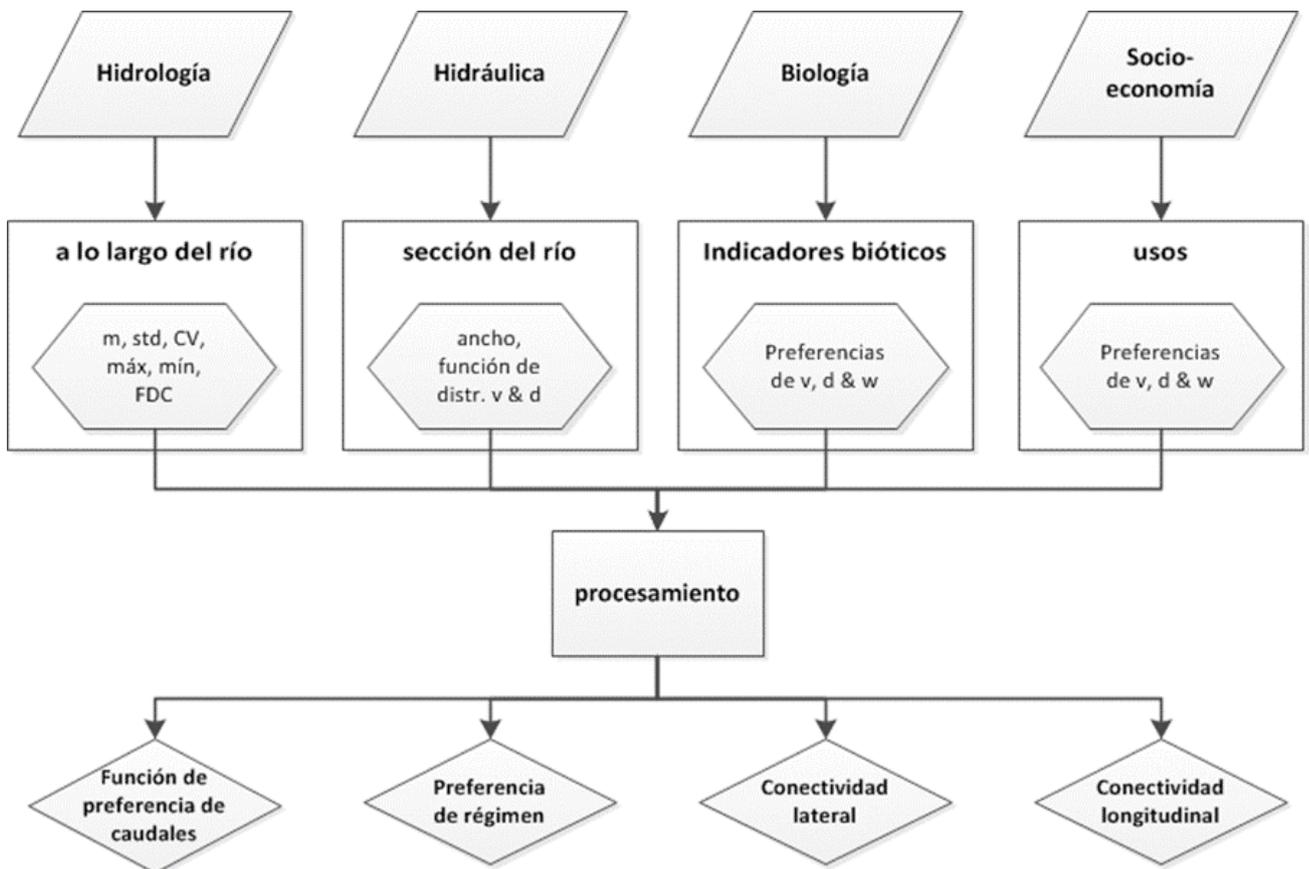


Figura 3.4. Esquema de temas y productos desarrollados para la fase 2 Rana - Regina

El estudio presenta un enfoque completo para evaluar los efectos de las diferentes alternativas de regulación de caudal en la vida acuática y las actividades socioeconómicas de la población ribereña a lo largo del año, para facilitar la elección del esquema de regulación a un nivel de menor riesgo. Esto complementa la Fase 1, la cual abordó sólo el período de caudales mínimos. La metodología sigue el concepto de gestión del caudal adaptativo, el cual prevé un seguimiento continuo de los resultados de la decisión elegida y lo aprendido de los nuevos conocimientos. Se elaboraron recomendaciones especiales para asegurar que las investigaciones de campo proporcionen datos adecuados y fiables para utilizar RANA - REGINA”.

IBER

El Modelo IBER es un modelo matemático bidimensional desarrollado por el grupo de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (GEAMA, Universidad de A Coruña) y el Instituto Flumen (Universidad Politécnica de Cataluña, UPC y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CINME). Cabe resaltar que Iber es un software libre, que puede ser utilizado en R.

IBER consta de un módulo hidrodinámico que permite la simulación bidimensional de cauces, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte sólido por arrastre de fondo y en suspensión para la cuantificación de procesos de erosión y sedimentación. A través de IBER, también se pueden realizar modelos de Idoneidad del Hábitat Físico (IHF) y de calidad del agua.

Para los modelos IHF primeramente se debe realizar un levantamiento topográfico y de batimetría de un tramo del río. Pos-

teriormente, se realizan aforos de caudal y se generan perfiles verticales de velocidad tridimensional; a la vez, se realiza la distribución espacial de los sustratos en el tramo evaluado. Seguidamente, se realizan las curvas de preferencia de hábitat o bien las reglas de preferencia de hábitat del o los organismos clave, para así generar el modelo de simulación del hábitat donde se obtiene idoneidad **versus el caudal**.

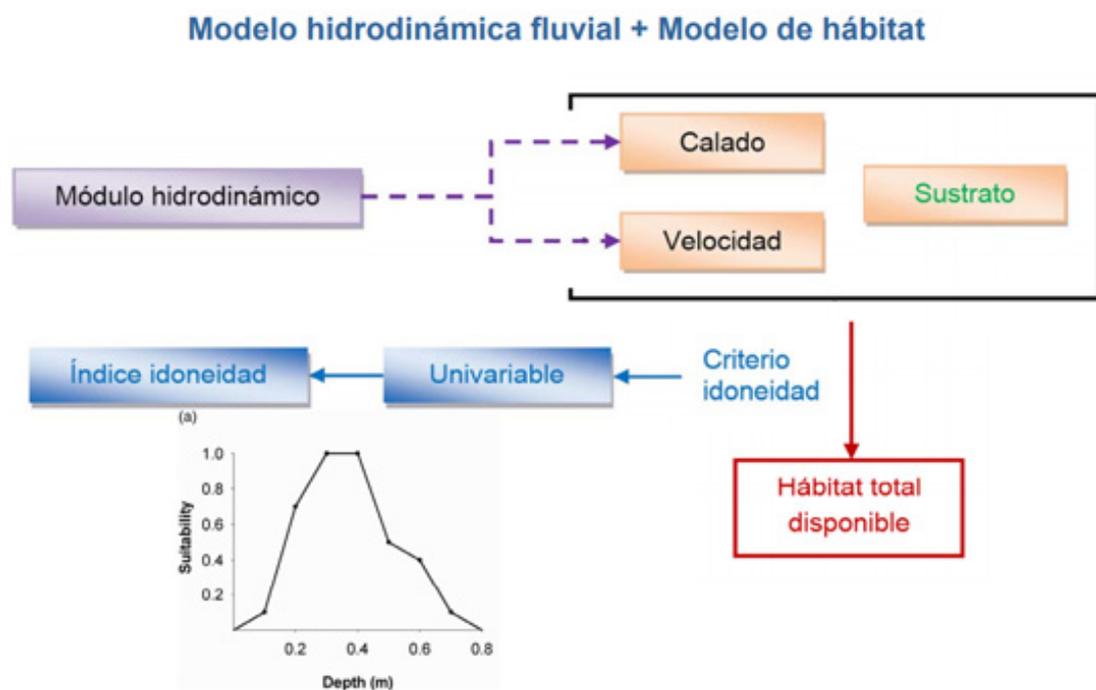


Figura 3.5. Diagrama para obtener el modelo de simulación del hábitat. Adquirido de Bermúdez et al. (2012).

Las metodologías para calcular caudal ambiental requieren algunas veces de sistemas de modelaje, de simulación de hábitat y de índices idoneidad, preferencia etc. En el siguiente cuadro 3.2.3 y cuadro 3.2.4 se hace referencias algunos modelos y sus aplicaciones y a las clasificaciones e insumos de dichas metodologías.

Cuadro 3.2.3. Modelos y aplicaciones que se utilizan en algunas metodologías para determinar caudal ambiental.

Modelo	Descripción	Aplicación
PHABSIN	Consta de dos componentes, el primero hace referencia al comportamiento del cauce y el segundo sobre la necesidad de hábitat de las especies que se consideran	Simulación de hábitat se utiliza en el IFIM
Índice de idoneidad	Curvas que describen la idoneidad de una variables biológica de determinada especie y la integra a un modelo hidráulico	En el IBER
RANA – MACHACA	Curvas de preferencia de hábitat de una especie y las relaciona con diferentes escenarios de cauda	RANA

Cuadro 3.2.4. Tipo de metodología e insumos que se requieren para aplicarlas en las zonas de estudio

Métodos para calcular caudal ambiental	
Tipo Metodología	Insumo
Hidrológico	Por un periodo no menor de un año, algunas metodologías requieren datos de más de 5 año
Hidráulico	Mediciones de características físicas del cauce: Velocidad, perímetro mojado, profundidad, sustrato
Hidrobiológico	Geomorfológica, hidráulica, hídrica, calidad de agua en términos de nitratos, biomasa (algunos métodos en particular), temperatura, registro de caudales, estudio de vegetación ribereña, composición del suelo, batimetría, velocidad, planos de inundación, estudio de especies bentónica, peces o cualquier otros grupo faunístico que se considera afectado
Holístico	Identificación de usos del recurso hídrico (Cultural, socioeconómicos, etc.), jerarquía de usos e importancia. Definición restricciones socioeconómica

Referencia

Aguilera, G y Pouilly ,M. 2012. Caudal ecológico: Definiciones, metodologías, aplicación en la zona andina Acta zoológica de Lilloana 56 (1-2) 15-30.

Armour,C,L.R.J. Fisher,y J.W.Terrell.1984.Comparion of the use of the hábitat Evaluation Procedures and the Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) in aquatic analyses.U.S. Fish Wildl. Serc. 30 pp.

Arthington, A. H. (n.d.). Environmental Flows : Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6172-8> (link is external).

Bermúdez M., L. Cea, J. Puertas, J. Sopelana, F. López & M. Vigo. 2012. Desarrollo de una herramienta para la determinación del hábitat fluvial con IBER. Aplicación a casos reales. En línea, consultado el 7/2017. <http://iberaula.es/publicaciones> (link is external).

Bovee K.D. and Milhous, R. (1978) Hydraulic simulation in in-stream flow studies: Theory and techniques. Instream Flow Information Paper 5, Cooperative Instream Flow Service Group, Fort Collins

Bovee, K.D. (ed.) (1995) A comprehensive overview of the Instream Flow Incremental Methodology. National Biological Service, Fort Collins, Colorado, USA.

Castro Heredia,L.M. Carvajal Escobar,Y y Monsalve Durango,E.A, 2006. Enfoques teóricos para definir caudal ambiental. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia, 10(2):1-28.

Docampo, L. and de Bikuna, B.G. (1995) The Basque method for determining Instream flows in Northern Spain. *Rivers* 4, 292-311.

Dunbar, M.J., Gustard, A., Acreman, M.C. and Elliott, C.R.N. (1998) Overseas approaches to setting River Flow Objectives. Institute of Hydrology, R&D Technical report W6-161.

Espinoza C. Ximena Vargas M. Y Mónica Pardo P. (2010). Metodología Incremental para la asignación de caudales mínimos aconsejables. Universidad de Chile. 10p.

Everard, M. (1994) Water quality Objectives as a management Tool for Sustainability", *Freshwater Forum* 4 (3), 179-189.

Ginot, V. (1995) EVHA Un logiciel d'évaluation de l'habitat du poisson sous Windows. *Bull. Fr. Peche Piscic.* 337/338/339, 303-308.

Gippel, C.G. and Stewardson, M. (1996) Development of an environmental flow management strategy for the Thomson river, Victoria, Australia. *Regulated Rivers: Research and Management* 10, 121-136.

Jorde, K. (1996) Ecological evaluation of Instream Flow regulations based on temporal and spatial variability of bottom shear stress and hydraulic habitat quality. In: *Ecohydraulics 2000, 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics*, eds. Leclerc, M. et al. Quebec City.

Jowett, I.C. (1997) Instream Flow Methods: A Comparison of Approaches. *Regulated Rivers: Research & Management* 13: 115-127.

Killingtveit, Å. and Harby, A. (1994) The River System Simulator – Report from Testing. Nordic Hydrological Conference, Torshavn.

King, J. , R. Tharme and DMS de Villiers. 2008 Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology. WRC Report No TT 354/08. University of Cape Town.

Krasovskaia, I and C. Rodriguez ed. 2007. Determinación de una metodología para establecer el caudal de compensación en los ríos de Costa Rica a partir de dos estudios de caso. Informe final Proyecto Caudales de Compensación Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica. ICE- ASDI.

Krasovskaia, Irina y Gottschalk Lars. 2014. Caudal de Compensación, Fase 2. Determinación del caudal adaptativo. Reporte final. Versión en español. San José Costa Rica. Instituto Costarricense de Electricidad.

Krasovskaia, Irina y Gottschalk Lars. Caudal de Compensación, Fase 2. Determinación del caudal adaptativo. Reporte final. Versión en español. San José Costa Rica. Instituto Costarricense de Electricidad. 2014.

Matthews, R.C. and Bao, Y. (1991) The Texas Method of Preliminary Instream Flow Determination". Rivers 2(4),295-310.

Palau A. 1994. Los mal llamados caudales "ecológicos". Bases para una propuesta de cálculo. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 28(2), 84-95.

Payne T., Eggers S. & Parkinson D. 2004. The Number of Transects Required to Compute a Robust PHABSIM Habitat Index. *Hydroécologie Appliquée*, 14: 27-53.

Petts, G.E., Crawford, C., Clarke, R. (1996) Determination of minimum flows. R&D Note 449, Environment Agency, Bristol.

Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., Warner, A. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55(1), 147–170. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02204> (link is external).

Sanz-Ramos, E. Bladé & A. Palau. 2016. IBER: Herramienta de simulación numérica para la evaluación de la habitabilidad para peces. XVIII Congreso de la Asociación Ibérica de Limnología, Tortosa.

Stalnaker C.B., 1980. The use of habitat structure preferenda for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat En: (WARN, J.V. & STANFORD, J.A. eds.) *The ecology of regulated streams*. Plenum Publishing Corporation. Pp. 321-337.

Sternberg, D. (2012). Ecological Limits of Hydrologic Alteration : A Test of the ELoHA Framework in South-East Queensland Ecological limits of hydrologic alteration : a test of the ELOHA framework in south-east Queensland.

Tennant, D.L. (1976). Instream Flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1(4), 6-10.

Tharme, R. (2003) A Global Perspective on Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies For Rivers. *River Res. Applic.* 19: 397–441

The Nature Conservancy. 2017. Conservation Gateway: Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA). En línea, consultado el 26 de Julio del 2017. www.conservationgateway.org (link is external)

Thoms, M.C., Sheldon, F., Roberts, J., Harris, J., Hillman, T.J. (1996) Scientific panel assessment of environmental flows in the Barwon-Darling River. New South Wales. Dep. of Land and Water Conservation.

UICN. 2003. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (eds).. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, RU. xiv + 118 pp



La Gobernanza en la gestión de los caudales ambientales

En la actualidad, el desarrollo de estrategias para la conservación de los recursos naturales depende no sólo de las medidas de manejo ambiental que se puedan asumir, ni de la misma inversión necesaria a nivel técnico como financiera para su realización. Sino que mucho de esto radica fundamentalmente, en los consensos, responsabilidad y compromisos que se lleven entre los distintos grupos de interés.

De acuerdo con Aguilar, J. (2014) para el caso de los caudales ambientales, en términos de gobernanza, es necesario incluir procesos que permitan la generación de consensos, mecanismos de transparencia de las decisiones y de los recursos financieros que se manejen, rendición de cuentas, inclusión de derechos, una adecuada lectura del contexto social, la cultura y de los actores sociales, entre otros.

Las instituciones a cargo de la administración del recurso agua en Centroamérica, están trabajando en procesos para actualizar la legislación en caudal ambiental, actualizar procedimientos y mejorar su cumplimiento de compromisos con la gestión integral del recurso hídrico.

En una actividad organizada por la oficina de UNESCO San José, realizada en mayo 2017, los países participantes definieron su plan de acción para implementar el concepto de caudal ambiental en sus respectivos países.

Si bien, a la hora de trabajar con una metodología de caudal ambiental permite incluir los aspectos bióticos, hidrológicos y socioeconómicos dentro de la dinámica propia del recurso a extraer, se hace imperante la necesidad de articular adecuadamente el componente social dentro del aspecto de gobernanza del recurso hídrico, pues permitirá evitar conflictos con los diferentes actores presentes en el área de trabajo.

En los componentes de este módulo podrá encontrar información relevante para considerar algunos de los elementos básicos para el desarrollo del tema, así como referencias de base que ayuden a enriquecer los criterios con lo que podrá trabajar el tema en el contexto de los caudales ambientales.



Referencias

Aguilar Muñoz, J. 2014. Desafíos en la implementación de caudales ambientales para la gobernanza y administración de los recursos hídricos: un estudio de caso en la subcuenca del río El Ángel, Carchi. FLACSO, Sede Ecuador. 150 págs. ISBN: 978-9978-67-415-4.

La Calle, A. y Ballester, A. 2015. Gobernanza del agua: participación pública en la planificación hidrológica. Fundación Nueva Cultura del agua. ISBN 978-84-938966-8-3.

Género y caudal ambiental

La importancia que tiene la participación activa de la mujer en la gestión del agua, ha sido reconocida en diversos

niveles desde la Conferencia de las Naciones Unidas de Mar del Plata en 1977, el Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento (1981-1990) y la Conferencia Internacional de Agua y Medio Ambiente de Dublín en enero de 1992, donde se reconoce la labor fundamental de la mujer en la provisión, gestión y protección del agua.

Identificar las diferencias y desigualdades en el acceso y administración del agua entre los hombres y mujeres, determina cómo los individuos responden a los cambios de gestión de los recursos hídricos y analizar estos roles de género, las relaciones y las desigualdades permitirán ver cuáles son las opciones disponibles y las elecciones de las mismas a la hora de trabajar la temática del caudal ambiental. Es pues, la mujer, clave para el éxito de cualquier política, programa o gestión que vaya a ser vinculado a este tema.

Un enfoque de género implica revisar los roles y responsabilidades de mujeres y hombres en la satisfacción de la demanda doméstica del agua potable. A su vez, parte de la identificación de aquellos conocimientos y restricciones que unas y otros tienen en cuanto al control del recurso. Además del análisis de estas relaciones y de poder generadas en torno al mismo.

Para lograr una mayor participación activa de la mujer, dentro de las decisiones que van vinculadas a la definición del caudal ambiental, desde el punto de vista de usos socioeconómicos, se proponen los siguientes pasos que deben ser considerados a la hora de vincular y hacer más activo el papel de la mujer:

- Identificar las brechas de género existentes en el acceso,

uso y control del recurso agua, con el fin de comprender cómo se generan y reproducen estas brechas.

- Establecer posibles puertas de entrada en la gestión del agua con enfoque de género.
- Diseño y planificación de estrategias que permitan el empoderamiento de la mujer y el fortalecimiento de las estructuras comunitarias que gestionan el agua con enfoque género.

Es importante señalar la necesidad de la transversalización de género, lo cual implica una mayor sensibilización del significado, la importancia y el impacto que tiene la participación de las mujeres en la toma de decisiones en proyectos de agua para uso doméstico y productivo.

De manera práctica se pueden desarrollar un rol más participativo y de involucramiento de la mujer en el tema de caudal ambiental, se puede hacer lo siguiente:

- 1.** Investigue en campo y con fuentes del lugar (Centros de salud, escuelas, gobiernos locales, entre otros) que tipo de participación, organizaciones y trabajos se realizan con las mujeres. Pregúntese que tan abiertas son las organizaciones locales para el ingreso de la mujer en la toma de decisiones y su participación activa dentro de la comunidad.
- 2.** En los estudios que incluyen información de población, identifique que las estadísticas estén separadas por sexo, en todos los grupos etarios de la población.

- 3.** Resuma todos aquellos elementos que encontró en campo a cerca de las mujeres y su participación tanto en la comunidad como en el desarrollo propio de la familia. Esta información le permitirá establecer algunas alternativas a proponer para el involucramiento de la mujer. Por ejemplo, establecer encuentros, foros, reuniones o intercambio de experiencias entre la población femenina con el objeto de abrir canales de diálogo y empoderamiento.

- 4.** En conjunto con la organización líder establezca un programa de fortalecimiento y empoderamiento local de las capacidades de las mujeres. Muchas de estas necesidades han sido determinadas en el punto 1, 2 y 3. Hay que crear un consenso de participación, la idea es permitir que el potencial de cada persona pueda desenvolverse sin ningún temor.

- 5.** Evalúe el proceso de formación, participación y cambio de la mujer dentro de las organizaciones de base. Aquí es muy importante determinar si la capacitación o formación ha tenido su efecto. Algunos elementos que se pueden considerar son: la mujer da sus ideas, discute, defiende sus postulados con fuerza, genera ideas y proporciona rutas de acción y se compromete en partes iguales con el hombre.

- 6.** Sistematice cada experiencia, anote los aspectos positivos, negativos y cambios encontrados en cada proceso llevado. Para ello, tome nota de las propuestas iniciales y verifique aquellos cambios notados y por qué surgieron.

Si bien, el caudal ambiental permite mantener el agua necesaria para garantizar los diferentes usos del agua, es importante que al identificar estos usos se implique directamente a la mujer

para asegurar que sus necesidades son contempladas efectivamente.

Es fundamental seguir estos pasos para vincular de manera efectiva a la mujer, pues ella es quién en muchos casos conoce las necesidades del agua dentro de su familia o comunidad. La toma de decisiones en conjunto (hombres y mujeres) garantiza compartir responsabilidades, tener iguales oportunidades y disfrutar de los mismos beneficios.

Referencias

Fundación IPADE. 2011. Guía de herramientas para la integración del enfoque de género en proyectos de agua y saneamiento. Guatemala. 131 págs.

Gender and Water Alliance. SF. Guía de recursos: transversalización del enfoque de género en la gestión del agua. 155 págs.

Murguialday, C. 2010. Avanzando en la equidad de género en la gestión comunitaria del agua. AECID, Nicaragua. 64 págs.

Niño de Guzmán, J. y Cevallos, M. 2002. Construyendo la equidad de género: metodología e instrumentos para su inclusión en proyectos de agua y saneamiento. Perú. 94 págs.

ONU Hábitat. 2013. Cuando el agua fluye hacia las mujeres. 55 págs.

Multiculturalidad y caudales ambientales

En toda acción humana dirigida al aprovechamiento del agua en sus diversas formas, es necesario considerar la riqueza cultural y de pensamiento donde se vaya a trabajar dicha explotación. Si bien la multiculturalidad visibiliza y reconoce otras culturas diferentes a la occidental. Es necesario considerar el concepto de interculturalidad como aquel que “promueve el diálogo horizontal entre culturas, una relación respetuosa y sin jerarquías. Esto implica inhibir nuestros criterios y críticas, nuestros prejuicios y concentrarnos en la comprensión de otras prácticas culturales diferentes a las nuestras” (Sánchez, M. y Poats, S. 2011).

Dicha conceptualización debe promover el reconocimiento y respeto a la dignidad social, lo cual incide en las prácticas sobre los derechos de las personas y colectivos sociales. Es por ello, que a la hora de realizar los estudios de base se deben considerar estos aspectos relacionados a las poblaciones objetivo y sus características, dentro de la matriz de evaluación de la futura concesión de agua y definición del caudal ambiental. Otro aspecto que se debe a considerar, es la organización y estructura de poder propia de la etnia. El respeto y reconocimiento de las instancias organizativas propias de la cultura con la que se relaciona el proyecto es fundamental para poder iniciar el diálogo, para cualquier tipo de proyecto.

La omisión o no contabilización de estos valores culturales, puede generar serios conflictos y por lo cual, puede ocasionar la inviabilidad del proyecto. Hay que recordar la propia cosmovisión del agua donde su valor va en función de las propias costumbres, valores, visiones y tradiciones ancestrales de las diversas etnias, comunidades o pueblos indígenas que las definen.

Podría ser que el sonido del río cuando mueve las piedras tenga un valor más allá que la paz que para otros es escucharlo. Un río al que se le disminuye el caudal podría “dejar de cantar” y eso sería una pérdida muy importante para una comunidad.

Al identificar los valores socioeconómicos relacionados al agua, o la existencia de potenciales conflictos, el valor cultural del río debe ser investigado desde la perspectiva de las diferentes cosmovisiones que existen en ese territorio.

“Aplicar el enfoque intercultural no es cuestión de capacitar a la gente en su propio idioma, sino de crear el espacio para encuentros verdaderos entre las culturas”

(OPS y GTZ, 2006) (citado por Jiménez y Kjellen 2014)

Referencias

- Jiménez, A., Cortobius, M., Kjellén, M. 2014. Trabajando con pueblos indígenas en agua y saneamiento rural: Recomendaciones para un enfoque intercultural. Stockholm International Water Institute (SIWI), Estocolmo. [www.watergovernance.org/documents/WGF/MDG-F/TTT/\(link is external\) \(link is external\) Recomendaciones_enfoque_intercultural.pdf](http://www.watergovernance.org/documents/WGF/MDG-F/TTT/(link%20is%20external)%20(link%20is%20external)%20Recomendaciones_enfoque_intercultural.pdf)
- Sánchez, M. y Poats, S. 2011. La interculturalidad en la gestión social de los ecosistemas andinos. Quito: ECOBONA, Serie Investigación y Sistematización No. 16. Programa Regional ECOBONA-INTERCOOPERATION. Quito.

La participación social: una senda al caudal ambiental

La participación ciudadana en la puesta en práctica de los caudales ambientales no debería limitarse a la información y la mera consulta pública, sino más bien considerar el involucramiento activo de los actores, reconociendo su contexto sociocultural y valorando su saber local, desde el mismo convencimiento de la importancia de los caudales ambientales para el territorio y su gente. Aquí se debe trabajar fuertemente, en promover estrategias de trabajo que permitan la participación de todos los interesados del sistema en las decisiones y no sólo en los grupos de poder.

La participación comunitaria debe ser un eje en la planificación hidrológica, permitiendo que los caudales sean asumidos e implementados. Aquí los métodos utilizados deben permitir el desarrollo de escenarios que permitan relacionar los regímenes de los caudales con los objetivos concretos en temas de conservación de la fauna acuática y los usos socioeconómicos. Siendo que cada propuesta de caudal ambiental deba ser simulada en el sistema de explotación, permitiendo ser evaluada en términos cuantitativos y para conocimiento de todos (Sánchez, R. y Martínez, J. 2007).

Para estimular la participación de las personas en procesos como el caudal ambiental, considere realizar una lectura apropiada del territorio, sus actores y su ambiente sociocultural. Muchas veces en los proyectos dejan de último la parte social en lo referente a involucrar de manera activa a las personas en la discusión sana y abierta de los objetivos del caudal ambiental. Esto ocasiona serios problemas para generar confianza. Idealmente, es iniciar juntos el diálogo y llegar acuerdos comunes, donde las partes se sientan cómodas cada

punto y la comprensión de los mismos sea en su mayoría comprendida. La comunicación en dos vías contempla una apropiada devolución de los resultados de los estudios, de tal manera que los acuerdos tengan como base la realidad en la que se contextualiza el proyecto.

Como técnicas para involucrar a las personas o comunidades hay muchas, todo dependerá del equipo y su visión de cómo traducir dichos elementos que sean más amigables a quiénes viven del propio recurso.

Referencias

Sánchez Navarro, R. y Martínez Fernández, J. 2007. Los caudales ambientales: Diagnóstico y perspectiva. Fundación Nueva Cultura del Agua. 26 págs.

Global Water Pathership. Guía para la aplicación de la gestión integrada de recursos hídricos a nivel municipal. 80 págs.

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.

Geilfus, Frans. 2002. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación / Frans Geilfus – San José, C.R.: IICA.

Caudal Ambiental, sostenibilidad y seguridad hídrica

El agua es reconocida como uno de los ejes centrales de la nueva Agenda 2030, como un Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 6), donde se dedica al agua y al

saneamiento, a fin de garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, además del saneamiento para todos.

“El agua es la base del desarrollo sostenible. La reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental se sustentan en los recursos hídricos y en la gama de servicios que proporcionan. Desde la alimentación y la seguridad energética hasta la salud humana y ambiental, el agua contribuye a mejorar el bienestar social y el crecimiento inclusivo, lo cual afecta a la subsistencia de miles de millones de seres humanos, ... pero al mismo tiempo el desarrollo y el crecimiento económico ejercen presiones sobre el recurso y suponen un reto para la seguridad del agua, tanto para las personas como para la naturaleza”. (WWDR, 2015)

Bajo el principio de igualdad generacional, el compromiso de sostenibilidad es asegurar a las futuras generaciones el derecho al agua limpia, a ecosistemas saludables y a los servicios ecosistémicos que goza la generación actual.

La seguridad hídrica depende de una justa administración del recurso actual. Implementar el caudal ambiental es parte de los elementos que se consideran en esa justa administración.

La importancia de la seguridad hídrica y el entender el concepto se puede encontrar en las siguientes definiciones:

“...Provisión confiable de una cantidad y calidad de agua aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y medios de subsistencia (y los ecosistemas), juntos con un nivel aceptable (de gestión) de riesgos relacionados al agua”. GWP (2009):

“...la capacidad de una determinada población para salvaguardar el acceso a cantidades adecuadas de agua de

calidad aceptable, que permita sustentar tanto la salud humana como la del ecosistema, basándose en las cuencas hidrográficas, así como garantizar la protección de la vida y la propiedad contra riesgos relacionados con el agua – inundaciones, derrumbes, subsidencia de suelos y sequías.”
UNESCO-PHI (2014)

Ambas definiciones tratan de establecer la garantía del agua para el desarrollo de los diferentes usos socioeconómicos vinculados tanto el beneficio de la población como actividades productivas. Siendo clave la medición de la cantidad y calidad de los usos actuales y futuros, donde la robustez técnica de los datos puede definir claramente estas necesidades.

El vínculo que tiene con el caudal ambiental es clave, pues este considera dentro de la valoración del caudal, la necesidad de establecer los diferentes usos socioeconómicos que se dan del recurso agua a lo largo del río. Esto permite en cierta medida evitar daños puntuales a los diferentes usuarios del agua, tanto desde el consumo local como productivo o económico.

El desarrollar de manera apropiada los estudios técnicos permite dar el sustento para la definición del caudal a concesionar, se vuelve una herramienta importante a la hora de garantizar la disponibilidad del agua para los diversos usuarios que la utilizan, no sólo para sus actividades productivas, culturales o de consumo, sino también para otros servicios ambientales. Ya que permite obtener una valoración más consensuada de los diferentes criterios que la población da al respecto. También, da criterios de base para una gestión más sostenible, ya que implica disponer de

información técnico - científica robusta, así como responder a las diversas necesidades que plantea la sociedad civil en cuanto a su aprobación final, ya que debe garantizar que el agua a extraer no afectará ningún uso desde lo socioeconómico a lo propio de la fauna acuática propia del lugar.

Por último, se puede considerar el desarrollo de las reservas de agua como aspecto que agrupe todas estas variables, partiendo del mismo caudal ambiental. Dado que al final se podrá trabajar más integral el agua superficial de una determinada cuenca. Además, de valorar aquellas aguas subterráneas que contribuyen a su mantenimiento. En la referencia se adjunta el ejemplo desarrollado por el Programa Nacional de reservas de agua implementado en México para el respectivo análisis de cómo puede abordarse este importante tema.

Referencias

Martínez-Austria, P. 2015. Los retos de la seguridad hídrica. Tecnología y Ciencias del Agua. Vol. IV, número 5. Págs. 165-180. Instituto Mexicano del Agua. Morelos, México.

Programa Nacional de Reservas de Agua en México: Experiencias de caudal ecológico y la asignación de agua al ambiente. 2015. J. Eugenio Barrios Ordóñez, Sergio A. Salinas Rodríguez, Mario López Pérez, Ricardo Alain Villón Bracamonte, Fabiana Rosales Ángeles, Adriana Guerra Gilbert, Rafael Sánchez Navarro.

WWDR 2015. Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015. Agua para un Mundo Sostenible.

Conflictos de uso en la asignación del caudal

Uno de los puntos más críticos para la asignación del caudal

ambiental es la valoración de los diferentes usos que tiene el agua a nivel socioeconómico, pues de no ser considerado dentro de la matriz se corre el riesgo de generar un conflicto entre los diversos usuarios del recurso.

El reconocimiento y garantía de evitar que una extracción de agua afecte estos usos es clave. Por ejemplo, si es un río, se debería analizar los diversos usos que se dan a lo largo de éste, que cantidades se extraen, cómo es utilizado y que medios de vida podrían verse afectados. El análisis holístico en diferentes escenarios podría dar criterios más exactos para identificar el nivel de conflicto y las opciones para realizar ambas actividades sin afectarse mutuamente.

Lo que al final se resume en que se deben considerar los valores ambientales, que incluye lo ecológico, y los económicos, sociales y culturales que tienen relación con el sistema a explotar. Para llegar a la determinación del caudal ambiental, se ponderaría cada aspecto, no sólo desde la óptica ambiental sino de las necesidades de la industria y de las personas, entre otros. Toda consideración debe realizarse en un ambiente de diálogo y negociación, con el fin de buscar consenso y evitar conflictos.

Dentro de las metodologías conocidas como "holísticas" los profesionales responsables de llevar los estudios de base para la asignación del caudal ambiental deben establecer cuáles son las restricciones socioproductivas que podrían verse afectadas desde el punto de vista del usuario, uso socioproductivo o cultural del agua del área de interés a concesionar. Hay que recordar la integralidad del sistema como tal, ya que omitir alguno de estos elementos, no permitiría obtener una adecuada sostenibilidad del recurso hídrico para quienes lo utilizan y de aquellas generaciones herederas del mismo.

Referencias

Urteaga, P. et al. 2016. El Estado frente a los conflictos por el agua. Perú. CICAJ-DAD, 237 págs.

Estado de La Nación. 2004. Disponibilidad del recurso hídrico y sus implicaciones para el desarrollo en Costa Rica. Undécimo informe sobre el estado de la nación en desarrollo humano sostenible.

Estado de La Nación. 2007. Situación del recurso hídrico. Decimocuarto informe Estado de La Nación en Desarrollo Humano Sostenible.

Resolución de conflictos vinculados al caudal ambiental

Si bien el caudal ambiental permite definir cuál debe ser la cantidad de agua necesaria que debe dejarse dentro de un curso de agua que permita mantener la fauna acuática existente y sus usos socioeconómicos, cuando se tiene un fin de explotación específico, no se puede dejar de lado que este proceso puede implicar un conflicto serio, si no tiene un adecuado abordaje y consenso con quiénes pueden verse afectados.

De acuerdo con la Organización de Investigación Social de los Países Bajos: "El conflicto es un proceso que comienza cuando un individuo o grupo percibe diferencias y oposición entre sí mismo y otro individuo o grupo en cuanto a intereses, recursos, creencias, valores o prácticas que considera significativos. Esta visión puede aplicarse a todo tipo de agentes (naciones, organizaciones, grupos o individuales) y a todo tipo de

conflicto, desde tensiones latentes hasta violencia manifiesta" (NOSR, 2007). Si bien, la definición anterior hace hincapié cuando se da una situación que riñe con los intereses de las partes, hay que considerar que conforme al Segundo informe de Desarrollo hídrico de ONU, se deben valorar las siguientes dimensiones:

- Una dimensión social, relativa al "uso equitativo".
- Una dimensión económica, relativa al "uso eficiente".
- Una dimensión ambiental, relativa al "uso sostenible".
- Una dimensión política, relativa a las "oportunidades democráticas equitativas".

Considerando estas dimensiones y de manera práctica para un buen manejo social en la discusión del caudal ambiental aprobado socialmente, debe considerarse como mínimo los siguientes puntos:

- 1.** Realice una buena investigación de campo a cerca del área a trabajar, los usos socioeconómicos del agua, intereses, grupos de poder, organizaciones y actores presentes en el territorio como aquellos que tienen influencia en las comunidades.
- 2.** Establezca un plan de comunicación para el abordaje de la población, no es recomendable llegar sin este instrumento, ni tener la debida inducción a cada uno de sus colaboradores, todos deben tener un mismo discurso.
- 3.** Escoja a las personas idóneas para abrir los diálogos con las personas, analice puntualmente la forma de llevar sus ideas, contenido y medios para transmitir

la información. Siempre respetando el contexto y los valores propios de cada comunidad. Es importante analizar estos patrones para no generar un choque entre los participantes.

4. Siempre esté dispuesto a escuchar, abrir opciones de abordaje y a buscar rutas de consenso entre las partes involucradas. Donde exista acuerdo hay que escribirlo y reafirmarlo entre las partes. El proceso de negociación tiene como tal, afirmar la confianza entre quienes dirigen y a quiénes están en el área de impacto.

Si por alguna razón se genera el conflicto entre las partes involucradas es necesario analizar las causas o situación que lo han generado. El análisis minucioso de éstas, permitirá obtener posibles soluciones. En Costa Rica, la ley sobre resolución alterna de conflicto y promoción de la paz social, número 7727 del 09 de diciembre de 1997, da el marco legal para el abordaje, en caso de llegar a un extremo donde las partes no puedan conciliar.

El paso fundamental es volver a la mesa del diálogo con los actores, escuchar nuevamente los puntos de vista y establecer opciones para los puntos de fricción entre las partes. Si es necesario y la situación se hace personalizada hay que valorar el rol del facilitador si este puede o no continuar con el proceso. Otro punto importante, a considerar, es la vigilancia de la dinámica de la reunión, aquí previamente hay que tener lista la estrategia de abordaje. Es decir, como se plantearán los elementos de negociación, quiénes estarán en la mesa, quiénes serán los observadores pasivos y un plan de acción en caso de que la situación se torne difícil.

Una buena gestión social y de comunicación, donde las partes

generen confianza, evitará en gran medida el conflicto. El diálogo abierto y de consenso es una de las tantas herramientas que se disponen en caso de ser necesario, pero aquí lo fundamental es evitar llegar al conflicto. Más en temas vinculados al agua, donde los intereses son variados y el peso de algunos actores sociales puede cambiar de posición de acuerdo con el propio manejo u objetivo propuesto.

Referencias

Bedoya et al. 2010. Guía para la transformación de conflictos socioambientales. FIODM. 23 págs.

CAP-NET. 2008. Habilidades de resolución de conflictos y negociación para la gestión integrada de los recursos hídricos. 115 págs.

Martín, L. y Bautista, J. 2015. Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. Chile, CEPAL. 62 págs.

Un acercamiento al marco normativo del caudal ambiental en Centroamérica

De acuerdo con Peña, M. (2017) en los países de El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Se han realizado iniciativas para actualizar la normativa relacionada al recurso hídrico que considere el caudal ambiental para regular los diferentes aprovechamientos, ayudando a garantizar la integridad de los ecosistemas y los servicios que estos brindan.

De acuerdo con el autor, existen diferentes situaciones que han entorpecido dichos procesos normativos y que en la mayoría de los casos, aún no se cuenta con un respaldo legal que permita exigir el cumplimiento del caudal ambiental.

En el siguiente documento, preparado por el MSC Mario Peña preparado para UNESCO San José, podrá analizar más detenidamente, la situación normativa referente a cada país en el tema del caudal ambiental, en aquellos aspectos jurídicos y las instancias gubernamentales con competencia en el ramo.

Referencia

Peña Chacón, M. 2017. Principios, criterios y recomendaciones jurídicas para el establecimiento de regímenes de caudales ambientales en Centroamérica. UNESCO. 42 págs

Instituciones relacionadas al recurso hídrico que pueden apoyar en temas de caudal ambiental

A continuación, se brinda una serie de enlaces relacionados con las instancias gubernamentales de los diferentes países del clúster centroamericano de UNESCO, a saber, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, donde se ha desarrollado alguna temática vinculada a caudales ambientales. También se da referencias a organismos internacionales.

INTERNACIONALES

Oficina del Programa Hidrológico Internacional para Latinoamérica (Montevideo)

<http://www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/ciencias->

naturales/water-international-hydrological-programme/

Enlace para el Programa Hidrológico Internacional, Área ciencias Naturales UNESCO París

<http://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia>

Centro para la Educación del Agua en DELF-Holanda

<https://www.un-ihe.org/> (link is external) (link is external)

Alianza Latinoamericana de Fondos del Agua

<http://www.fondosdeagua.org/paises-fondos-de-agua/costa-rica> (link is external) (link is external)

Comité Regional de recursos hidráulicos (CICA)

<http://recursoshidricos.org/> (link is external) (link is external)

Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo

<http://www.sica.int/ccad/> (link is external) (link is external)

Oficina Cooperación UNESCO Costa Rica

<http://www.unesco.org/new/es/sanjose>

EL SALVADOR

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

<http://www.marn.gob.sv/> (link is external) (link is external)

Observatorio del Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

<http://agua.marn.gob.sv/> (link is external) (link is external)

Puede encontrar el Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico, cuyo Anexo 5 se refiere a los Caudales Ecológicos.

En la plataforma también se encuentra el Sistema de Información Hídrica, que contiene, estudios, información hídrica sobre calidad de agua, balance hídrico, evaluación de recursos hídricos, así como datos en tiempo real de lluvia y niveles de ríos.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

<http://www.marn.gob.sv/> (link is external) (link is external)

Puede encontrar información sobre el Sistema de Evaluación Ambiental, así como los criterios para categorizar proyectos, entre los que se encuentran los hidroeléctricos, teniendo el caudal ambiental como uno de los criterios de categorización.

Además, puede visualizar la plataforma de Evaluación de Impacto Ambiental, que incluirá dentro de un mes aproximadamente, la posibilidad de ingresar el Formulario Ambiental en línea de proyectos de generación de energía. Actualmente ya permite el ingreso de proyectos de infraestructura e industria.

Consejo Nacional de Energía

<http://www.cne.gob.sv/> (link is external) (link is external)

Puede encontrar información sobre la Política Energética Nacional, el mercado eléctrico, información sobre las plantas actuales de generación de energía renovable, incluyendo la hidroeléctrica.

Además, incluye entre otras cosas, el Sistema de Información Energética, con información sobre el sector eléctrico, tarifas eléctricas, subsidios y boletines estadísticos

Portal de Energías Renovables del Consejo Nacional de Energía

<http://energiasrenovables.cne.gob.sv/>(link is external) (link is external)

Incluye información sobre el ciclo de proceso interinstitucional para el desarrollo de proyectos de generación de energía a partir de fuentes renovables, incluyendo los hidroeléctricos.

Contiene, además, una sección de documentación energética, con la legislación, normas, incentivos y guías para el desarrollo de proyectos de energía renovable; entre los que se encuentra la Guía para el desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en El Salvador, elaborado por el Consejo Nacional de Energía, en el 2012

Por otro lado, está el listado de enlaces a las entidades relacionadas, que comprende instituciones del gobierno, cooperantes internacionales e instituciones de la banca.

HONDURAS

Consejo Nacional de agua potable y saneamiento

<http://conasa.hn/>(link is external) (link is external)

El Portal, es un importante canal de comunicación para el posicionamiento y la visibilidad institucionales en el escenario público nacional, regional y local, creando un vínculo directo e interactivo con la población hondureña y los demás actores del sector Agua Potable y Saneamiento (APS).

NICARAGUA

Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales

[http://www.marena.gob.ni/\(link is external\) \(link is external\)](http://www.marena.gob.ni/(link is external) (link is external))
Autoridad Nacional del Agua

[http://www.ana.gob.ni/\(link is external\) \(link is external\)](http://www.ana.gob.ni/(link is external) (link is external))
En el sitio puede encontrar información sobre trámites, cuencas hidrográficas de Nicaragua, normativa vigente relacionada al agua, así como información de la organización institucional

COSTA RICA

Dirección Agua - Costa Rica

[http://www.da.go.cr/\(link is external\) \(link is external\)](http://www.da.go.cr/(link is external) (link is external))
Alberga el Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (Sinigirh), Tiene como objetivo integrar la información del sector hídrico para compartir datos, visualizar la componente espacial y realizar análisis multidimensionales relativos a la gestión integrada del recurso hídrico en Costa Rica, con acceso oportuno, trazable y expedito a los usuarios de organismos públicos y privados, comunidades y público en general.

También puede encontrar Información sobre los trámites para concesiones, concesiones existentes, información sobre el canon de aprovechamiento del agua, canon de vertidos, entre otros.

Acueductos y Alcantarillados (AyA)

[https://www.aya.go.cr/SitePages/Principal.aspx\(link is external\) \(link is external\)](https://www.aya.go.cr/SitePages/Principal.aspx(link is external) (link is external))

Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica

[http://www.minae.go.cr/index.php/es/\(link is external\) \(link is external\)](http://www.minae.go.cr/index.php/es/(link is external) (link is external))

PANAMA

Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales
<https://www.idaan.gob.pa>(link is external) (link is external)

Ministerio de ambiente de Panamá
<http://www.miambiente.gob.pa/index.php/es/>(link is external) (link is external)

Cuencas hidrográficas

<http://www.miambiente.gob.pa/index.php/es/gestion-integradas-de-cuencas-hidrograficas>(link is external) (link is external)

Información de las cuencas hidrográficas de Panamá, enlaces del PHI, normativa en aguas, informe de balance hídrico, estadísticas, formularios para trámites entre otros.



Glosario

En este glosario encontrará términos que han sido utilizados en los módulos, así como aquellos que aparecen en los documentos de referencia en la biblioteca.

A

Abanico aluvial:

Depósito aluvial formado en una llanura o un punto con menor pendiente.

Abrevadero:

Estanque o sitios del río con el propósito de dar de beber al ganado.

Acequia:

Canal artificial a cielo abierto que sirve para conducir y distribuir agua de riego para una explotación agrícola, con una capacidad generalmente inferior a 0.50 m³ / s.

Acueducto:

Sistema de tuberías que se construye con el objetivo de captar, conducir, distribuir y darle tratamiento a las aguas para abastecimiento.

Acuífero:

Formación geológica permeable capaz de almacenar, transmitir y proporcionar volúmenes de agua.

Aforo:

Medición puntual del caudal de una corriente o naciente. Ver métodos de aforar.

Agente contaminante:

Elemento que se incorpora a un cuerpo de agua natural que ocasiona un deterioro de la calidad física, química y biológica de este, así como a la biodiversidad asociada.

Agroindustrial:

Uso de agua para procesos industriales relacionados a la actividad agrícola.

Agropecuario:

Uso de agua para crianza, producción y aprovechamiento de animales incluye acuicultura.

Agua de escorrentía:

Agua superficial, que se origina a partir de la precipitación atmosférica o a través de afloramiento de agua subterránea.

Agua estuarina:

Mezcla de agua producto del encuentro entre las aguas fluviales y las marinas.

Agua residual:

Agua que debido al uso que se le ha dado se le incorporaron agentes contaminantes.

Agua subterránea:

El agua que corre por debajo de la superficie del terreno, que satura por completo las rocas permeables por debajo del nivel de saturación y fluye bajo la acción de la pendiente o gradiente hidráulica.

Agua superficial:

Agua que fluye o se almacena en la superficie, exceptuando el agua marina.

Aireación:

Adición de aire al agua que produce un incremento en la concentración de oxígeno disuelto.

Alcalinidad:

Capacidad del agua para neutralizar iones de hidrógeno

mediante bases débiles, expresada en milimoles de iones de hidrógeno por litro.

Alteración eco-hidrológica:

Modificaciones en la calidad, cantidad y temporalidad de los regímenes hidrológicos producto de infraestructuras hidráulica, urbana, carreteras y todas aquellas actividades que alteran los servicios ambientales.

Año hidrológico:

Período de doce meses comprendido entre el inicio de la temporada lluviosa y el final de la misma, para Costa Rica va del primero de mayo con el inicio de las lluvias y termina en abril al final de la estación seca.

Arena:

Piedra fraccionada con un diámetro < 8 mm.

Arreico:

Características de la zona que carecen de drenaje superficial.

Arroyo:

Curso de agua pequeño y poco profundo, por lo general de flujo permanente.

Avenida (Crecida):

Aumento repentino del volumen y velocidad de la corriente en un río debido a escurrimientos generados por la lluvia cíclica o extraordinaria. (3)

B

Balance hídrico:

Evaluación de las entradas, salidas y las variaciones en el

almacenamiento de una masa de agua en un determinado periodo de tiempo.

Balseo:

Plataforma flotante formada de materiales sintéticos, que permite la navegación en el río, principalmente con fines deportivos y recreativos.

Barra (en un río):

Banco de sedimentos, como arena o grava depositado en el lecho del río

Bifurcación:

División de una corriente en dos cauces

Bioindicador:

Organismo vivo que por medio de su presencia o ausencia ayuda a descifrar o descubrir algún tipo de alteración o modificación en el pasado o presente en el ambiente.

Biota acuática:

Conjunto de especies que su desarrollo o parte de él involucra al menos una etapa o todas en el medio acuático.

Brazo del río:

Masa de agua que se separa del cauce principal formando un canal que posteriormente se vuelve a unir.

C

Canal:

Conducto por donde fluye agua libre y según su origen puede ser natural o artificial

Canto Rodado:

Piedra entre 64 y 256 mm de diámetro

Catarata:

Gran caída de agua.

Cauce:

Espacio por donde discurre el agua.

Cauce lleno:

Condición del cauce cuando va al límite de su capacidad sin desbordarse.

Caudal:

Volumen de agua que pasa por una sección en un intervalo de tiempo.

Caudal Ambiental:

Son los flujos de agua, el momento de aplicación y la calidad del agua precisos para mantener los ecosistemas de agua dulce y de los estuarios, así como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen de tales ecosistemas.

Caudal Crítico:

Valor más bajo de caudal con respecto a un régimen en una determinada sección.

Caudal de Estiaje:

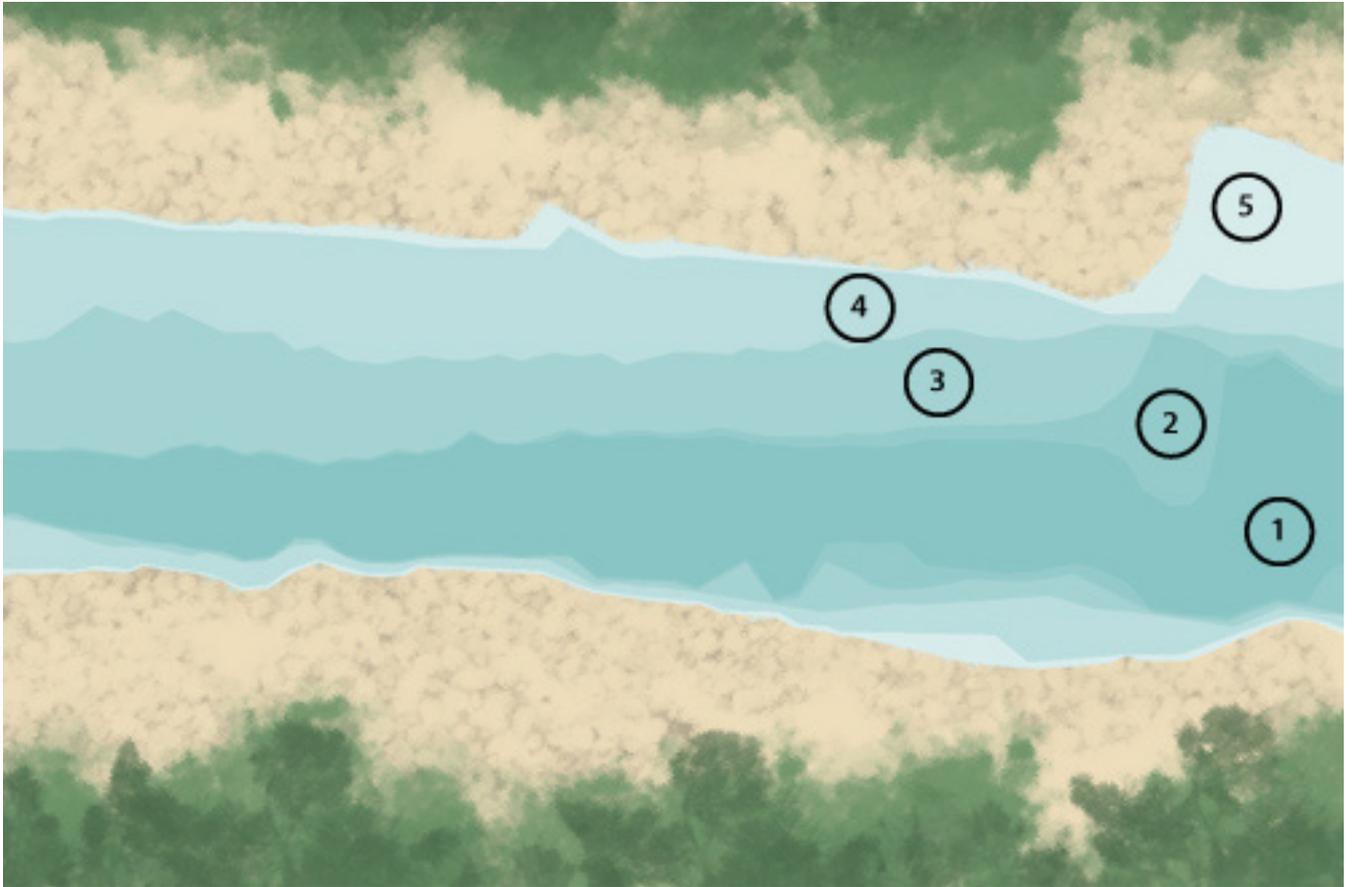
Promedio de los caudales mínimos en la época seca, obtenidos en un año hidrológico.

Caudal de mantenimiento:

Caudal que se debe dejar en un río aguas abajo de cada aprovechamiento de regulación o modificación del régimen natural, para mantener el nivel aceptable para el desarrollo de la vida acuática. También se relaciona a las avenidas que pueden ocurrir cada dos años y que remozan las

condiciones del cauce, con arrastre de materiales de diferentes tamaños y que alcanzan los bordes intermedios del cauce. (4)

Diferentes tipos de caudal:



Caudal de reconfiguración:

Es el caudal que puede reportarse en un río por grandes avenidas con periodicidades de hasta 20 años y que pueden provocar cambios mayores en el cauce, inundar sectores donde no es común que llegue el río. (5)

Caudal mínimo:

La mínima cantidad de agua que circula por un curso de agua de modo natural o no natural. (1)

Caudal mínimo aceptable:

Es el límite inferior del caudal de un río que podría mantenerse

en un cauce sin que se comprometa la condición de integridad del ecosistema y sus usos sociales.

Caudal mínimo remanente:

Es el caudal no derivable de una fuente producto de la particularidad hidrográfica de cada región, de tal forma que se garantice un caudal mínimo continuo y permanente aguas abajo de todo aprovechamiento a lo largo del cauce. Conocido por sus siglas CMR.

Caudal Natural:

Se refiere al flujo natural de un río sin que haya sufrido ninguna alteración. (2) Se señala también las avenidas que pueden ocurrir varias veces en el año en la época lluviosa. (3)

Ciclo hidrológico:

Circulación natural, regular y sucesiva del agua entre el mar, la atmósfera y la tierra.

Ciénaga:

Área de tierra húmeda y esponjosa.

Clástico:

Fragmentos o sedimentos derivados de rocas preexistentes.

Coefficiente de escorrentía:

Valor que establece la relación fija entre la tasa de escorrentía y la tasa de lluvia, para la cuenca. Depende de: Tipo del suelo, cobertura, intensidad de la lluvia, nivel freático, compactación del suelo, pendiente y porosidad del subsuelo.

Coefficiente de evapotranspiración del cultivo:

Valor empírico para cada cultivo que integra al conjunto de variables que operan en la relación de evapotranspiración

respecto al crecimiento vegetativo.

Comercial (uso):

Agua para envasar y comercializar.

Comunidad (social):

Conjunto de personas de un pueblo.

Comunidad (biológica):

Conjunto de especies que interactúan entre si directa o indirectamente en un mismo tiempo y espacio.

Concesión:

Autorización que entrega el estado para permitir el aprovechamiento temporal del agua, ya sea a personas, privadas o públicas, físicas o jurídicas.

Confluencia:

Unión o punto de unión de dos o más cursos de agua.

Consumo Humano:

Agua para satisfacer las necesidades de un núcleo familiar o particular, o de una población.

Continuo del Río (Teoría):

Teoría ecológica que se utiliza para describir y clasificar los cambios biológicos y geomorfológicos que se dan desde la cabecera del río hasta la desembocadura de un sistema lótico.

Corriente de fondo:

Movimiento del agua en el fondo de un lago, embalse o río.

Crecida anual:

Valor máximo de caudal presente en un año.

Cresta:

Valor máximo de un hidrograma.

Cuenca:

Espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal y a una vertiente, sea este lago o mar.

Cuenca hidrográfica:

Unidad territorial delimitada por la línea divisoria de sus aguas, las cuales drenan superficial o subterráneamente hacia una salida común. Cuando los límites de las aguas subterráneas no coincidan con la línea divisoria de aguas, dicha delimitación incluirá la proyección de las áreas de recarga de las aguas subterráneas, las cuales fluyen hacia la cuenca delimitada superficialmente. Si las aguas de una cuenca tienen como salida común algún punto del litoral, su zona de influencia marítima se considera como proyección de la cuenca hidrográfica respectiva, según lo determinen los estudios técnicos pertinentes.

Cuerpo receptor:

Cuerpo de agua ya sea dulce, salobre o salada donde se vierten agua residuales o pluviales

Curva de intensidad-duración-frecuencia:

Curva que muestra la probabilidad de que diversas intensidades de lluvia en periodos cortos de precipitación, sean superados en un área determinada.

D**DBO o Demanda Biológica de Oxígeno:**

Cantidad de oxígeno consumido por microorganismos en un litro de agua por cinco días a 20°C y sin presencia de luz.

Delta:

Conjunto geográfico y geomorfológico formado por depósitos aluviales que definen múltiples cauces en la desembocadura de un río.

Depósito aluvial:

Cualquier sustrato depositado por un flujo de agua.

Desembocadura:

Punto más bajo en el límite de una red de drenaje.

Dique:

Estructura que retiene un material, puede estar colocado de manera longitudinal (borde del río) o transversal (a lo ancho del río).

Dotación:

Cantidad de agua por unidad de producción o consumo, establecida por las necesidades de cada uso, además considera las variables de eficiencia en un aprovechamiento integral.

DQO o Demanda Química de Oxígeno:

Indicador de la calidad del agua que mide el consumo de oxígeno disuelto por oxidación química de compuestos orgánicos y minerales de agua.

Drenaje:

Evacuación del agua superficial, subsuperficial o subterránea en un área determinada, por gravedad o bombeo.

E**Eficiencia de riego:**

Relación del agua disponible para la planta y el agua total destinada al proyecto de riego.

Efluente:

En manejo de aguas, hace referencia al caudal que sale de la última unidad de conducción o tratamiento.

Embalse:

Acumulación de agua producto de una retención por medios físicos naturales o artificiales.

Escurrimiento:

Agua que proviene de la precipitación y que circula sobre o bajo la superficie terrestre y drena hasta a la salida de la cuenca.

Estación automática:

Estación cuyos instrumentos registran y transmiten observaciones automáticamente

Estación de referencia:

Estación hidrológica situada en una zona preferiblemente sin alteraciones de actividades humanas, establecida para conseguir series continuas de observaciones hidrológicas.

Estudio Hidráulico:

Análisis que se debe realizar antes de iniciar una obra civil de tipo hidráulico, este análisis se basa en el caudal mediante un estudio hidrológico.

Estudio hidrológico:

Análisis realizado por un profesional del ramo para resolver los problemas prácticos que se presenten en el diseño, planeación y operación de estructuras hidráulicas de aprovechamiento de agua o cauce y que tiene como fin de determinar el caudal de diseño. El contenido de los parámetros mínimos requeridos, amplitud y profundidad

del estudio dependerán del objetivo final de la obra o trámite requerido.

Evapotranspiración:

Cantidad de agua que retoma a la atmósfera, a través de la transpiración de la vegetación como por de la evaporación del agua en el suelo. Su magnitud depende del agua realmente disponible, es decir de la que se ha logrado retener para el consumo de la vegetación.

F

Flujo crítico:

Flujo en el cual el número de Froude iguala a la unidad; bajo esta condición la rapidez de pequeños disturbios iguala la media de la velocidad del agua.

Fuerza Hidráulica:

Agua cuyo objetivo es el desarrollo de energía mecánica, o bien para producir electricidad.

G

Gobernabilidad:

Situación en la que ocurren un conjunto de condiciones favorables para la acción de gobierno, o bien la capacidad del gobierno.

Gobernanza:

Proceso de toma de decisiones y el proceso por el que las decisiones son implementadas, o no.

Grava:

Piedra fraccionada entre 8 y 64 mm de diámetro.

H

Hábitat:

Combinación de condiciones en un sitio específico en el que se desarrollan los seres vivos.

Hidráulica:

Rama de la mecánica de fluidos que estudia el flujo de agua en condiciones y cursos de agua abiertos.

Hidrograma:

Gráfico que muestra la variación temporal de variables hidrológicas tales como el nivel de agua, caudal, velocidad y la carga de sedimentos.

Hidrología:

Ciencia que estudia las aguas superficiales y subterráneas de la Tierra, su aparición, circulación y distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, sus propiedades biológicas, químicas y físicas y sus reacciones con el entorno, incluida sus relaciones con el ser humano.

Humedales:

Ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lénticos o lóticos, dulces, salobres o salados, hasta seis metros de profundidad en marea baja.

I**Infiltración:**

Flujo de agua que penetra en un medio poroso a través de la superficie del suelo.

Informante clave:

Persona que es contactada para obtener información a cerca de algún punto de interés.

L**Limo:**

Sedimento clástico

Lótico:

Sistema por donde fluye el agua de manera unidireccional, se pueden clasificar en ríos, quebradas, arroyos, afluentes.

M**Macroinvertebrado acuático:**

Organismos que se pueden observar a simple vista y que son atrapados en una red de 500 micras, por lo general tienen una o más etapas de su ciclo de vida en el medio acuático.

Material de fondo:

Mezcla de sustratos que forman el lecho del curso de agua.

Meandro:

Porción curva de un cauce sinuoso, consistente en dos giros consecutivos.

Métodos de aforar:

Volumétrico, químico, vertedores, con flotadores, molinete, dimensiones hidráulicas

N**Naciente:**

Agua de origen subterránea que produce debido a la litología del suelo. Ej.: manantiales, nacimientos, afloraciones, ojo de agua, venero, lloradera

O**Obra en cauce:**

Obra civil que se realiza en el cauce con el objetivo de cambiar las condiciones del mismo en función de un propósito de uso o de protección civil.

P

Perfil del fondo:

Forma longitudinal o transversal del lecho de un curso de agua en un plano vertical.

Perforación del subsuelo:

Obra civil que genera hoyos con el objetivo de explorar las aguas subterráneas.

Periodo de retorno:

Intervalo de tiempo dentro del cual un evento considerado como avenida máxima puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio.

Poza:

Concavidad con presencia de agua estancada/ Zona de un río donde hay mayor profundidad y menor velocidad.

Pozo:

Excavación vertical (Hoyo) en la tierra para explorar y extraer aguas subterráneas.

Pozo artesanal:

Excavación de gran diámetro y poca profundidad (máximo 30 metros), no requiere concesión porque se considera de uso doméstico.

Pozo profundo:

Profundidad mayor a los 20 metros y con un diámetro de 4 a 20 pulgadas.

Predio Inferior:

Terreno ubicado aguas debajo de un punto de toma a ambos lados de la ribera.

Presa:

Barrera construida transversalmente en un valle para almacenar agua o elevar el nivel del agua.

Profundidad crítica:

Profundidad de un cauce en condiciones de régimen crítico.

Q**Quebrada:**

Curso de agua permanente o intermitente que corre por una apertura estrecha y áspera entre montañas.

R**Rápidos (del río):**

Condición producida por la velocidad del agua, por lo general de 0.4 m/s en adelante.

Régimen hídrico:

Variaciones del estado y de las características de una masa de agua que se repiten de forma regular en el tiempo y el espacio y que muestran patrones estacionales o de otro tipo.

Reófilo:

Organismo que habita en altas velocidades.

Represamiento:

Almacenamiento de agua artificial o natural en un terreno o dentro de un cauce.

Reserva de agua:

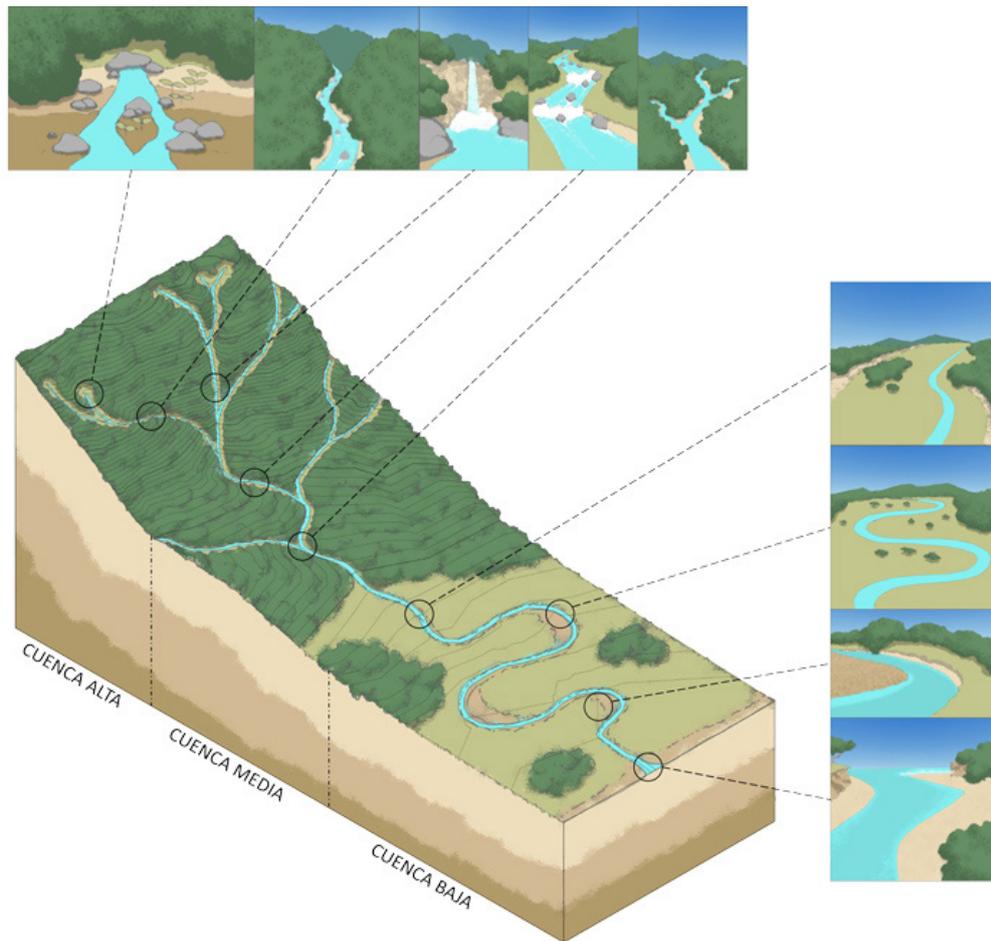
Volumen del total del agua susceptible de concesión en una cuenca, que se destina a una función exclusiva, por ejemplo, la protección ecológica, el agua que requieren los humedales para su subsistencia o para el futuro uso para consumo humano o para energía hidroeléctrica. Se estima que no debe otorgarse en concesión más del 40% del volumen de agua que se mantiene en un río.

Riego:

Uso que se le da al recurso hídrico con el fin de satisfacer la demanda hídrica de los cultivos.

Río:

Sistema Hidrográfico que conduce aguas producto de la precipitación y de la recarga subsuperficial en forma de flujo permanente o intermitente. En el siguiente diagrama, se pueden identificar las partes de un río tales como nacimiento, cañón, catarata, rápidos, afluentes, llanura de inundación, meandros, aluviones y desembocadura



Río trenzado:

Parte de un sistema fluvial en el que el agua fluye a través de varios cauces de menor tamaño entrelazados y separados por barras o bancos

Roca:

Piedra de >256 mm de diámetro

S**Sección transversal:**

Sección perpendicular a la dirección principal del flujo delimitada por la superficie libre y el perímetro mojado de la corriente o el cauce.

Sistema de tratamiento:

Procesos físicos, químicos o biológicos, que tienen como objetivos mejorar la calidad del agua que se descarga a un cuerpo de agua, según los reglamentos de vertidos.

Software R:

sistema computacional libre, con un enfoque al análisis estadístico.

Sustrato, Río:

Material de diversos tamaños que conforman el lecho del río.

T**Tensión de corte crítica:**

Tensión de corte mínima necesaria para iniciar el movimiento de partículas del lecho de un río.

Tiempo de concentración:

Tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae en el punto más alejado de la cuenca hasta que llega a la salida de ésta. Este tiempo está en función de ciertas características geográficas y topográficas de la cuenca.

U

Usuario:

Persona o conjunto de personas que hacen uso directo del cuerpo de agua.

V

Velocidad crítica:

Momento en el cual el flujo pasa de turbulento a laminar

Velocidad media:

Velocidad de una sección transversal determinada, que se obtienen dividiendo el caudal por el área de la sección transversal de la corriente de agua.

Velocímetro/Correntómetro:

Equipo mecánico, electrónico o magnético diseñado para medir la velocidad del agua.

Z

Zona de recarga acuífera:

Área a que alimenta un acuífero, bien por infiltración directa, o por escorrentía e infiltración subsiguiente.

Zona de reserva hidráulica:

Área geofísica delimitada para destinar el aprovechamiento del recurso hídrico al desarrollo de la fuerza hidráulica en generación eléctrica, bajo norma legal expresa y en condiciones restringidas para otros usos..



CUADRO DE AFECTACIÓN

Cuadro de afectación y recomendaciones

Como se explica en los **módulos 2 (información de proyecto) y 3 (metodologías)**, la selección de la metodología adecuada para un proyecto en particular, o para un objetivo establecido, pasa por una valoración de los diferentes criterios que impactan en el sistema hídrico. La relación entre el agua que se va a necesitar y el agua que hay en el sistema es posiblemente un criterio determinante, sin embargo, a fin de cumplir con la definición aceptada de caudal ambiental, deben considerarse también criterios ambientales, en los que se valoran los aspectos que afectan el ecosistema acuático y los de índole socio económicos.

La propuesta para valorar que metodología es recomendable utilizar se resume en un cuadro para identificar cual tipo de metodología corresponde utilizar. Se va a tomar en cuenta las principales afectaciones relacionadas a la pérdida de caudal

debido a extracciones de agua. Es por lo tanto un primer escrutinio para indicar cuál puede ser la metodología apropiada, no sustituye la aplicación del método adecuado para definir el caudal ambiental.

Para realizar una calificación **preliminar**, que aporte a la definición de cuál metodología corresponde utilizar, se propone un procedimiento que puede orientar a dimensionar el nivel de estudios que se necesitará para el proyecto, sin embargo, es muy importante considerar que el sistema hídrico en el que se está solicitando la concesión tiene ya una historia de uso, y que también pueden existir condiciones limitantes especiales que restringen el uso del recurso.

Como recomendación a nivel internacional, se maneja que un sistema no debe ser concesionado más allá de un 40% del agua disponible en época de estiaje. Las direcciones nacionales que manejan el recurso hídrico tienen la obligación de contar con la información del balance hídrico por cuenca y mantener actualizada esa información, de tal manera que no se comprometa el futuro de usos que tiendan a cubrir las necesidades básicas de saneamiento para las comunidades y la salud de los ecosistemas.

Procedimiento preliminar para identificar la metodología de caudal ambiental que corresponde al proyecto (figura 6-1):

1. Organizar la información del proyecto según se explica en el módulo 2.
2. Seleccionar los datos e información relacionados a los criterios del cuadro 6-1

3. Identificar el rango que corresponde a los criterios del cuadro 6-2.
4. Valorar los criterios ambientales de acuerdo con el Cuadro 6-3, seleccione la opción que corresponde al proyecto y anote el puntaje correspondiente, para así tener un puntaje para cada criterio y un total. Ver el ejemplo.
5. Identificar en el cuadro 6-4 la metodología que corresponde según el uso, rango de afectación al cauce y puntaje de criterios ambientales.

ORGANIZAR LA INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Cuadro 1

SELECCIONAR LOS DATOS E INFORMACIÓN

Cuadro 2

IDENTIFICAR EL RANGO QUE
CORRESPONDE AL CRITERIO

Cuadro 3

VALORAR LOS CRITERIOS

Cuadro 4

IDENTIFICAR LA METODOLOGÍA

Cuadro 5

Figura 6-1 Procedimiento para valoración preliminar de metodologías.

Cuadro 6-1

Criterio	Componentes	Observaciones
Caudal solicitado	M ³ /seg o lts/seg Según la necesidad del proyecto	Se contempla la dotación que corresponde al tipo de uso y necesidad del proyecto
% de afectación al cauce	$(Q \text{ solicitado} / Q \text{ promedio estiaje}) * 100 = x \%$	El porcentaje de afectación relaciona cómo se modificará el sistema hídrico natural de ese río
Restricciones ambientales	Ubicación	Restricciones de carácter geográfico, ecológico y social que se consideran y que según su presencia o ausencia varían la magnitud del impacto en el sistema hídrico. Ver módulo 2.
	Obra en cauce	
	Conflicto de uso	
	Áreas silvestres	
	Especies migratorias	

Cuadro 6-2.

Criterio	Condición rango
Q solicitado	0 a 1 lt
	1 a 10 lts
	> 10 lts
$(Q \text{ solicitado} / q \text{ promedio de estiaje}) * 100 \%$ afectación del cauce	< 0,01%
	de 0,01 a 0,1%
	de 0,1 a 1%
	de 1 a 5%
	> 10%



Ejemplo para cuadro 6.2

Si el caudal solicitado es de 2 litros por segundo y el caudal promedio de estiaje en el río es de 1 m³/seg (o sea 1000 l/seg). El factor de afectación sería de 0,2%.

Cuadro 6-3

Criterio Ambiental	Condición	Valor	Puntaje
Orden del río	Cauce principal	2	
	Afluente	1	
Ubicación	Cuenca alta	1	
	Cuenca media	2	
	Cuenca baja	3	
Obra en cauce	ninguna	0	
	Parcial	1	
	Presa < 1m	2	
	Presa de 1 a 5 m	3	
	Presa > 15 m	4	
Conflicto uso	si	2	
	no	0	
Área silvestre	si	1	
	no	0	
Sp migratoria o amenazada	si	1	
	no	0	



Ejemplo para cuadro 6.3

Para una toma ubicada en un afluente, Cuenca alta, con una obra parcial (que no cierra todo el cauce) en la que no hay conflictos de uso, no se afecta especies migratorias, pero aguas abajo está una zona protegida, el puntaje es el siguiente:

Ejemplo

Criterio Ambiental	Condición	Valor	Puntaje
Orden del río	Cauce principal	2	
	Afluente	1	1
Ubicación	Cuenca alta	1	1
	Cuenca media	2	
	Cuenca baja	3	
Obra en cauce	ninguna	0	
	Parcial	1	1
	Presa < 1m	2	
	Presa de 1 a 5 m	3	
	Presa > 15 m	4	
Conflicto uso	si	2	
	no	0	0
Área silvestre	si	1	1
	no	0	
Sp migratoria o amenazada	si	1	0
	no	0	
Total			4

Cuadro 6-4

Criterio										Criterio
Restricciones ambientales	METODOLOGIAS RECOMENDADAS									Afectacion cauce
más de 7										>10%
4 a 6										de 1 a 5%
2 a 4										de 0,1 a 1%
										de 0,01 a 0,1%
0 a 2										< 0,01%
USOS	Consumo humano	Agropecuario	Riego	Piscicultura	Agroindustrial	Industrial	Turismo	Comercial	Fuerza hidráulica	
Holística	Hidrobiologica	Hidrologica	Aforo							

En el caso del ejemplo anterior, donde se solicita un caudal de 2 l/seg y el factor de afectación es 0,2%. El puntaje de restricciones es 4, si se trata de un proyecto de Riego, le correspondería utilizar una metodología hidrobiológica.

Figura 6-1 Procedimiento para valoración preliminar de metodologías.

Métodos para calcular caudal ambiental	
Tipo Metodología	Insumos
Hidrológico	Registro de caudales medios, diarios, mensuales anuales. Por un periodo no menor de un año, algunas metodologías requieren datos de más de 5 años
Hidráulica	Mediciones de características físicas del cauce: Velocidad, perímetro mojado, profundidad, sustrato.
Hidrobiológico	Información: Geomorfológica, hidráulica, hídrica, calidad de agua en términos de nitratos, biomasa (algunos métodos en particular), temperatura, registro de caudales, estudio de vegetación ribereña, composición del suelo, batimetría, velocidad, planos de inundación, estudio de especies bentónicas, peces o cualquier otro grupo faunístico que se considera afectado.
Holístico	Regímenes de caudales, hidrología, curvas de duración, geomorfología, Información de campo sobre elementos del ecosistema o en su defecto información aportada por Panel de expertos. Estudios de calidad de agua. Estudios de preferencias de hábitat para especies indicadoras. Definición restricciones ecológicas Identificación de usos del recurso hídrico (Cultural, socioeconómicos, etc.), jerarquía de usos e importancia. Definición restricciones socioeconómicas