



## **CAUDALES AMBIENTALES**

*Preparado por:  
Francisco Pizarro*

**GWP-CA**  
2004

## Índice

1- Introducción.....	1
2- Caudales ambientales .....	6
2.1- Régimen de Caudales.....	10
3- Metodologías para la determinación de caudales ambientales .....	14
3.1. Descripción de Metodologías para la determinación de Caudales Ambientales .....	29
3.1.1- IFIM – Instream Flow Incremental Methodology.....	29
(Metodología Incremental para el cálculo del Caudal ) .....	29
3.1.2- BBM- Building Block Methodology .....	34
(Metodología de Bloques de construcción) .....	34
3.1.3- DRIFT- Downstream Response to Imposed Flow Transformation .....	37
( <i>Respuesta río abajo por la transformación impuesta al caudal</i> ) .....	37
4- Arreglos legales e institucionales .....	39
5- Estudios de caso.....	43
5.1. Presa sobre el Río Jarama. ....	43
5.2- Río Senqu (Lesotho). ....	49
5.3. Ríos de la Cuenca Murray-Darling. ....	52
6- Sistematización del Proceso de definición de flujos ambientales en Costa Rica. ....	55
6.1- Estableciendo flujos ambientales .....	55
6.1.1- SNE- Organismo Regulador de los Servicios Públicos .....	55
6.1.2- UICN- Unión Mundial para la Naturaleza. ....	57
6.1.3- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) .....	60
6.2- Viabilidad Institucional, legal y política en la determinación de caudales ambientales.....	61
6.2.1- Marco Institucional .....	61
6.2.2- Marco Legal .....	62
6.2.3- Viabilidad Política. ....	66
7- Conclusiones.....	68
8- Referencias .....	70
9- Anexo No. 1: Metodologías para el cálculo de flujos ambientales (EFM) .....	74

## Acrónimos

AAF	Average Annual Flow (= MAF = MAR) (Flujo anual promedio)
ABF	Average Base Flow or Aquatic Base Flow (Flujo base promedio)
ALIDES	Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible
BBM	Building Block Methodology (Metodología de bloques de construcción)
CA	Caudal Aportado
CCT	Centro Científico Tropical
CINPE	Centro Internacional de Política Económica
CM	Caudal Mínimo
CR	Caudal de Rebose
DRIFT	Downstream Response to Imposed Flow Transformation (Respuesta río abajo por la transformación impuesta al caudal)
EFM	Environmental flow methodology (Metodología de caudales ambientales)
EFR	Environmental flow requirement (Requerimiento del caudal ambiental)
EF	Environmental flow (caudal ambiental)
FDC	Flow Duration Curve (Curva de duración del flujo)
GWP	Global Water Partnership (Asociación Mundial del Agua)
HDC	Habitat Duration Curve (Curva de duración del hábitat)
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IFIM	Instream Flows Incremental Methodology (Metodología Incremental para el cálculo del Caudal)
MAF	Mean Annual Flow (Flujo anual medio)
MAR	Mean Annual Runoff (Esguimiento anual medio)
MINAE	Ministerio del Ambiente y Energía
OET	Organización para Estudios tropicales
Q	Caudal
RAC	Régimen Ambiental de Caudales
RIRH	Red Interamericana de Recursos Hídricos
SNE	Organismo Regulador de los Servicios Públicos
UCR	Universidad de Costa Rica
UICN	Unión Mundial para la Naturaleza

## 1- Introducción

El agua es el elemento esencial para la vida y todos somos conscientes que esta es necesaria para el consumo de todos los seres vivos, para la producción de alimentos, electricidad, mantenimiento de la salud, también es requerida en el proceso de elaboración de muchos productos industriales, medio de transporte y es esencial para asegurar la integridad y sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra (ONU/WWAP, 2003).

Aún con lo indispensable que es el agua para el mantenimiento del planeta, no existe una conciencia social globalizada sobre el manejo razonable que se debe ejercer sobre el recurso, los países con crisis permanente de agua son los que llevan la peor parte, enfermedades, falta de alimento y muerte de personas y de los medios de subsistencia es asunto cotidiano. En contraste, los países privilegiados por las condiciones climáticas y la abundancia del agua, la conciencia y la cultura del ahorro del agua son afectadas en menor grado. Por ende, los habitantes de los países ricos creen en muchos casos tener el problema solucionado por su capacidad de pago y se olvidan que el funcionamiento del planeta depende de este recurso.

Eliminado: ,

En años recientes, la disponibilidad y el acceso al agua dulce han sido señalados como unos de los recursos naturales más críticos que enfrentará el mundo. El reporte ambiental GEO 2000 de Naciones Unidas, indica que la escasez mundial del agua representa a una escala general una emergencia, donde el ciclo del agua no podrá suplir las demandas en las próximas décadas (UNEP, 1999). El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) enfatiza que el agua dulce es esencial para la salud humana, agricultura, industria y ecosistemas naturales, pero existe escasez en muchas regiones del mundo (WWF, 1998).

Eliminado: n

El consumo de agua casi se ha duplicado en los últimos cincuenta años, pero no existe equidad, un niño que nace en un país rico consume de treinta a cincuenta veces más agua que uno que nace en un país en vías de desarrollo (UNFPA, 2002). La crisis del agua presentada en números para una mejor y más rápida comprensión de la magnitud del problema, indica que por muchos años, durante las décadas

Eliminado: ,

Eliminado: de las

pasadas, 6,000 personas, especialmente niños menores de cinco años, murieron diariamente. Se han presentado fenómenos asociados al agua donde 3,000 personas han muerto en un solo día. Sin la seguridad del agua potable los humanos no podrían sobrevivir por mucho tiempo, las enfermedades relacionadas con el agua están entre los más comunes malestares y la mayoría de los casos se presentan en los países en desarrollo (ONU/WWAP, 2003)

Se ha estimado que en el año 2000 más de 2 billones de personas se vieron afectadas por la escasez del agua en unos 40 países, de estos 1.1 billones no tuvieron suficiente agua para tomar (WHO/UNICEF, 2000).

Eliminado: tuvo

Otra forma de afectación del agua se relaciona con los desastres, entre 1991 y 2000 más de 665,000 personas murieron en 2,557 desastres naturales, de los cuales el 90% fueron eventos relacionados con el agua y la mayoría de las muertes (97%) ocurrió en los países en desarrollo (IFRC, 2001).

El aprovechamiento controlado de los recursos hídricos ha alcanzado valores de 3,800 km<sup>3</sup> anuales de agua dulce de los lagos, ríos, lagunas y acuíferos del mundo, para suplir las necesidades de la población creciente y de las actividades económicas. De acuerdo con el Instituto Mundial de Recursos, al menos el 46% de los ríos de las 106 vertientes básicas del planeta han sido modificados por una gran represa (CMR, 1999).

Con formato: Superíndice

Se reconoce ampliamente que el desarrollo de los países está ligado al uso del agua y a la construcción de infraestructura para controlar la disponibilidad del líquido. En 1949 había construidas 5,000 grandes represas en el mundo y a finales del siglo XX, había 45,000 grandes represas en más de 140 países, el auge de estas obras se dio en los años 70s y 80s. El 80% de las grandes represas fueron construidas en cinco países, China (22,000 represas), EEUU, (6,390), India (4,000), España (1,300) y Japón (1,000). (CMR, 1999)

Eliminado: habían

Eliminado: ,

Las Grandes represas se han constituido en instrumentos de desarrollo nacional y regional, como medio importante para satisfacer necesidades de agua, energía y estrategia de inversión de largo plazo. El aporte económico y servicios básicos asociados al agua son incalculables, entre el 30% y 40% del de las tierras irrigadas en el mundo depende de las represas y se estima que contribuyen hasta un 12% - 16% de la producción mundial de alimentos. Globalmente el 12% de las grandes represas abastecen el consumo humano de agua (CMR, 1999), la hidroelectricidad proporciona en la actualidad el 19% del suministro total de electricidad del mundo y se utiliza en más de 150 países; representa el 90% del suministro nacional total de electricidad en 24 países y más de 50% en 63 países. A escala global, los niveles actuales de generación hidroeléctrica ahorran 4.4 millones de barriles diarios de algún combustible de petróleo, (CMR, 1999).

Eliminado: n

Eliminado: .

Ampliamente reconocidos son los servicios y aportes económicos de las represas en el siglo XX, sin embargo, no se deben ocultar los problemas asociados a su construcción y operación que han producido muchos impactos humanos y sociales negativos y significativos, efectos como, poblaciones desplazadas, comunidades anfitrionas y comunidades ribereñas, que están río abajo de la represa, cuyos medios de subsistencia y acceso a recursos se ven afectados en diferente medida por los caudales alterados de los ríos y por la fragmentación de ecosistemas. En general, entre 40 y 80 millones de personas han sido desplazadas por represas en todo el mundo. (CMR, 1999)

Las vertientes del mundo son el hábitat del 40% de las especies de peces del planeta, y proveen muchas funciones ecosistémicas que van desde el reciclaje de nutrientes y de la purificación del agua, hasta el abastecimiento de los suelos y el control de inundaciones. Las transformaciones de los ecosistemas no solo se presentan en los niveles altos, intermedios y bajos de la cuenca, sino que también impactan los estuarios y deltas de ríos, que con frecuencia son ecosistemas complejos.

El manejo del recurso hídrico tiene una complejidad extrema debido a los diferentes roles en el desarrollo social, económico, ambiental y hasta político que desempeña en los tiempos actuales, esta situación se agrava por el factor escasez en recursos de aguas compartidas por dos o más países. En la actualidad hay 263 cuencas compartidas que albergan aproximadamente el 40% de la población global. En la mayoría de los casos los arreglos institucionales necesarios para regular la equidad del recurso son débiles o están ausentes (ONU/WWAP, 2003).

El manejo integrado del recurso agua es una idea ampliamente aceptada aunque de difícil implementación, sobre todo por las relaciones de conflictos debido al uso del agua por los diferentes sectores productivos, sociales y ambientalista. Las presiones sobre el recurso son constantes debido al incremento en la demanda para suministro humano, irrigación, acuicultura, urbanismo, industria y caudales de protección de los ecosistemas como fuentes de preservación de la biodiversidad, paisaje y salud. Acciones efectivas e inmediatas son requeridas para priorizar el agua sobre otras áreas de la política de desarrollo de los estados.

Desde el punto de vista ambiental se realizan esfuerzos importantes para establecer caudales ecológicos o ambientales que garanticen la protección de la biodiversidad y de las funciones de los ecosistemas. Según Tharme (2003) unas 133 metodologías con aplicaciones en más de 40 países y muchos estudios de casos se encuentran disponibles en el medio científico. Estas herramientas metodológicas constituyen el punto de partida para el establecimiento de caudales ecológicos, según los objetivos y condiciones de los ecosistemas pluviales e intereses de los países.

Eliminado: ,

La Asociación Mundial para el Agua en la región centroamericana (GWP-Centroamérica), ha iniciado actividades que perfilan hacia el apoyo de gestiones técnicas y políticas para el establecimiento de caudales ambientales, con el fin de promover el desarrollo de legislación adecuada y arreglos institucionales, que permitan el manejo de caudales que cumplan con los requerimientos ambientales de las especies y el funcionamiento integral de los ecosistemas fluviales.

Eliminado: del

Esta iniciativa de GWP-Centroamérica incluye inicialmente tres fases, la primera comprende una revisión sobre el desarrollo y aplicación de metodologías para la determinación de caudales ambientales a nivel global, enfocando aspectos legales y experiencias en los cálculos de caudales ecológicos en la región de la cuenca del caribe.

La segunda fase es la definición de aspectos claves para promover la inclusión de los caudales ambientales en las políticas y marcos jurídicos de los países centroamericanos, elementos que serán desarrollados en una propuesta de proyecto que permita el cumplimiento de esta fase.

La ejecución del proyecto a través de una alianza regional permitirá el fortalecimiento, técnico, institucional y legal en los países de Centroamérica. Se pretende el desarrollo de acuerdos regionales a favor del establecimiento de los caudales ambientales, especialmente en cuencas compartidas y en aquellos ecosistemas fluviales complejos, donde convergen variables económicas, sociales y ambientales claves para el desarrollo local o nacional. Estas acciones son parte de la tercera fase de la iniciativa de GWP-Centroamérica.

El desarrollo de la primera fase de esta iniciativa, es el objetivo de este trabajo, particularmente, la revisión de metodologías, sistematización de experiencias relevantes y descripción del proceso que se desarrolla en Costa Rica. La elaboración de una propuesta es un componente de este estudio y será presentada en un documento separado a éste.

Eliminado: ,

## 2- Caudales ambientales

La búsqueda del establecimiento de un caudal que permita el desarrollo de las funciones del ecosistema fluvial se ha denominado de diferentes formas, entre ellas, caudal ambiental, caudal de mantenimiento, caudal mínimo, caudal recomendado, caudal reservado, caudal regulado, caudal ecológico y régimen de caudales aceptables.

De esta variedad de nombres no escapa tampoco la definición que se ha pretendido establecer para este concepto, los aportes en este caso son más constructivos, debido a los elementos y criterios que cada una de las definiciones agrega, algunas de ellas son las siguientes:

- Es el flujo que debe mantenerse en cada sector hidrográfico, de tal manera que los efectos abióticos (disminución del perímetro mojado, profundidad de calado, velocidad de corriente, difusión turbulenta, incremento en la concentración de nutrientes, etc.), producidos por la reducción de caudal no alteren la dinámica del ecosistema (Agirre y De Bikuña, sf)
- Flujo ambiental es el caudal que es dejado en un ecosistema fluvial, o liberado en este, para propósitos específicos en el manejo de las condiciones de ese ecosistema (The World Bank, 2003a)
- Se definen los flujos ambientales como el flujo necesario para sostener los hábitats (incluso la morfología del cauce y sustrato), que estimulen los desoves y la migración de especies de la fauna hacia hábitats anteriormente despoblados, que habilite los procesos sobre los cuales la sucesión y la biodiversidad dependen, y que mantengan la estructura deseada de nutrientes en lagos, arroyos, humedales y áreas riparias. Los flujos ambientales podrían comprender todos los elementos de las condiciones del flujo, como son los flujos promedios a largo plazo, la variabilidad de flujos,

incluyendo los flujos bajos y los eventos irregulares de inundación (Brendan Smyth, 1999)

- Se define el caudal ambiental como el régimen hídrico que se establece en un río, humedal o zona costera para sustentar ecosistemas y sus beneficios donde hay empleos del agua que compiten entre sí y donde los caudales están regulados (UICN, 2003)
- Los caudales ecológicos, tendrían como finalidad ser capaces, de mantener el funcionamiento composición y estructura del ecosistema fluvial, que ese cauce contiene en condiciones similares a las naturales (Baeza y García, 2003).
- 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 (Palau, 1994)
- La cantidad de agua, expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia de flujos específicos y la calidad de agua expresada en términos de rangos, frecuencias y duración de la concentración de variables claves de calidad de agua que son requeridas para mantener un nivel deseado de salud en el ecosistema”(propuesta Costa Rica, 2003)

Actualmente, en muchas áreas del planeta no se cumplen las pautas para el desarrollo sostenible y uso del recurso agua. La creciente demanda del recurso, así como la reducción de los caudales en ríos con sus graves consecuencias para usuarios y ecosistemas, la sobre explotación de acuíferos a tasas superiores a la reposición natural, los problemas de contaminación y degradación de la calidad de las aguas, las dificultades de acceso al recurso para satisfacer necesidades básicas de un alto porcentaje de la población, son desafíos que demandan con urgencia

estrategias que permitan resolver las numerosas tareas pendientes en cuanto a la utilización de los recursos hídricos.

Los ríos de mayor caudal han sido sometidos a modificaciones drásticas en la estructura, composición y el funcionamiento del ecosistema fluvial, lo que ha repercutido negativamente, año tras año, tanto en los diferentes parámetros de calidad utilizados como en los descriptores del grado de conservación de dicho ecosistema. A los ya clásicos problemas de vertidos contaminantes y de alteración/ocupación de riberas y márgenes fluviales, se ha unido la reducción de los caudales circulantes fruto de un aumento continuado de las demandas "extractivas" de agua, problema que ha venido a empeorar los actuales escenarios de contaminación y de destrucción del medio ripario ( Agirre y De Bikuña, 2003)

Los ríos excesivamente regulados carecen de crecidas periódicas y pasan a formar parte de un sistema cerrado de contaminación y eutrofización, a la vez las comunidades de especies hidro-dependientes entran en procesos de degradación permanente, en particular las especies especialistas, con predominios de las especies de carácter generalistas, por su mayor capacidad de adaptación a los cambios bruscos, generalmente estas son de origen alóctono, consecuentemente se genera la pérdida de biodiversidad.

En Caudales ambientales no solo es importante la cantidad de agua, también el régimen y la calidad son variables determinantes para un buen funcionamiento del ecosistema fluvial sometido a regulación del flujo. El término 'calidad del agua' adquiere diferentes significados según el punto de vista del usuario, o también en función de los "objetivos de calidad" establecidos a priori, la aceptación del grado de calidad dependía del tipo de aprovechamiento, si es para consumo humano se requiere cumplir con parámetros establecidos, en cambio menor calidad es aceptada si su uso es para el mantenimiento de determinadas poblaciones piscícolas. Este concepto de "calidad en función de" ha dificultado la unificación de criterios y objetivos, al tiempo que genera un escenario de confusión produciendo en algunos

casos incoherencias, y donde el objetivo subyacente de protección del medio acuático quedaba "diluido".

Ligado a la calidad del agua está el término "contaminación" que ya en los países desarrollados no se limita a la perspectiva única de alteración de la composición química del agua<sup>1</sup>. Un ejemplo en estos avances conceptuales y legales se encuentran en el documento aprobado de la nueva Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, donde se ha establecido un nuevo objetivo ambiental de calidad, que integra los aspectos de calidad biológica, de la calidad fisicoquímica y de la calidad hidromorfológica de las aguas. De esta forma, el sentido de la "contaminación" ha quedado unido directamente al de degradación del ecosistema, es decir, al de alejamiento del buen estado ambiental posible. Por primera vez en este tipo de normativas se reconoce la existencia de un conflicto entre los usos humanos y el medio natural, conflicto para el que se han de concretizar escenarios, modelos y marcos de resolución. (Aguirre y De Bikuña, 2003)

Debido al incremento de infraestructuras como las represas y diques, que permiten un mejor control del líquido para la irrigación, el suministro urbano, el mantenimiento de flujos para la navegación, flujos de retorno de desagüe, y estructuras para el control de inundaciones, se han llevado a cabo grandes alteraciones en los flujos de muchos ríos del mundo.

Estas intervenciones han causado impactos significativos, reduciendo el flujo total de muchos ríos y afectando la estacionalidad de los flujos y el tamaño y frecuencia de las inundaciones. En muchos casos, estas modificaciones han afectado los servicios ecológicos e hidrológicos proporcionados por ecosistemas de agua, los cuales a su vez han aumentado la vulnerabilidad de las personas, especialmente los pobres, quienes dependen de los servicios fluviales.

Actualmente se reconoce que las modificaciones de los flujos de los ríos necesitan ser balanceadas con los servicios ecológicos esenciales dependientes del agua. Los

---

<sup>1</sup> tema ampliamente estudiado y en virtud de la concentración de determinadas sustancias se puede caracterizar y valorar según los índices y tablas de referencia.

flujos necesarios para mantener estos servicios son llamados flujos ambientales y el proceso para determinar estos servicios es llamado evaluación de flujos ambientales (EFA). (The World Bank, 2003a)

El concepto “caudal ambiental” ha evolucionado rápidamente en la última década, en favor de una mejor protección de los ecosistemas fluviales, de una concepción meramente cuantitativa y orientada a satisfacer un mínimo para evitar que el río sea secado, se pasó a incorporar los requerimientos de la ictiofauna, y más recientemente, desde la consideración holística del río, se ha concebido el régimen ambiental de los caudales, como el que permite mantener la composición, estructura y funciones básicas del ecosistema fluvial, contemplando en consecuencia, tanto los aspectos bióticos, acuáticos y de ribera, así como los abióticos, entre ellos morfología fluvial, dinámica sedimentaria y variabilidad del régimen de caudales.

Esta rápida evolución conceptual y metodológica sobre caudales ecológicos se ha perfilado hacia un término más integral, el “*régimen ambiental de caudales*” (RAC) o “*régimen de caudales ambientales*”.(RCA). Las metodologías que integran elementos sociales, económicos y ambientales son las más adecuadas para este tipo de análisis, no obstante, se requiere un marco legal acorde con esta nueva concepción y una percepción social de la necesidad ineludible de establecer unos umbrales que aseguren la vida en los ríos. La determinación y aplicación del régimen ambiental de caudales será una materialización tangible y efectiva de la consideración de la integridad funcional del río y de su trascendental papel como elemento vertebrador ambiental (Martínez, 2003).

## **2.1- Régimen de Caudales**

La sustentabilidad de un hábitat acuático no se asegura con el mantenimiento de un caudal mínimo constante a través de todo el año, ya que la biota acuática, al igual que todas las otras, presenta distintos requerimientos en sus diferentes etapas de desarrollo. Igualmente, como en determinados períodos del año coexisten sólo algunos estados de vida y en otros todos ellos están presentes, el problema resulta

sumamente complejo, especialmente si se tiene en cuenta que las interacciones diversas entre éstos no son conocidas en su globalidad ( Espinosa *et al*, sf)

El régimen de los flujos de un río es clave para el funcionamiento del ecosistema y los procesos de mayor escala como las inundaciones periódicas que mantienen la calidad de los suelos de las llanuras de inundación. Existen represas que cumplen funciones de control de inundaciones que liberan grandes flujos para simular, sin riesgo para la población, las inundaciones naturales con el fin de suplir importantes productos como el enriquecimiento de las pesquerías y la tierra, para cultivos y pastizales.

También se reactivan funciones como la recarga de acuíferos, reciclado de nutrientes y renovación de aguas estancadas; otros valores de estos regímenes de caudales extraordinarios controlados son la activación de dispositivos biológicos que favorecen la biodiversidad. Para muchos países los ecosistemas inundados proporcionan seguridad económica, social, cultural y ambiental, principalmente en las comunidades rurales. Los caudales extraordinarios son muy importantes para la migración de peces, transporte y renovación de sedimentos. En algunos casos el manejo de regímenes de grandes flujos ha sido propuesto, pero solo en unos pocos se ha implementado como parte de estrategias de mitigación, para restaurar y conservar humedales y mantener estilos de vida tradicional (The World Bank, 2003a)

Las grandes avenidas también pueden ser contempladas para el establecimiento de caudales ecológicos altos, que sean capaces de cumplir las funciones que las crecidas de los ríos producen, tal como remover los finos acumulados en el lecho, arrastrar vegetación acuática, detritus, aguas excesivamente salinas, o bien modificar la morfología del cauce y en el caso de inundaciones, mantener la cubierta vegetal de las riberas. Cuando se diseña un régimen ecológico de caudales estas avenidas no se suelen estimar, ya que se trata de emplear poca agua y se usan índices atenuadores como las medias mensuales, por lo que las avenidas desaparecen. El cauce, y por lo tanto el hábitat que representa, se encuentra en equilibrio geomorfológico con los caudales que circulan por él. Por ello un régimen de caudales

ecológicos debe tener en cuenta la existencia de avenidas de tal magnitud con frecuencias entre uno y dos años con objeto de mantener en buenas condiciones el sustrato del río y la vegetación riparia, adaptando asimismo dicho régimen a las necesidades de otras especies presentes en el ecosistema. En los ríos más torrenciales y que drenan cuencas áridas, su frecuencia e intensidad puede ser mayor.

Para el cálculo del régimen de avenidas hay que analizar la serie de caudales naturales y estudiar los valores máximos para periodos de recurrencias de 1,5 a 2 años. Si el flujo se encuentra poco regulado o con regulaciones establecidas pocos años atrás, se puede definir como avenidas ordinarias el caudal que llena el cauce; la utilización de métodos hidráulicos son buenas herramientas para este tipo de cálculos. También se puede hacer una estimación rápida del régimen de las avenidas, tomando como base la media de los caudales máximos diarios de una serie de más de diez años (Baeza y García, 2003)

Los requerimientos de hábitat, calidad de las aguas y flujos por parte de las comunidades dependientes del agua no son los mismos a lo largo del año ni en los diferentes tramos del río, existiendo temporadas críticas en las cuales las exigencias de las especies les hace más vulnerables a los cambios ambientales. Así los periodos de desove y de desarrollo de los embriones se requiere unos caudales determinados sin crecidas, y en las épocas calurosas los salmónidos exigen aguas más rápidas para poder tolerar la escasez de oxígeno disuelto. Por ello los caudales ecológicos circulantes han de ser mayores en estas épocas críticas y por lo tanto deben fluctuar de acuerdo con los requerimientos estacionales de las especies (García y González, sf)

Es necesario definir un Régimen de Caudales Ecológicos con el fin de proteger el hábitat fluvial en todos los estados de desarrollo de las especies acuáticas. Ciertamente las especies han evolucionado de acuerdo con estas pautas de fluctuación y en ocasiones las utilizan para programar sus ciclos de vida de manera

más eficiente y por ello, parece lógico imitar a la fluctuación estacional que se da en el régimen natural a la hora de establecer el régimen de caudales ecológicos. Por tanto, se debe modular dicho régimen de acuerdo con las fluctuaciones naturales haciéndolas compatibles con los mínimos determinados por los criterios de exigencia de hábitat y las especies objetivo.

A partir de los caudales ecológicos básicos establecidos, estamos en condiciones de elaborar unos regímenes de caudales ecológicos utilizando la curva de caudales medios mensuales (en régimen natural), ajustando el valor mensual mínimo de esta curva al valor de caudal ecológico básico y calculando los caudales de los restantes meses de forma proporcional. Es decir eligiendo el mes del año en el que el régimen natural toma un valor medio mensual menor, y le asignamos dicho caudal ecológico básico. El régimen caudales ecológicos debe fluctuar a lo largo del año siguiendo la pauta similar a la del régimen natural, y para ello, disminuirémos los valores mensuales medios de este en una proporción igual a la relación entre el caudal ecológico y el caudal medio mensual natural mínimo (García y González, sf)

La determinación del régimen de los flujos ambientales debe estar en función de los objetivos y en concordancia con el grupo de especies que se pretende proteger. Según Baeza y García, 2003, en términos generales los regímenes de flujos responden a cuatro tipos de soluciones:

- Adaptar las variaciones de caudal a las exigencias de este en función de las necesidades de agua de las especies en las épocas más críticas, como el desove, las migraciones, la cantidad de oxígeno disuelto en algunas estaciones.
- Utilizar las oscilaciones del régimen que se producen de forma natural en el río, estas se pueden conocer si se disponen de aforos.
- Identificar parámetros hidrológicos del régimen de interés ecológico, como la magnitud, duración y frecuencia de las avenidas y estiajes, o la constancia y predecibilidad de los caudales, y tratar de mantenerlos dentro de unos intervalos, que creamos que son los más similares a los naturales, o a los que soportan las especies.

- Elaborar un régimen por bloques, que pueden ser mensuales o de periodos críticos del hidrograma del río, en los que un grupo de especialistas aporta lo que cada grupo biológico o cada componente del ecosistema necesitaría como mínimo para que este siguiera funcionando sin graves alteraciones, es lo que se viene denominando BBM (Building Block Methodology)

Las estimaciones y cálculos de los regímenes de los caudales ecológicos están en función de las etapas o comportamientos de mayor vulnerabilidad de las especies. Las metodologías quedan a criterio de los especialistas que estén desarrollando las acciones para el establecimiento de los valores más aceptables en función de los usos, demanda y valores científicos del ecosistema fluvial.

### **3- Metodologías para la determinación de caudales ambientales**

Existe una bibliografía abundante sobre metodologías utilizadas para el cálculo de caudales ambientales, con diferentes criterios, objetivos e intereses de base. En la actualidad existen aproximadamente 133 metodologías, con más de 208 aplicaciones reales en unos 44 países. Esta gran cantidad de metodologías han sido analizadas y clasificadas de diferentes formas, Palau (1994), las ubica en tres tipos de planteamientos o metodologías, un primer bloque de métodos son estrictamente hidrológicos, basados en el estudio de largas series temporales de registros de caudales, con estos métodos el caudal ambiental se establece a partir del resultado de operaciones matemáticas, fueron de aplicación muy extendida a finales de los años 80s e inicio de los 90s, actualmente se les considera poco integradores de las variables biológicas y funcionales de los ecosistemas fluviales.

Otro bloque metodológico para el cálculo de caudales ambientales es el basado en criterios hidráulicos o hidráulico-biológicos, son métodos que se basan en el estudio de la evolución de una serie de parámetros morfohidráulicos que definen el hábitat de una comunidad acuática determinada, principalmente de peces, de alguna forma se puede decir que son una “segunda generación” de métodos de cálculos de caudales ecológicos, con propuestas que no han tenido la atención que merecen por

la aparición de los métodos de simulación de hábitats que actualmente se encuentran en boga. Una “tercera generación”, agrupables bajo la denominación de “ métodos de simulación de hábitats”, se basa en el estudio de un grupo de variables morfohidrológicas, fisicoquímicas, tróficas, etc. Se extrapola hasta su relación concreta con algunas variables biológicas, poblacionales (Biomasa, densidad, etc.) de especies de peces u otras de interés para definir sus preferencias de hábitat. La determinación del caudal ambiental a partir de estos planteamientos no resulta tan sencilla y directa como en los casos anteriores, además requieren de mayor tiempo y son de alto costo (Palau, 1994)

El Banco Mundial también ha realizado una clasificación general de los métodos de cálculo de flujos ambientales, ésta se muestra en el Cuadro No.1.

**Cuadro No.1. Datos relativos y requerimientos de tiempo de los métodos de evaluación de flujos seleccionados**

<b>Tipo de métodos</b>	<b>Método</b>	<b>Duración de la evaluación</b>	<b>Confiabilidad</b>	<b>Nivel de Aplicación</b>
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	IFIM	2-5 años	Alta	USA, UK - Extensivo
	DRIF	1-3 años	Alta	Lesotho, Sudáfrica – Muy limitado

Fuente: Banco Mundial, 2003

Una clasificación más extensa y explicativa es propuesta por Rebeca Tharme (2003), incluye todas las metodologías para el cálculo de los flujos ambientales.

**Cuadro No. 2: Clasificación de las metodologías sobre flujos ambientales.**

Tipo de Metodología	Descripción
Hidrológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprende porcentajes fijos, descargas históricas e índices hidrológicos.</li> <li>• Simple, principalmente evaluación de escritorio, que usa los datos hidrológicos, usualmente registros históricos de flujos mensuales o diarios de caudales.</li> <li>• Incorpora varios índices hidrológicos, incluyendo las variables de la cuenca de captación, también puede considerar criterios hidráulicos, biológicos y/o geomorfológicos.</li> <li>• Se requiere solo experiencia en hidrología y un poco de ecología.</li> <li>• Normalmente se seleccionan los índices de flujo con base en el juicio profesional y/o usando una combinación de análisis estadístico y observaciones estructuradas del río, de tipo hidrológico y/o ecológico.</li> <li>• Una proporción fija de flujo (a menudo un "flujo mínimo" absoluto) representa el flujo ambiental requerido (EFR), que mantiene en un nivel aceptable en la condición del río, la pesquería de agua dulce u otros rasgos ecológicos relevantes, en una base anual, estacional o mensual.</li> <li>• Se aplican en situaciones donde existe un uso poco intensivo del recurso hídrico y baja frecuencia o resolución de los datos de registros históricos de caudales.</li> <li>• Estos métodos son más apropiados para la fase de planificación, o en situaciones de baja controversia.</li> <li>• Pueden utilizarse como herramientas dentro de las metodologías de simulación del hábitat, enfoque holístico o combinación.</li> <li>• Se han aplicado en países desarrollados y subdesarrollados.</li> </ul>
Hidráulicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizan una relación cuantificable entre la cantidad y calidad del recurso hídrico para calcular los requerimientos del flujo ambiental (EFRs), por ejemplo, el hábitat de los peces y los cambios en el caudal (Q).</li> <li>• Estos métodos usan los cambios en las variables hidráulicas simples (por ejemplo el perímetro húmedo, la profundidad máxima, la velocidad media, etc.).</li> <li>• Las mediciones se realizan en una o varias secciones transversales del río, donde exista un factor limitante para el mantenimiento del flujo o para las especies de peces o invertebrado del bentos.</li> <li>• El punto de inflexión de la curva de respuesta del hábitat al caudal (Hábitat-Q), se interpreta como el umbral, después del cual la calidad del hábitat llega a ser significativamente degradada.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinan métodos de escritorio y de campo, requieren una limitada modelación hidrológica e hidráulica, datos ecológicos y experiencia.</li> <li>• Se aplican en situaciones de baja a moderada intensidad de uso recurso hídrico y poca complejidad en el manejo.</li> <li>• La mayoría de estos métodos forman parte de las metodologías de simulación del hábitat o el tipo holístico.</li> <li>• Representan a los precursores de los métodos de simulación del hábitat.</li> <li>• Han sido aplicados principalmente en los países desarrollados.</li> </ul>
Simulación de Hábitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocido como evaluación, modelación o mapeo del hábitat, métodos hidro-biológico o métodos del micro hábitat</li> <li>• Es un método de cálculo de flujos ambientales que combina el trabajo de escritorio y de campo, que hace relaciones entre el hábitat y el caudal (hábitat-Q).</li> <li>• Estos métodos obtienen los requerimientos de flujos ambientales a través del análisis de la cantidad y conveniencia de la disponibilidad física del hábitat de las especies meta, bajo diferentes regímenes de flujo, con base en los datos de respuestas hidrológicas, hidráulicas y biológicas integradas.</li> <li>• Los cambios físicos del micro hábitat relacionados con el flujo son modelados en varios programas hidráulicos, usando los datos de una o más variables hidráulicas, normalmente la profundidad, velocidad, la composición del substrato, cobertura, y más recientemente, índices hidráulicos complejos (por ejemplo el estrés del bentos), colectados en múltiples secciones transversales dentro del área de estudio del río.</li> <li>• La disponibilidad del hábitat simulado a diferentes caudales, se asocia con la información sobre los rangos de preferencias de las condiciones de hábitat para las especies meta en sus diferentes estados de vida, agrupamientos y/o actividades.</li> <li>• Los resultados en la forma de la curva de Hábitat – Caudal, para la biota o dado como tiempo de hábitat, son usados para predecir el flujo óptimo como requerimiento de flujos ambientales.</li> <li>• Los requisitos de la calidad de los datos son de moderada a alta, incluyen los registros históricos de flujo, variables hidráulicas para múltiples secciones transversales del río, la disponibilidad del hábitat y datos de preferencia para varias especies.</li> <li>• La aplicación de estas metodologías requiere un alto grado de especialización en modelación de hábitat por dinámica hidrológica e hidráulica, inspección de campo y conocimiento de las necesidades físicas del hábitat y necesidades de flujo de las especies meta.</li> <li>• Estas metodologías son complejas, intensivas y de elevados recursos.</li> <li>• Las metodologías de simulación del hábitat son aplicadas principalmente en ríos que presentan conflictos relacionados con pesquerías de importancia comercial, alta prioridad de</li> </ul>

	<p>conservación, importancia estratégica, complejos en su manejo y en negociaciones comerciales entre los usuarios de agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Son de aplicación de mediano a largo plazo.</li> <li>• Han sido utilizadas principalmente en los países desarrollados.</li> </ul>
Holísticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinan trabajo de escritorio y de campo.</li> <li>• Identifican eventos importantes o críticos del flujo, en términos de selección de criterios para definir la variabilidad del flujo, para algunos o todos los mayores componentes o atributos del ecosistema riverino (por ejemplo la vegetación riparia, la geomorfología, inundación de humedales).</li> <li>• La mayoría de estos métodos realizan la construcción sistemática de un régimen de flujo, sobre una base mes-por-mes y elemento-por-elemento, donde cada elemento representa un rasgo bien definido del régimen de flujo.</li> <li>• También se hacen análisis basados en escenarios, donde los requerimientos de los flujos ambientales son definidos en términos de los grados de aceptación del régimen según los objetivos biótico y socioeconómicos.</li> <li>• Se requieren gran cantidad de datos de moderada a alta frecuencia y calidad, en múltiples sitios del río (series históricas de flujos, numerosas variables hidráulicas, datos o modelos biofísicos cuantitativos del flujo y hábitats, relacionados con los requerimientos de toda la biota seleccionada y los componentes del ecosistema).</li> <li>• Se requiere un alto grado de especialización en el modelado hidrológico e hidráulico y en la ecología de todos los individuos de la biota y componentes del ecosistema.</li> <li>• Los enfoques más avanzados utilizan varias herramientas de la valuación hidrológica, hidráulica y simulación del hábitat, dentro de un marco de trabajo modular, para el establecimiento de los requerimientos de los flujos ambientales y también podrían incorporar datos sociales (flujos relacionados con los bienes y servicios del ecosistema) y datos económicos.</li> <li>• La mayoría de los métodos holísticos avanzados, son de aplicación de mediano a largo plazo, donde se involucra ríos de alta prioridad para la conservación o de importancia estratégica, complejos en su manejo por la presencia de conflictos por el uso del agua, o en casos de negociación comercial por el uso del recurso hídrico.</li> <li>• Las aproximaciones más simples (por ejemplo las valoraciones de paneles de especialistas, determinaciones intermedias) son apropiadas para casos de perfiles bajos que involucran un comercio limitado.</li> <li>• Han sido aplicados en países desarrollados y en vías de desarrollo.</li> </ul>
Combinación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocidos como híbridos.</li> <li>• Comprenden una serie diversa de métodos básicos para la determinación de caudales ambientales.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseen características de más de uno de los cuatro tipos de métodos básicos (hidrológico, hidráulico, la simulación del hábitat, holístico).</li> <li>• Incluyen parcialmente elementos holísticos pero dentro de un insuficiente desarrollo del marco metodológico.</li> <li>• Los componentes considerados del ecosistema, como los datos, especialización y otros recursos requeridos, son variables según los enfoques y objetivos.</li> <li>• La calidad de los resultados de los requerimientos del flujo ambiental, la flexibilidad, y el nivel apropiado de la aplicación del método, difieren según las técnicas utilizadas.</li> <li>• Han sido aplicados en países desarrollados y países en vías de desarrollo.</li> </ul>
Otras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se refiere a varios otros métodos y técnicas analíticas no diseñados desde su inicio para la evaluación de flujos ambientales, pero adaptados o con el potencial para ser usados para este propósito.</li> <li>• Los componentes considerados del ecosistema, como los datos, especialización y otros recursos requeridos, varían entre las aproximaciones.</li> <li>• El nivel de resolución y flexibilidad de los resultados, así como su potencial para ser usados como requerimientos de los flujos ambientales, son muy dependientes en la naturaleza de los enfoques individuales.</li> <li>• A veces se agrupan con las técnicas de estadística multivariada de los métodos de combinación.</li> <li>• Han sido aplicados en países desarrollados y subdesarrollados.</li> </ul>
Componentes específicos del ecosistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A menudo se ubican dentro de los métodos holísticos,</li> <li>• Son aproximaciones que han divergido de un énfasis en la relación entre el hábitat, biota y el flujo, para explorar otra información que se ajuste mejor a los componentes específicos del río u otros ecosistemas conectados.</li> <li>• Incluyen metodologías para humedales no riverinos, como lagos, estuarios y los ambientes costeros</li> <li>• Comprende métodos de flujo ambiental para ríos y otros componentes de ecosistema de humedales (por ejemplo la calidad de agua, la geomorfología, sedimentología, la vegetación riparia o acuática, los invertebrados acuáticos, peces, vertebrados diferentes a los peces que son dependientes del agua. Además, la dependencia social, recreación, estética e interés cultural).</li> <li>• Los tipos de datos, especialización y otros recursos requeridos varían entre los enfoques, lo mismo que la calidad de los resultados, la flexibilidad, y nivel apropiado de aplicación del método.</li> <li>• Han sido utilizados en países desarrollados y subdesarrollados.</li> </ul>

Recientemente UICN hace su propia agrupación de los métodos para cálculos de los caudales ambientales. En términos generales, los clasifica en cuatro categorías:

1. Cuadros de consulta
2. Análisis por computadora
3. Análisis funcional
4. Modelos de hábitats

Cada uno de estos métodos puede requerir más o menos insumos de parte de expertos y puede referirse a sistemas fluviales completos o a partes de los mismos. En consecuencia, se consideran como características de los diversos métodos, la participación de expertos y el grado en que los métodos incorporan de forma integral todas las partes del sistema. Se han llevado a cabo otras clasificaciones de métodos que incluyen más subdivisiones. La intención en este caso es proponer una clasificación sencilla, de fácil acceso para quienes no son especialistas (UICN 2003).

**Cuadro No. 3. Metodologías según el sistema de clasificación de la UICN.**

Tipo de Metodología	Descripción
<b>Cuadros de consulta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• 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 escasos.</li> <li>• Una vez que se ha desarrollado el procedimiento general, se requieren relativamente pocos recursos para la determinación de caudales mínimos y su aplicación.</li> <li>• Los cuadros de consulta son particularmente útiles para situaciones de escasa controversia.</li> </ul>
<b>Análisis por Computadora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• Cuando es necesario, se recopilan datos en un sitio o sitios particulares en el río, para complementar la información existente.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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 bajos.</li> <li>• 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.</li> <li>• Abordan de manera directa el caudal y los aspectos ecológicos en cuestión.</li> <li>• Existen algunas dificultades en este tipo de análisis:       <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>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.</li> <li>c) Las series temporales de caudales y los índices ecológicos pueden no ser independientes, lo cual puede infringir los supuestos de técnicas estadísticas clásicas.</li> </ol> </li> </ul>
<p><b>Análisis Funcional</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluyen los métodos que desarrollan una comprensión de los vínculos funcionales entre todos los aspectos de la hidrología y ecología del sistema fluvial.</li> <li>• Incorporan de forma importante la participación de expertos.</li> <li>• 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.</li> <li>• Se requiere de la participación de un grupo multidisciplinarios con alto grado de especialización en hidrología, hidrogeología, hidráulica, biología, entomología, botánica, e ictiología.</li> <li>• Estos métodos se han aplicado de manera rutinaria en Australia ( King <i>et al.</i> 2000) y se realizan pruebas en Estados Unidos de Norte América.</li> </ul>
<p><b>Modelos de hábitat</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utilizan datos sobre hábitats de especies objetivo con el fin de determinar necesidades de caudal ambiental.</li> <li>• Relacionan directamente los cambios en el régimen del caudal con la respuesta de las especies y comunidades bióticas.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• 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 necesitan.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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).</li> <li>• Se han desarrollado otros modelos que siguen básicamente el mismo principio del PHABSIM (Parasiewicz &amp; Dunbar 2001).</li> <li>• El método de modelos de hábitat ya ha sido adaptado para su utilización en muchos países, incluyendo Francia (Ginot, 1995), Noruega (Killingtviet &amp; Harby, 1994 y Nueva Zelanda ((Jowett, 1989), en tanto que otros países han desarrollado de manera independiente métodos similares (Jorde, 1996).</li> <li>• 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 represas.</li> <li>• El método ha ido evolucionando desde un análisis de la condición estable de caudales para determinados niveles de hábitat, hacia análisis de series temporales para todo el régimen del caudal en el río. A su vez, las técnicas de análisis han pasado de examinar el simple caudal y las curvas de duración del hábitat a un análisis con mayor detenimiento sobre las disminuciones del hábitat bajo varios escenarios.</li> </ul>
--	--

Bajo una perspectiva de gestión con enfoque ecosistémico, el criterio más coherente es el que liga las exigencias de hábitat que tienen las especies fluviales, con las variaciones de las características de éste en función de los caudales circulantes. Diversos autores han utilizado metodologías basadas en este criterio, entre los que cabe señalar a White (1976), que desarrolló un análisis hidráulico entre los caudales circulantes y el perímetro mojado del cauce, asumiendo una relación creciente entre éste y la capacidad biogénica del río; a Tennant (1976), que analizó cualitativamente el hábitat piscícola en función de la hidrología de la cuenca; Stalnaker (1979) y Bovee (1982), quienes desarrollan el método IFIM (Instream Flows Incremental Methodology) basado en las relaciones cuantitativas entre los caudales circulantes y los parámetros físicos e hidráulicos que determinan el hábitat biológico.

Esta última metodología está siendo utilizada ampliamente en Norteamérica y algunos países europeos, Gore y Nestler (1988) presentaron un análisis crítico de la misma, apuntando las líneas de investigación para su desarrollo y mejora. Souchon (1983) propuso su adaptación a los ríos franceses y Gustard (1987) a los del Reino Unido.

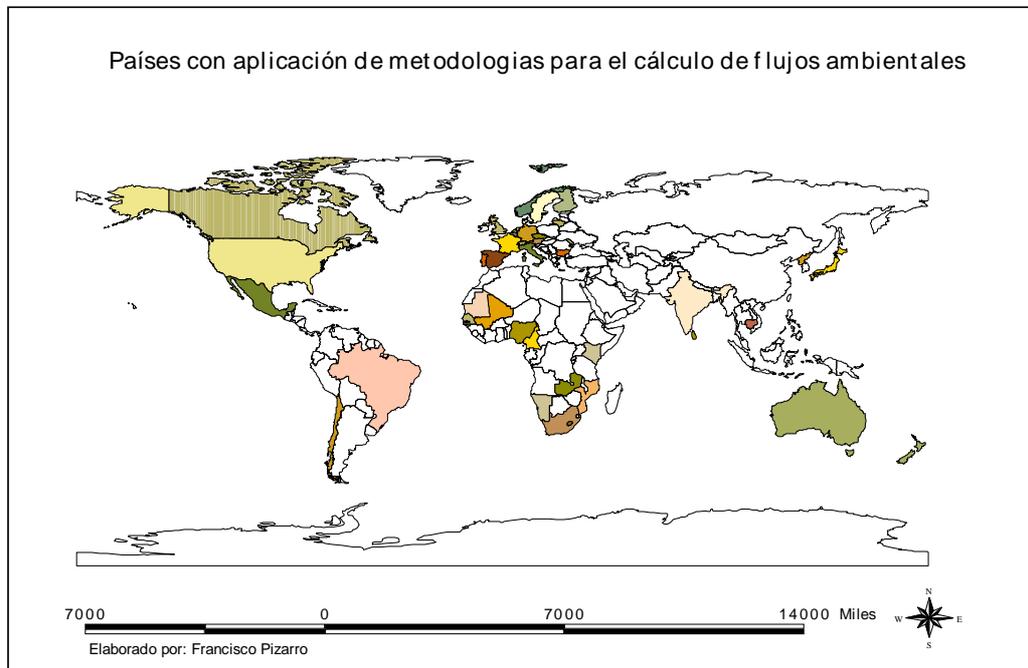
Los Planes Hidrológicos en España brindaron soporte institucional y legal para la fijación de los caudales ecológicos, aunque su definición no se precisaba (Manteiga y Olmeda, 1992), la aplicación del 10% del caudal medio anual como el caudal mínimo era lo que más se utilizaba en ese país a inicios de los años 90 (Palau, 1994). Sin embargo, ya se realizaban para esa época, los primeros intentos de aplicar la metodología IFIM en los ríos españoles (García de Jalón, 1990; Cubillo *et al.* 1990), y se desarrollaban algunas metodologías nuevas (Palau, 1994).

Las metodologías desarrolladas para el cálculo de los caudales ambientales alrededor del mundo, no han brindado satisfacción plena a los investigadores, desarrolladores de proyecto relacionados con el uso del agua, ni a los gestores. Cada sitio presenta características diferentes, hábitats diferentes, especies con requerimientos diferentes, necesidades o situaciones de relación social con el medio

acuático también diferentes, además del mantenimiento de culturas desarrolladas en torno al agua y las relaciones económicas o comerciales. Todas estas situaciones son las principales variables que hacen sentir la necesidad de una nueva metodología, que genere resultados más cercanos al contexto del sitio en estudio. Es así, que en la actualidad existen alrededor de 133 metodologías para la evaluación de los flujos ambientales.

Con el propósito de brindar mayor detalle de cada una de las metodologías desarrolladas para el cálculo de caudales ambientales, en casi tres décadas, se presenta en el anexo No. 1, con base en Tharme (2003), un cuadro resumen de las mismas.

La aplicación de metodologías para el cálculo de flujos ambientales ha sido muy amplia, principalmente en los países que van en la vanguardia en la gestión del recurso, la existencia de tantas metodologías y las herramientas informáticas posibilitan su aplicación en sitios alejados de la realidad del origen de estas metodologías. En América Latina la experiencia en la aplicación de metodologías que consideran criterios biológicos son escasas, Puerto Rico, México, Colombia, Brasil y Guadalupe han utilizado requerimientos de las especies para la determinación de caudales ambientales. En la figura No.1 se muestran los países que han usado al menos una metodología.



**Figura No.1. Países del mundo en los cuales se ha hecho uso de metodologías para la determinación de caudales ambientales.**

Las mediciones de flujos con otros fines diferentes a los del cálculo de caudales ambientales se han realizado desde hace muchos años, principalmente para el desarrollo de obras de infraestructura para la generación de electricidad e irrigación, esta es una de las razones por las cuales en la actualidad se cuenta con registros históricos de caudal que en muchos caso no cuentan con la resolución suficiente para el cálculo de caudales ambientales. Por otra parte, las necesidades en la intensidad del uso del recurso hídrico y las diferentes características de los ríos motivaron al desarrollo de diferentes metodologías con principios hidrológicos.

Cincuenta y siete métodos se han desarrollado y aplicado hasta la actualidad, estos fueron muy utilizados desde los años 70s y aún se siguen aplicando. Al mismo tiempo, estos cuentan con grandes ventajas como su rápida aplicación (si se cuenta con los datos históricos de flujos), se desarrollan como trabajo de escritorio, y se requiere menor tiempo que los otros métodos, en algunos casos 2 ó 4 semanas son

suficientes para obtener los resultados. No obstante, el desarrollo de nuevas metodologías que incorporan aspectos biológicos, hidro-geomorfológicos, ecológicos, modelación, entre otros, han opacado la confiabilidad de los métodos hidrológicos. Estas nuevas metodologías holísticas o integrales que se apoyan en la informática de la modelación, tienen mayor confiabilidad y un enfoque funcional o ecosistémico, también tienen un alto costo de aplicación (algunas \$1X10<sup>6</sup>) y requieren por lo menos de 2 años.

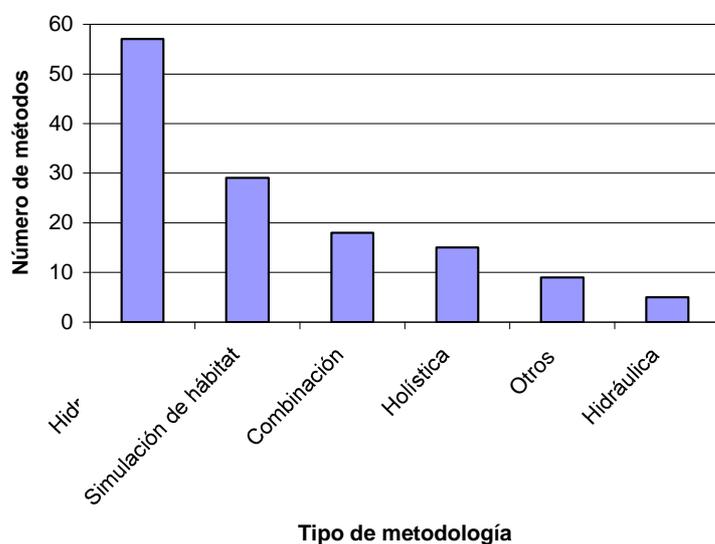
América Latina es uno de los grandes ausente en el diseño de propuestas metodológicas incluso en la aplicación de las que ya existen para el cálculo de los caudales ambientales, Brasil, Chile y México son de los primeros que se han interesado en el establecimiento de caudales ecológicos. Un estudio realizado por Scatena (2004), sobre el uso de los métodos estándares para el cálculo de caudales mínimos en la cuenca del caribe refleja una pobre realidad en este campo, de los 35 países encuestados solo 22 respondieron, el 69% identificó las descargas contaminantes como uno de los conflictos más importantes relacionados con el caudal, el 25% ubica las extracciones de agua como la primera o segunda causa de conflictos. En el 75% de estos países existe algún procedimiento para obtener permiso de uso de aguas superficiales.

Con respecto a la determinación de los requerimientos de caudales, el 69% de los países del Caribe cuenta con métodos establecidos para estimar los flujos en cuencas donde no se han realizado mediciones periódicas y el 87% ha definido los estándares de la calidad de las aguas de los ríos y el 55% indica tener algún método estandarizado para la determinación de los requerimientos del caudal. La medición del flujo mínimo se aplica en una frecuencia de "usual" o "siempre" en el 83% de los países, y solo el 15% incluyen siempre criterios hidráulicos.

Solo dos países (México y Puerto Rico) han usado algunas veces modelos basados en criterios de hábitat (modelo PHABSIM), el cual es ampliamente utilizado en Estado Unidos de Norte América (Reiser *et al.* 1989; Beecher, 1990). Además de

México y Puerto Rico, Colombia y Guadalupe reportan el uso de información sobre los requerimientos de especies de interés para la determinación de los requerimientos del caudal. Aunque existe en el área un reconocimiento de la importancia en la determinación y establecimiento de caudales ambientales, son muy pocas las metodologías y casos de aplicación en los países de la cuenca del Caribe.

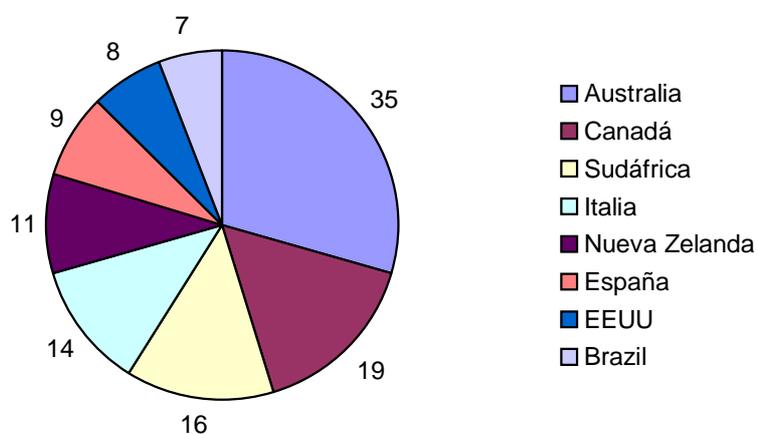
Se ilustra en la Figura No. 2 la cantidad de métodos utilizados en el mundo para el cálculo de los caudales ambientales, se toma como base el Anexo No. 1.



**Figura No. 2: Cantidad de métodos desarrollados según el tipo de metodología.**

Las metodologías menos aplicadas no significan que sean consideradas inadecuadas, existen varios factores que se deben analizar, entre ellos el costo, el tiempo y la disponibilidad de personal calificado. Metodologías que gozan de gran aceptación por sus enfoque holísticos e integrales como “Building Block Methodology” (BBM), “Instream Flow Incremental Methodology” (IFIM) y “Downstream Response to Imposed Flow Transformation” (DRIFT), son muy costosas y pocos proyectos o países las pueden implementar como métodos de rutina para el establecimiento de caudales ambientales, de éstas la más ampliamente utilizada es

el IFIM. Los países no tienen metodologías definidas como procedimientos estándares en la definición de caudales ambientales, aplican la que esté más de acuerdo con sus posibilidades y disponibilidad de información. La Figura No. 3. muestra los países que mayor número de metodologías han aplicado en el cálculo de caudales ambientales.



**Figura 3. Países que han aplicado mayor número de metodologías para el cálculo de caudales ambientales, (fuente Anexo No. 1).**

### **3.1. Descripción de Metodologías para la determinación de Caudales Ambientales**

#### **3.1.1- IFIM – Instream Flow Incremental Methodology** (Metodología Incremental para el cálculo del Caudal )

La metodología IFIM fue desarrollada originalmente para el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (U.S. Fish and Wildlife Service) por un grupo interdisciplinario de científicos e ingenieros, es una herramienta de análisis cuyo objetivo principal es la determinación de una regla de operación para los caudales de un río, cuyo régimen natural es o será afectado por una obra o proyecto de ingeniería civil que considere la utilización del recurso hídrico.

La metodología considera la integración de técnicas que involucran aspectos tan diversos como ingeniería hidráulica y ambiental, biología acuática, ecología, hidrología, así como ciencias sociales. Esta integración de elementos biofísicos y sociales es una de las mejores fortalezas de la metodología IFIM que no siempre está presente en otras técnicas de análisis de caudales ambientales. La propuesta inicial del IFIM ha experimentado varias modificaciones a lo largo de los más de 20 años desde su desarrollo original en 1982. Estas modificaciones obedecen tanto a mejoras en los aspectos técnicos de los distintos componentes del IFIM, como a cambios en los conceptos filosóficos detrás de la metodología.

El IFIM incluye un sistema de simulación de hábitat de tipo modular (PHABSIM), que está compuesto por una librería de modelos de simulación interconectados. Estos modelos permiten describir las características temporales y espaciales del hábitat que resulta de una determinada alternativa de regulación de un río. Esta metodología es de tipo adaptativa, en el sentido que los distintos modelos que la componen pueden ser combinados para adaptarse a distintos escenarios de análisis (Espinosa *et al.* sf)

Las variaciones del caudal, artificialmente modificado, se reflejan en la disponibilidad de hábitat para las especies de interés (especies objetivo) y en las

modificaciones de las relaciones de estas especies con el medio biofísico. La aplicación del IFIM a un problema de manejo de los recursos hídricos en un curso natural permite obtener, para distintos caudales en el río y en un determinado estado de desarrollo, una medida del hábitat utilizable por la especie que se desea conservar. Información de este tipo, es analizada en la cuarta fase de desarrollo de la metodología, donde el grupo multidisciplinario la utiliza para tomar decisiones sobre el régimen del caudal ambiental, en las diferentes secciones del río y durante las épocas del año, que proporciona los requerimientos de hábitat de la o las especies objetivo. De esta manera el IFIM brinda una forma de operación que debe satisfacer una serie de intereses diversos, algunos de ellos opuestos entre sí.

Una de las primeras decisiones que se debe tomar en el proceso de aplicación de la metodología IFIM es la selección de la o las especies objetivo, dentro de un gran número de especies que se distribuyen en diferentes tramos del río, por otra parte, también dependerá de los intereses que tengan diferentes grupos o sectores, como los usuarios directos del recurso hídrico o los que hacen aprovechamiento de especies particulares en el sitio de estudio. Las decisiones deben ser tomadas cuidadosamente, considerando todos los elementos, los cuales muchas veces pueden ser contradictorios, debido a que algunas especies pueden requerir condiciones en el río contrapuestas a aquellas requeridas para la supervivencia de otras. El éxito de la metodología será el establecimiento de un caudal ambiental que cumpla con los requerimientos de las especies del ecosistema, basándose en aquellas seleccionadas como prioritarias por el equipo multidisciplinario.

### **Etapas incluidas en la metodología IFIM**

La metodología IFIM es un proceso que incluye 5 fases interrelacionadas, algunos prefieren establecer 4 fases al unir la cuarta con la quinta.

### ***Fase1- identificación y diagnóstico del problema.***

Consta de dos componentes principales:

- (a) Un análisis legal e institucional para identificar el problema y el contexto más probable para su resolución.
- (b) Un análisis de los intereses de las distintas partes involucradas en un problema y la información necesaria para resolverlo.

### ***Fase 2- Planificación del estudio.***

Incluye una comparación de la información requerida y aquella disponible.

Durante la formulación de un plan de estudio, un equipo multidisciplinario debe estar de acuerdo en los siguientes puntos: objetivos y plazos del estudio, modelos apropiados e información requerida, niveles de detalle espacial y temporal para el análisis, roles y responsabilidades de los distintos actores, y presupuesto para el proyecto. La planificación del estudio debiera incorporar además el análisis del enfoque analítico que será utilizado para evaluar las distintas alternativas.

### ***Fase 3- Implementación del estudio y desarrollo de modelos.***

Incluye la recopilación de los datos necesarios, la calibración de los modelos a utilizar, así como la verificación de los resultados obtenidos de la aplicación de estos modelos. La IFIM distingue entre micro-hábitat, que se desarrolla utilizando el PHABSIM, y macro-hábitat que incluye variables químicas y físicas que determinan la calidad del agua.

Los modelos hidrológicos de escenarios alternativos, incluyendo datos base sobre condiciones naturales o históricas, establecen el grado de afectación o inundación sobre los hábitats. La IFIM cuenta con una estructura que permite especificar el mantenimiento del canal y de la llanura de inundación, aunque ofrece poca orientación en cuanto a métodos específicos. La integración de los modelos utiliza como elemento común el hábitat.

#### ***Fase 4- Análisis de alternativas.***

Se procede a analizar las condiciones hidrológicas que definen un punto de referencia o línea base. Todas las instituciones o partes involucradas en el problema presentan diversas alternativas, las que son comparadas con esta situación de referencia o línea base. Luego de esto se procede a analizar en forma colectiva las distintas alternativas de manejo de los recursos hídricos en términos de su efectividad, así como su factibilidad técnica y económica.

#### ***Fase 5- Resolución del problema.***

La solución del problema se logra a través de negociación y compromiso, basada en el análisis de las distintas alternativas. Grupos multidisciplinarios pueden acercarse a una solución de compromiso a través de un proceso interactivo en el cual se analizan los elementos a favor y en contra de cada alternativa individual. En este sentido la metodología IFIM provee las bases para simplificar esta parte del proceso de análisis en problemas de alta complejidad.

### **Requerimientos para la aplicación de IFIM**

#### ***- Formación del Grupo Técnico***

Los estudios con la metodología IFIM se realizan cuando se está ante grandes proyectos de infraestructura que altere de alguna forma los recursos hídricos y ambientales de un ecosistema fluvial. Este tipo de estudios requieren de muchas variables hidrológicas, biológicas, ecológicas, hidrogeomorfológicas, físicas y sociales, de tal forma que deben ser analizadas solo por un equipo multidisciplinario, el cual puede ser denominado como "Grupo Técnico". Reuniones continuas de organización, operación y seguimiento deben ser establecidas por este equipo, los diferentes puntos de vista y formación profesional de los integrantes pueden generar conflictos durante la ejecución del proyecto, estos deben ser solucionados por diferentes mecanismos, o bien, utilizando las herramientas de negociación incorporadas explícitamente en la metodología IFIM.

### **- La Autoridad Competente**

Esta "Autoridad" es de tipo técnico-política, normalmente encargada del manejo de los recursos hídricos del país, es la encargada de brindar el seguimiento organizativo del proyecto, debe reunir a todos los organismos potencialmente afectados por la ejecución de la obra, además debe incluir otras instituciones o particulares, que tengan interés comprobado en el manejo del agua y de los recursos bióticos. La participación de los representantes de las poblaciones locales también debe tener su espacio en este proceso. El resultado de esta actividad es un listado preliminar de las posibles organizaciones que podrían participar en el estudio IFIM.

Se sugiere que una vez elaborado el listado y se inicie el proceso, no se debiera incluir más instituciones para evitar retrocesos en las discusiones y avances del estudio, sobre todo cuando se está en desacuerdo con decisiones tomadas con anterioridad a su incorporación.

A partir de este momento la autoridad competente establece los mecanismos y reglas de trabajo y se da inicio a las diferentes fases de la metodología IFIM. Primero el análisis institucional y legal (LIAM), este se realiza utilizando la herramienta LIAM incorporada en el IFIM. Una vez procesada la información institucional a través del LIAM se logrará determinar si el estudio es conflictivo o no. Los intereses comunes de las distintas instituciones mostrarán que el estudio es poco conflictivo, ocurre lo contrario cuando hay posiciones opuestas e intereses diferentes, lo cual es usual cuando en el listado de instituciones hay gestores y usuarios del recurso hídrico y fauna asociada de interés comercial.

Los resultados del análisis LIAM son confidenciales y en el caso de conflictos este análisis permite prever los posibles conflictos que puedan surgir durante el estudio y de esta manera definir posibles vías de solución o negociación para resolverlos.

Otra función de la autoridad competente es la coordinación con el grupo técnico y la entidad interesada en la construcción de la obra, permitiendo una mayor agilidad en la logística del proyecto.

Los costos para la implementación de la metodología IFIM deberían ser incorporados en el presupuesto del proyecto, al igual que se hace con los estudios de impacto ambiental. Incluso se debería buscar la compatibilidad de actividades de tal forma que los estudios IFIM, sean parte de los requisitos que los países exigen a los grandes proyectos de infraestructura sobre ecosistemas riparios.

### **3.1.2- BBM- Building Block Methodology** (Metodología de Bloques de construcción)

La necesidad urgente para la planificación del uso del recurso hídrico es urgente en todo el mundo al igual que las medidas de mitigación de las perturbaciones pasadas, esta realidad ha hecho posible el desarrollo y evolución de valoraciones rápidas, a través de la Metodología conocida como bloques de construcción (BBM). BBM, se refiere a un proceso multi-disciplinario, que utiliza datos disponibles y de buena calidad sobre la hidrología, geomorfología y ecología del sistema ripario en estudio.

Fue desarrollada en Sudáfrica y Australia (Arthington *et al*, 1992, Tharme y King, 1998), se trata de métodos más holísticos, en los que no se considera sólo las necesidades de una especie o unas pocas especies, ni del comportamiento hidrológico del río sino que se consideran un grupo más amplio de aspectos que contemplan componentes del biotopo y de la biocenosis del ecosistema completo. A inicios de la década de los 90s era la más completa metodología que se había establecido hasta ese momento; se ha aplicado en más de 15 ríos en Australia y Sudáfrica. En España (río Tajo) se busca la aplicación de un método que se acerque a éste debido al alto costo del BBM (Baeza y García, sf).

La metodología BBM ha contribuido de forma substancial en el campo de la evaluación de caudales ambientales, principalmente por marcar la pauta en una

nueva dirección, es una metodología holística que se dirige hacia la salud (la estructura y funcionamiento) de todos los componentes del ecosistema riverino, en vez de enfocarse en las especies seleccionadas como hacen muchas de las metodologías similares en el ámbito internacional. Este tipo de aproximación ha sido un catalizador en el crecimiento excepcional de la comunicación entre muchas disciplinas científicas en Sudáfrica y Australia, también entre científicos y gerentes de agua.

La BBM es esencialmente una aproximación prescriptiva, diseñado para construir un régimen de flujo que se desea mantener en el río. La metodología contó desde sus inicios con un manual formal que describe los aspectos básicos y las actividades principales, y proporciona una guía para su aplicación. La BBM ha proporcionado las bases para la evolución o desarrollo de varias alternativas metodológicas holísticas, para determinación de caudales ambientales, notoriamente en la metodología DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformations). La metodología DRIFT es una aproximación interactiva basada en escenarios, con un fuerte componente socioeconómico, está diseñada para el uso en las negociaciones.

El nombre de esta metodología se origina porque el régimen del caudal se divide en bloques, se inicia por el más bajo (Baseflow), y sucesivamente el análisis se va dividiendo en varios componentes hasta llegar a las características de los caudales de avenida. Se requiere de un grupo multidisciplinario, compuesto por especialistas en biología, ingeniería hidráulica, quienes presentan avances en jornadas o seminarios conjuntos, donde se ponen en común las ideas que se han obtenido por cada técnico hasta el momento.

La metodología tiene una secuencia lógica de aplicación donde se pueden definir tres grandes grupos de actividades:

**- Planificación de las jornadas y diagnóstico**

En este periodo se presenta ante los expertos la situación de interés, se asigna tareas para que cada investigador recopile toda la información disponible sobre la zona en estudio y se obtenga un diagnóstico de la problemática que hay en el río, también se analizan las posibles alteraciones en el ecosistema fluvial si la obra de infraestructura se desarrolla.

Todas las herramientas posibles pueden ser utilizadas, tales como análisis de fotografías aéreas, imágenes satelitales, vuelos en época de estiaje. En esta fase se seleccionan y delimitan los tramos del río donde se van a ubicar las parcelas experimentales.

Después se realizan todos los estudios necesarios, por tramos o secciones representativas, que incluyen un análisis hidráulico de las secciones, características geomorfológicas, química del agua, parámetros hidrológicos relevantes, aspectos sociales de necesidades hídricas y estudios de fauna y vegetación.

**- Jornadas de acuerdos.** En esta segunda parte, los grupos de especialistas presentan sus conclusiones para cada uno de los tramos del río o secciones estudiadas. Cada grupo se diseña el régimen de caudal que a su juicio no deteriora los aspectos que ellos han estudiado. El análisis se inicia por el bloque de los caudales bajos o mínimos y así sucesivamente hasta los más altos, se define la magnitud y frecuencia del caudal. Finalmente los datos son analizados en cada sección por el especialista en hidráulica para ver que implican esos caudales en términos de profundidad, perímetro mojado, velocidad o área inundada. Con base en los resultados del análisis hidráulico los especialistas hacen sus correcciones, se rediseña el régimen mes a mes y se compara con el hidrograma natural y el actual, de tal forma que permita observar y definir el régimen ambiental que puede establecerse en función de los estudios.

- **Toma de decisiones.** La recomendación técnica sobre el régimen ecológico final, debe ser sometida a análisis de viabilidad de acuerdo con la política y legislación en la gestión del recurso hídrico, para comprobar que no se entra en conflictos con los otros usuarios del río. En caso de conflicto se rediseña el régimen y se consulta a los expertos hasta llegar a un acuerdo donde el régimen final establecido cumpla con los requerimientos de los usuarios y la integridad del ecosistema.

### **3.1.3- DRIFT- Downstream Response to Imposed Flow Transformation** (*Respuesta río abajo por la transformación impuesta al caudal*)

Es una metodología holística, fue desarrollada en Sudáfrica para situaciones complejas y grandes proyectos. Comprende todos aquellos aspectos que interaccionan en los sistemas fluviales, brinda un enfoque integral de las alteraciones que pueden ocurrir río abajo en diferentes escenarios de regímenes de caudal, de tal forma que los tomadores de decisiones podrán decidir la mejor opción conociendo las respuestas del ecosistema, bajo diferentes alternativas de manejo del caudal.

Esta metodología incluye elementos biológicos, hidrológicos, hidráulicos, sociales y económicos, que le brindan gran potencial para su aplicación, en sistemas fluviales donde el desarrollo de obras de infraestructura repercuten en los medios de subsistencia de las poblaciones locales. Un elemento innovador de esta metodología es el componente socioeconómico y la versatilidad de poder incluir o no módulos de acuerdo con la realidad del sitio en estudio. El costo elevado (\$1 millón o más) para la aplicación de esta metodología puede tomarse como una desventaja para los países en vías de desarrollo.

Es una herramienta de negociación de conflictos que se puede fortalecer con evaluaciones macroeconómicas (nivel regional o nacional) y procesos participativos a través de metodologías imparciales como puede ser el marco lógico.

La metodología DRIFT comprende cuatro módulos, el biofísico, socioeconómico, desarrollo de escenarios y el económico (se refiere a aspectos de costos).

### ***Módulo 1 - Biofísico***

Se incluyen todos los aspectos que están relacionados con las variaciones del caudal, dependiendo de los objetivos, alcance del proyecto y presupuesto.

Información científica sobre hidrología, geomorfología, calidad de agua, hidráulica, vegetación riparia, peces, invertebrados, microbiota, y en general fauna agua-dependiente.

Todos los resultados de los estudios se relacionan con el caudal, esto es elemental para realizar las predicciones en los cambios del ecosistema bajo diferentes escenarios de regímenes de caudales.

### ***Módulo 2: Socioeconómico.***

Todos los elementos del sistema fluvial que cumplen una función socioeconómica es estudian. Se identifican los recursos, los usuarios y el nivel de salud de las personas y de los recursos de los cuales dependen, siempre se debe hacer la relación con el río. Se incluye en este análisis el costo de los recursos que utilizan.

Como en la fase anterior, todos los resultados se relacionan con el caudal, para realizar las predicciones sobre el grado y tipo de afectación a la que son expuestas las personas, en diferentes escenarios de cambios en el caudal del río.

### ***Módulo 3- Desarrollo de escenarios.***

Esta es una fase muy importante para la toma de decisiones, se deben crear los diferentes escenarios de acuerdo con las demandas del uso del agua y los requerimientos ambientales. Cada escenario representa un nivel diferente de caudal y las alteraciones o impactos que este produciría en la biodiversidad, hábitats y medios de subsistencias de las personas. La clave de este análisis está en el tipo y calidad de datos de los dos módulos anteriores.

### ***Módulo 4- Económico-(Financiero)***

Cada uno de los escenarios produce cambios en el ecosistema y en los medios de subsistencia de las personas, éstos deben ser evaluados desde el punto de vista financiero, se realiza un análisis de los costos de cada uno de los escenarios, o una

valoración económica si se desea profundizar en este aspecto. Los resultados permiten establecer las medidas de compensación para el medio ambiente y las personas afectadas.

#### **4- Arreglos legales e institucionales**

Actualmente se requiere de un marco jurídico global para la protección específica de caudales ambientales que garanticen la integridad de los ecosistemas. No existe ninguna convención global o instrumentos legales "blandos" que traten de forma particular los caudales ambientales. Sin embargo, hay muchos ejemplos de instrumentos internacionales que tratan otros temas ambientales donde se incluye de alguna forma los flujos ambientales.

El término caudal ambiental es parte de un concepto más amplio de la aproximación ecosistémica del recurso agua, de tal forma, que los instrumentos internacionales pertinentes no sólo se enfocan en el recurso agua directamente, sino de todos aquellos recursos naturales o de los ecosistemas, por ejemplo las convenciones de Biodiversidad y Ramsar (IUCN-ELP, 2004, pw).

Los llamados Instrumentos legales "blandos" como la Agenda 21 y los acuerdos para la implementación de algunos planes de la Comisión Mundial de Represas, tratan los flujos ambientales.

No existe ninguna convención regional que trate específicamente de los flujos ambientales. Sin embargo, hay tratados, como el acuerdo del Río Mekong, el cual establece el marco de trabajo y de cooperación, entre los estados riparios, en todos los tópicos del desarrollo sostenible de la cuenca, especialmente donde se requiere de un flujo ambiental mínimo para la protección de los ecosistemas. Los acuerdos sub-nacionales, tales como la iniciativa de la cuenca del "Murray Darling" en Australia, ha hecho previsiones para la determinación de flujos ambientales dentro del marco del acuerdo que creó la iniciativa.

El panorama es diferente cuando nos referimos al marco jurídico que da protección a los caudales ambientales en el ámbito nacional, existen varios ejemplos de legislación nacional y sub-nacional. Algunos tratan el tema directamente y otros lo hacen de forma indirecta. Los ejemplos de legislación sobre este tema establecen requisitos para flujos mínimos, declaraciones de paisajes riverinos, requisitos estatutarios que establecen en los planes de manejo requerimientos de flujos ambientales o requisitos de creación de flujos de reserva. Los más recientes y mejores ejemplos de buena legislación sobre caudales ambientales son de Australia y Sudáfrica.

Muchas veces la necesidad de la determinación de los caudales ambientales es de carácter local que no llegan a ser problemas públicos que sustenten la elaboración de algún tipo de legislación. Los países deben demostrar voluntad política y conciencia ambiental para la aprobación de leyes que permitan un control efectivo de la contaminación del agua y la asignación de suficiente agua para mantener la integridad de los ecosistemas riparios. Actualmente es posible elaborar guías y principios claves, aprovechando el trabajo que se ha llevado a cabo a nivel internacional y tomando en cuenta los casos de estudio exitosos y no exitosos, que puedan guiar el desarrollo de políticas, así como los marcos institucionales y jurídicos (IUCN-ELP, 2004, pw).

En Texas, Estados Unidos de Norte América, en términos generales los caudales ambientales no eran protegidos por las leyes y regulaciones, incluso algunos ríos y arroyos continúan fluyendo porque las personas que tienen permisos de uso del recurso hídrico no extraen toda el agua a la que tienen derecho, o sea se dieron concesiones por encima de la capacidad de los ríos, la situación de esos ríos podría cambiar si la demanda por el agua aumenta. Hasta 1985, los permisos fueron otorgados sin ninguna consideración para la protección de los flujos ambientales, ese año la ley cambió y la Comisión para la Conservación de los Recursos Naturales de Texas (TNRCC) considera ahora, caso por caso, los impactos sobre los flujos

ambientales cuando se trata de nuevos permisos y para algunos tipos de enmiendas a los permisos ya otorgados (NWF, sf).

En América Latina y el Caribe hay un consenso regional sobre la importancia en el cumplimiento de las leyes y regulaciones ambientales y específicamente para la protección de los recursos hídricos, no obstante, los países carecen de un marco legal y de la capacidad institucional para el manejo del recurso; la demanda para consumo humano e irrigación son las actividades que cuentan con mayor regulación.

En la gestión del agua es bastante común a todos los países latinoamericanos, la insuficiencia de legislación adecuada, fragmentación y traslapes de competencias entre las instituciones de gobierno, que tienen algún grado de responsabilidad en el manejo del agua, hay limitada coordinación, falta de liderazgo, poca planificación y gestión insuficiente del agua. Además, falta de participación comunitaria en la gestión del recurso, insuficiente compromiso político y público y escasa capacidad institucional para hacer frente a la demanda creciente del agua y de la gestión (CATHALAC, 2004)

Uno de los problemas inmediatos en el manejo del agua es la grave contaminación de los ríos y la pérdida de la biodiversidad, al respecto se cuenta con una amplia legislación pero los mecanismos de control son ineficientes. No se podría hablar de caudales ambientales si el agua no cumple al menos con los estándares internacionales de calidad.

En Latinoamérica aún hay países que no cuentan con una ley específica de agua que regule el recurso hídrico, por ejemplo Guatemala, en estos casos existe una fragmentación en la gestión del agua la cual se realiza de forma sectorial (agricultura, municipalidades, electrificación), en otros casos la legislación es demasiado vieja, ejemplo Costa Rica, en este país la Ley de Aguas data de 1942 (GWP-Centroamérica, 2004, pw)

En el marco de la ALIDES, los países de la región centroamericana, a través del compromiso 39 sobre el agua, asumen "*priorizar la formulación de políticas y*

*legislación sobre manejo y conservación de los recursos hídricos que incluyan, entre otras cosas, el ordenamiento jurídico e institucional, mecanismos de coordinación entre las distintas autoridades encargadas del manejo y administración del recurso, tanto para consumo humano, como para riego y generación de electricidad; instruyendo a nuestras autoridades correspondientes la implementación de este compromiso”.*

Puede notarse que este compromiso no incluye de forma explícita los aspectos ambientales del agua, no sucede lo mismo con la Carta Centroamericana del Agua, emitida por el Parlamento Centroamericano y redactada como resolución del Taller sobre la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos del Istmo Centroamericano en 1994, donde se recomienda *“utilizar los recursos hídricos en forma eficiente, lógica, múltiple, secuencial, justa, equitativa y coordinada, garantizando a su vez un proceso gradual que asegure la conservación, preservación y acrecentamiento de su calidad”*. En este caso se establece uno de los principios de los flujos ambientales, el cual es la conservación y calidad del recurso hídrico.

La actual voluntad política de los gobiernos para realizar la actualización de las leyes sobre agua o la creación de un marco jurídico que centralice la gestión del recurso hídrico, es la oportunidad que existe para la incorporación de los aspectos relacionados con el manejo de los caudales ecológicos, uno de los primeros ejemplos en este sentido es México y más recientemente Costa Rica con la nueva propuesta de ley de aguas, donde se incorpora de forma explícita los caudales ambientales.

La incorporación del tema sobre caudales ambientales en las nuevas “corrientes” legislativas es en gran medida responsabilidad de los especialistas en el tema, los políticos y gestores del agua están más preocupados por el abastecimiento humano, la irrigación, la contaminación y las competencias. Son estos temas los mejor representados en los proyectos de ley. La demanda ambiental de los ecosistemas fluviales es vista en muchos casos como un obstáculo para el desarrollo de actividades productivas de alta demanda de agua como la acuicultura, energía

eléctrica e irrigación. Leyes elaboradas en procesos cerrados donde los ciudadanos no tienen participación pueden adolecer de aspectos relevantes en la gestión integral del agua, la participación de todos los sectores en procesos de consulta o revisión de propuestas de leyes de agua fortalecen el contenido de la misma, y permite una aceptación por parte de la comunidad nacional, si sus intereses se ven representado de alguna forma en la ley final que se apruebe.

La Red Interamericana de Recursos Hídricos (RIRH), establecida en 1994, constituye un importante programa regional que conjuga la labor de entidades gubernamentales, no gubernamentales, académicas e internacionales con grupos de investigación, empresas y el sector privado, para transmitir e intercambiar información y experiencias vinculadas con los recursos hídricos, bajo este marco de trabajo, Jamaica ha aprobado normas legales de fortalecimiento del manejo de los recursos hídricos. Así desde 1997, un sistema de permisos y otorgamiento de licencias ambientales permite controlar y reducir al mínimo las consecuencias negativas del desarrollo sobre el medio ambiente mediante un proceso eficaz basado en auditorias ambientales y evaluación de impactos desfavorables (RIRH, 2004, pág. web)

## **5- Estudios de caso.**

### **5.1. Presa sobre el Río Jarama.**

Basado en: J. A. Fernández Yuste, C. Martínez Santa-María, F. Martínez Capel. Régimen ambiental de caudales en el tramo inmediato aguas abajo del embalse de “el vado” (Guadalajara). España

*Este caso representa muchos de los trabajos que se realizan de forma aislada y no responden a la petición de los gestores del recurso hídrico, su aporte es la sugerencia del establecimiento de un régimen de caudal ambiental, por parte de investigadores. Utiliza una metodología de bajo costo y es valioso por tratarse de una represa.*

El estudio se llevó a cabo en el Río Jarama, aguas abajo de la presa El Vado (Guadalajara-España), en éste se estimó el Régimen Ambiental de Caudales (RAC) La metodología propuesta está enmarcada en una visión holística del ecosistema fluvial, donde partiendo de un conocimiento de sus componentes, se diseña un RAC

que mantenga una estructura y rangos análogos al régimen natural de caudales. Para su validación se realiza un análisis de las condiciones de habitabilidad de la ictiofauna con el RAC propuesto.

La construcción de la presa El Vado forma parte del sistema de abastecimiento de agua para la ciudad de Madrid. El estudio se realizó en el tramo más crítico río abajo de la represa, comprende una longitud de 1.0 km (desde la presa hasta el primer aporte en el arroyo la Virgen).

### **Metodología**

Se utilizó una metodología holística vista como una filosofía de un modo de entender el problema, esto significa que no hubo una secuencia rígida y estandarizada de procedimientos, y se basó en los siguientes pilares:

\* El río es un ecosistema con integridad funcional, en el que la biota acuática, la de ribera, la morfología y el régimen hidro-sedimentológico forman un todo, dinámico e interrelacionado y con una fuerte sinergia entre sus componentes.

\* Los elementos y procesos que definen y regulan el ecosistema fluvial están estrechamente vinculados con el régimen natural de caudales, tanto en sus aspectos cuantitativos como en su variabilidad.

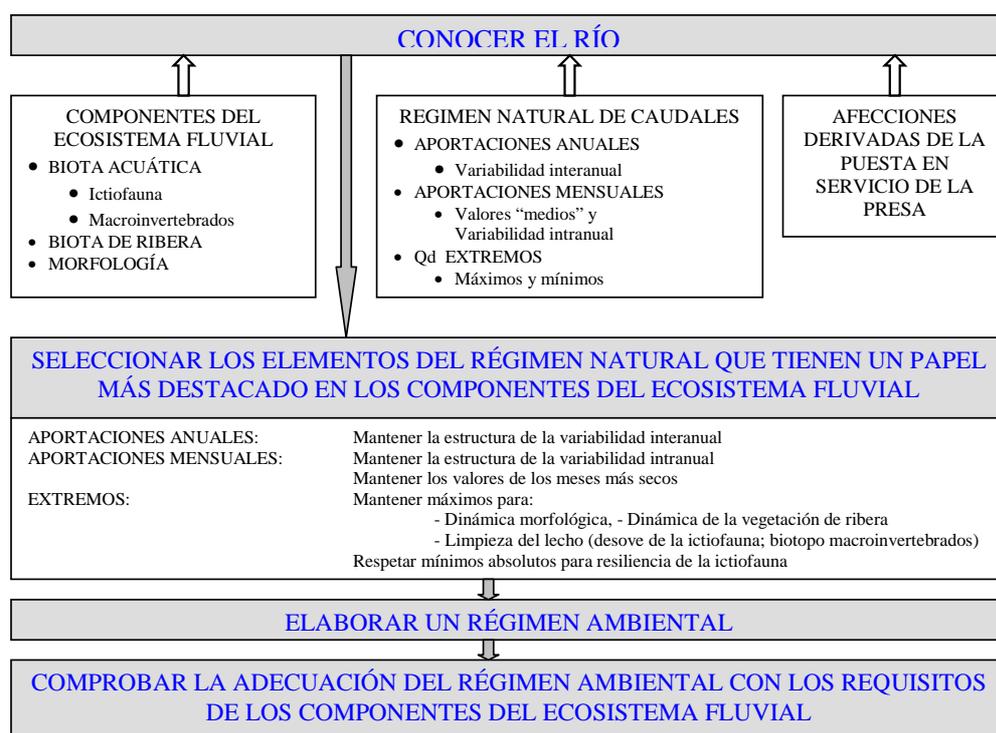
\* El régimen natural de caudales debe utilizarse como “guía”, siguiendo el principio de “diseñar con la naturaleza”, proponer un RAC con una estructura y unos rangos derivados del régimen natural.

Se hizo un análisis de los componentes del ecosistema fluvial, se caracterizaron y se establecieron las posibles alteraciones debido a la puesta en operación de la presa. Estos componentes incluyeron, morfología, biota acuática (macro-invertebrados y peces), biota de ribera, calidad del agua, usos, régimen natural de caudales

Se caracterizó el **régimen natural de caudales**, partiendo de la información disponible en régimen natural –desde 1943-44 hasta 1958-59 con registros reales y desde 1959-60 hasta 1985-86 con registros restituidos-. Se caracterizó el régimen natural de caudales en El Vado mediante el análisis de la variabilidad interanual de

aportaciones y el comportamiento de los valores extremos anuales –máximos y mínimos- de los caudales medios diarios y se fijaron los umbrales que los caracterizan.

El esquema metodológico utilizado se muestra en la Figura No. 4.



**Figura No. 4. Esquema metodológico**

Con la información recolectada se estimó el régimen ambiental de caudales (RAC), a través de la caracterización del régimen natural y la simulación hidráulica sobre las secciones representativas de las características del tramo, con ello se evalúa las condiciones de habitabilidad para cada una de las especies piscícolas autóctonas más importantes del tramo (boga, cacho, trucha común y barbo), correspondientes a los caudales medios diarios de cada mes del RAC.

Se calcularon los caudales de mantenimiento de avenidas, los mínimos anuales y se analizó las condiciones de habitabilidad de la ictiofauna a diferentes variaciones de caudales, se calculó la velocidad de la corriente y profundidad para establecer bajo los principios del IFIM, las curvas de preferencia de las principales especies. La transitabilidad de los rápidos es garantizada (15 cm de calado) para los caudales superiores de  $0,27 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal correspondiente al mínimo del año “medio” del RAC).

### **Aplicación del RAC.**

A continuación se presenta un ensayo de aplicación del RAC propuesto en este trabajo. Antes de abordarlo conviene señalar que el objetivo de esta aplicación no es presentar el resultado de una explotación real del embalse de “El Vado” considerando la demanda ambiental, y no es ese el objetivo porque para poder alcanzarlo sería necesario contemplar las normas de explotación del embalse, normas que, dada la integración de este embalse en el sistema de abastecimiento de agua a Madrid, se establecen en un escenario mucho más amplio y complejo que el definido por las características del embalse y su régimen de aportaciones. Sólo la entidad gestora, el Canal de Isabel II, podría llevar a cabo esa aplicación basada en los criterios establecidos dentro de sus complejos protocolos de gestión. Siendo conscientes de esa limitación, el ensayo que a continuación se presenta trata únicamente de mostrar, como el RAC puede responder a escala mensual y de manera dinámica, a las fluctuaciones naturales de las aportaciones que recibe el cauce.

Para realizar este ensayo se han tomado los datos facilitados por el Canal de Isabel II, aportaciones naturales mensuales y vertidos al río también mensuales, correspondientes al período 1970/71 – 2000/01. Este período contiene una buena representación de todos los “tipos” de años. El ensayo se ha articulado en dos pasos:

- \* Asignación mensual del caudal ambiental
- \* Evaluación del déficit ambiental

### ***El estudio llegó a las siguientes conclusiones***

Se ha establecido un RAC para el embalse de El Vado con el objetivo de mantener en unos niveles adecuados los elementos más significativos de la composición, estructura, y dinámica del ecosistema fluvial del Río Jarama en el tramo comprendido entre la presa de El Vado y el arroyo de Retiendas. Para conseguir este objetivo, y una vez estudiada la morfología y la biota acuática y de ribera del tramo:

- 1) Se han identificado y cuantificado los elementos del régimen natural de caudales (variabilidad interanual e intranual; régimen, magnitud, estacionalidad y frecuencia de máximos y mínimos) que tienen más importancia en el mantenimiento de los componentes del ecosistema fluvial
- 2) A partir de ellos, se ha establecido un RAC que, respetando la temporalidad y frecuencia del régimen natural, asigna unas magnitudes suficientes para el mantenimiento del ecosistema fluvial.
- 3) Se ha comprobado la adecuación del RAC para el hábitat de la ictiofauna autóctona en sus distintas etapas de desarrollo.
- 4) Se ha desarrollado un ensayo de aplicación contando con las series de aportaciones en régimen natural correspondientes al período 1970/71 – 2000/01.

Este ensayo permitió:

1. Mostrar la capacidad de la metodología propuesta para adaptarse a las características de cada año hidrológico, puesto que el RAC se evalúa mes a mes, a partir de las aportaciones mensuales acumuladas.
2. Cifrar en 17,3 hm<sup>3</sup> el déficit ambiental (demanda ambiental - vertidos al río) característico para el período 1970/71 – 2000/01. Conviene señalar que esta cifra se ha obtenido superponiendo sobre una serie histórica una demanda ambiental que, lógicamente, no estaba considerada en la explotación del embalse, y por tanto ese déficit puede considerarse como un máximo, que sin duda podrá atenuarse si el régimen ambiental propuesto en este trabajo es contemplado dentro de las normas de explotación del embalse.

Para establecer con más precisión hasta que punto es posible atender el régimen ambiental propuesto sería necesario, considerando la infraestructura, demanda, gestión y limitaciones actuales, hacer una simulación de la operación del embalse,

pero esta posibilidad está fuera del alcance del equipo que redacta este trabajo, ya que sólo la entidad gestora del embalse, el Canal de Isabel II, podría llevar a cabo esa aplicación basada en los criterios establecidos dentro de sus complejos protocolos de gestión.

### ***Consideraciones***

Algunas consideraciones importantes de los resultados obtenidos están relacionadas con la aplicabilidad o utilidad que estos puedan tener ante los encargados de la gestión de la represa. Por lo tanto será útil si:

- \* Se evalúa hasta qué punto es posible, con la infraestructura, demanda, gestión y limitaciones actuales, atender la demanda ambiental propuesta.
- \* Se somete a la consideración de todos los agentes que con distintos grados de responsabilidad están vinculados al Río Jarama, tanto en sus aspectos ambientales como en los de gestión de los recursos hídricos. El análisis crítico de este trabajo permitirá completar lagunas, y la discusión sobre objetivos y limitaciones acercar posiciones y conciliar ajustes que acomoden las demandas sociales y ambientales dentro del marco jurídico y administrativo.
- \* Se establece un programa de seguimiento que permita evaluar, con un horizonte amplio, los efectos de la aplicación del RAC y modificarlo en función de los resultados que se obtenga. Este programa debería incluir, además, un estudio detallado del mesohábitat, con especial atención a las características de las pozas y de los frezaderos, así como una evaluación de las poblaciones piscícolas y de macroinvertebrados y de su evolución con la implantación del RAC, incorporando recomendaciones de mejora del hábitat y de gestión ambiental del río.
- \* Se asume por todas las partes implicadas en la formulación y aplicación de un RAC, que por encima de los intereses legítimos y las obligaciones de las distintas administraciones y sociedades para con el río, está la realidad indiscutible de la unicidad del ecosistema fluvial, que obliga a una actuación conjunta, equilibrada y consensuada.

## **5.2- Río Senqu ( Lesotho).** (Fuente, Banco Mundial, 2003b)

Es uno de los proyectos del manejo del recurso agua más grande del mundo, se ubica en la parte alta de Lesotho, sobre el Río Senqu, inicialmente comprendía 6 represas y un dique en las cabeceras del río. El proyecto se ha planeado para ser desarrollado en 5 fases, comenzando por la represa Katse (fase 1) la cual generó preocupaciones sociales y ambientales que llevaron (durante fase 1B) a una valoración de flujo ambiental para toda la fase 1. La valoración produjo los escenarios de cómo los caudales ríos abajo se afectarían por las varias opciones de descarga del dique, así como los costos de mitigación y compensación para los grupos humanos que ven afectados río abajo, sus medios de subsistencia.

El sistema del Río Senqu surge en las regiones montañosas orientales de Lesotho y cambia a Río Orange cuando fluye en territorio de Sudáfrica. En Lesotho las regiones altas son montañosas y se caracterizaron por precipitaciones anuales que van de 700 a 1,500 mm. Hasta los años 90s estos ríos tenían un flujo natural, principalmente porque las partes altas de las montañas eran remotas y escasamente habitadas por comunidades rurales y los ríos fluyen a través de gargantas profundas que proporcionan poca oportunidad para el desarrollo urbano o agrícola.

El agua del Río Senqu fue considerada una fuente potencial de ingreso para Lesotho, principalmente por la cercanía con la región Vaal de Sudáfrica, esta región es el corazón industrial de ese país y vital para la economía nacional. Sin embargo, carece de suficiente recurso hídrico. El crecimiento Urbano y el desarrollo industrial de Vaal y la baja precipitación hacen que exista un déficit de agua. La solución a este problema fue un megaproyecto para transportar el agua desde Lesotho.

Los estudios de factibilidad iniciaron en los años de 1950, y en 1986 se formó un tratado entre Sudáfrica y Lesotho. El proyecto comprendía 5 fases, aunque los países solo se comprometieron a desarrollar la fase 1. Aunque se inició en la época

del apartheid los actuales gobiernos le dan el apoyo al proyecto y Namibia, país por donde fluye el Río Orange hasta llegar al mar, no se opone al proyecto.

### ***Beneficios y Costos***

Ambos países reciben beneficios, Sudáfrica porque se asegura agua suficiente y de buena calidad y Lesotho adquiere ingresos desde la fase 1, una cantidad de alrededor del 14% de los ingresos actuales del gobierno, por un periodo de 50 años. Los costos del desarrollo del proyecto son prácticamente solo para el gobierno de Sudáfrica. El proyecto creó fuentes de trabajo directos e indirectos y muchas otras oportunidades de desarrollo de empleos. Otro beneficio para Lesotho es la generación de electricidad usando la transferencia de agua en el sitio conocido como Muela.

### ***Manejo del Proyecto***

El proyecto creó una comisión binacional responsable de la aprobación técnica de las acciones de ambos gobiernos, supervisa y asesora. Su principal responsabilidad es velar por el cumplimiento del plan de trabajo, vigilar por los procedimientos y documentos, las previsiones de flujo de dinero en efectivo, la asignación de costos y los arreglos de financiación. Un órgano para-estatal en cada país da seguimiento al proyecto e identificó los actores clave para guiar la evaluación de los flujos ambientales.

### ***Conflictos existentes y potenciales con el agua.***

Existen dos conflictos potenciales, uno es la población en riesgo que comprende 39,000 usuarios de subsistencia que viven río abajo desde el sitio de represa, y segundo el deterioro de la belleza escénica y el potencial ecoturístico que presentaba el río.

El tratado firmado en 1986 por la Autoridad de Desarrollo de Lesotho, estipuló un flujo de compensación de  $0.5\text{m}^3/\text{s}$  liberado de la represa Katse y  $0.3\text{m}^3/\text{s}$  de la represa Mohale, representando aproximadamente entre un 3 y 5% del flujo total

anual del río en ese punto, los cuales podrían no ser suficientes para mantener las condiciones históricas río abajo.

### ***Opciones futuras***

El tratado tiene una previsión para que se lleve a cabo una renegociación después de 12 años de la firma (1986), los términos de la renegociación duraron un poco más debido a la espera de los resultados de la evaluación del caudal ecológico y de los requerimientos de los flujos ambientales, los cuales serían usados para establecer la cantidad de agua que debe ser liberada de las represas Katse, Mohale y Matsoku. El nuevo tratado podría ayudar a definir la construcción de nuevas represas y las medidas de mitigación y compensación para los impactos en los ecosistemas y en las poblaciones humanas. Este tratado podría estar regido por las predicciones de potenciales impactos ecológicos y sociales de las represas, con un balance entre el desarrollo del recurso agua y la salud de los ecosistemas.

### ***Metodología para el cálculo de los caudales ambientales.***

Las fases 1 y 2 del proyecto, se iniciaron en 1997 y finalizaron en el 2000. Los estudios fueron comisionados por la Autoridad de Desarrollo de Lesotho. Se colectó información durante un año y un equipo internacional de 27 especialistas, colaboraron para predecir los cambios en las condiciones del río y en los medios de subsistencia de los usuarios río abajo, considerando la forma de operación de cada una de las represas.

Con los cambios en el uso del agua y la demanda en Sudáfrica, en el 2001, se determinó que la fase 2 podría no llevarse a cabo, y con base en esta nueva situación se preparó un reporte sobre flujos ambientales que comprendió únicamente la fase 1.

La metodología empleada fue la DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformations). En el módulo 1 se describió los cambios en el río a diferentes caudales, el módulo 2 describe la población, medios de subsistencia y los riegos a diferentes flujos en el río. En el módulo 3 se desarrollaron 4 escenarios de interés para la Autoridad de Desarrollo de Lesotho, así para cada diferente caudal del río se

predijo los cambios en el ecosistema fluvial y los riegos sociales. El módulo 4, establece las medidas de mitigación y de compensación.

### ***Manejo de las Implicaciones***

Se establecieron las implicaciones para cada uno de los escenarios con el propósito de brindar herramientas para la toma de decisiones por parte de la Autoridad de desarrollo. Definitivamente existe una relación directa entre la cantidad de agua que se extrae y los impactos ambientales y riegos sociales, la información con cada uno de los escenarios está disponible y las decisiones se toman con base en el nivel de riesgo que asume el país con respecto a sus recursos e implicaciones sociales.

Como resultado de esta investigación el diseño de la presa Mohale fue cambiado para mejorar los requerimientos de los flujos ambientales y para permitir la liberación de flujos de inundación cuando se requiera. La liberación de flujos de la presa Matsoko se incremento de  $0.05\text{m}^3/\text{s}$  a  $0.6\text{ m}^3/\text{s}$ , distribuido de tal forma que simule los cambios estacionales.

La recomendación final sobre los requerimientos de los caudales ambientales fue incrementar la liberación de  $0.5\text{ m}^3/\text{s}$  a  $2.12\text{ m}^3/\text{s}$  en la represa Katse y también incrementar la liberación de agua de la represa Mahole de  $0.3\text{ m}^3/\text{s}$  a  $1.01\text{ m}^3/\text{s}$ , en ambos casos liberados de forma estacional y como pequeñas inundaciones.

### **5.3. Ríos de la Cuenca Murray-Darling.**

(Fuente Banco Mundial, 2003b)

Los ríos de la cuenca Murray-Darling en Australia se encuentran severamente dañados debido a la sobre explotación del agua, el incremento de nutrientes y de la salinidad. Como medida precautoria se estableció un límite en la extracción sin ninguna base relacionada con caudales ambientales, pero representaba una decisión importante mientras se realizaban los estudios adecuados para el establecimiento de los caudales ecológicos.

La cuenca se localiza al suroeste australiano y tiene una extensión de  $1.06 \times 10^6 \text{ km}^2$ , Comprende cuatro estados y habitan 2 millones de personas y 1 millón que vive fuera de la cuenca dependen de su agua. En la cuenca se encuentran las mejores tierras para la agricultura y gran parte del agua es utilizada para la irrigación. La cuenca produce \$aus 8.5 billones de los cuales \$aus 3 billones provienen de tierras irrigadas. El agua se usa para consumo doméstico, industrial, plantaciones forestales, minería, hidroeléctricas. Los ríos están muy regulados por represas, o diques para la toma de agua. El incremento en la extracción de agua desde 1950, ha llevado a que solo el 21% del agua natural llegue al océano.

### ***Conflictos***

Los patrones de flujo han cambiado drásticamente, particularmente en las partes bajas, debido a la construcción de presas y toma para la irrigación. Los caudales remanentes no son capaces de diluir los nutrientes creando crecimientos de algas verde-azuladas, las cuales producen toxinas que causan daños a la salud como dolor de estómago, irritación de los ojos y de la piel, muerte del ganado etc. La situación ha llegado a tal extremo que en 1991 se produjo el "bloom" ripario más grande del mundo de algas azules, desarrollado a lo largo de 1000 km en el Río Darling, en esa fecha el Gobierno del Estado hizo una declaración de emergencia por el evento. El severo deterioro en la salud de los ecosistemas fluviales de la cuenca Murray-Darling, ha llegado a causar la muerte de las comunidades acuáticas de plantas y animales.

### ***El balance del desarrollo de la cuenca y la protección de la salud del río.***

El Consejo Ministerial para la Cuenca Murray-Darling es el foro de más alto nivel interestatal de cooperación para el manejo de los recursos de la cuenca. Este consejo está compuesto por ministros de los estados involucrados y representantes del gobierno nacional. El consejo puede hacer las recomendaciones, sin embargo, la responsabilidad cae sobre cada Estado. Debido a los problemas crecientes, en 1993 el Consejo solicitó una auditoria del uso del agua en la cuenca. La auditoria indicó que los patrones existentes y proyectados del uso del agua eran insostenibles. En

respuesta a la auditoria y a la problemática de agua, el Consejo estableció, temporalmente, un límite en la extracción del agua para todos los usos consuntivos, como un primer paso esencial hacia el uso sostenible del agua de los ríos, en 1997 los límites fueron confirmados como permanentes. Estos valores no tienen ninguna significancia ecológica, simplemente fue el valor de extracción de dos años antes de haber introducido el límite. El propósito fue reducir la extracción del agua pero no necesariamente el desarrollo, fue una decisión por consenso que llevó posteriormente a reformas en la agenda del agua.

### ***Monitoreo***

Un grupo auditor independiente realiza el monitoreo de las extracciones en las 23 sub-cuencas principales para determinar si los límites establecidos se están respetando, los resultados anuales son reportados al Consejo. Los métodos de auditoria se han modificado con la experiencia, la regla es que en ninguna sub-cuenca y en ningún año los usos deben sobrepasar un 20% más que el agua que se usaba en 1993/94. Este es un método que solo trata la extracción de volúmenes de agua sin ninguna atención a la calidad, esta es una limitación reconocida por el Consejo. Por esta razón en el 2000, se solicitó la preparación de una auditoria de la sostenibilidad del río considerando los aspectos de calidad del agua.

### ***Actores y equidad***

La primera acción fue una decisión política y como tal hubo participación de los principales involucrados en el uso del agua. Con este nuevo proceso se incluye la equidad, tema que fue evaluado bajo seis principios: a) que no se permita cambios en el régimen del flujo que puedan contribuir al deterioro de la calidad del agua y la protección del ambiente, b) que la asignación del agua se haga con extrema sensibilidad hacia los efectos en el ambiente (principio precautorio), c) el agua que sea asignada debe tener un alto valor de uso, d) los procesos de manejo del agua deben ser transparente y auditable, e) que el sistema administrativo sea entendible y que minimice tiempo y costos.

### ***Definición de los requerimientos de los caudales ambientales.***

Con los límites de cantidad establecidos, la calidad del agua en el río es el elemento más importante en la determinación de los requerimientos ambientales en cada una de las sub-cuencas, la formación de paneles de expertos fue una alternativa muy útil en este caso, la evaluación aún no concluye.

Este caso se presentó porque refleja la importancia de la determinación de flujos ambientales en ríos con alto grado de complejidad, estas herramientas metodológicas se convierten en verdaderos sistemas de negociación de conflictos, donde la producción basada en el recurso agua aporta un porcentaje importante de los ingresos locales y nacionales.

## **6- Sistematización del Proceso de definición de flujos ambientales en Costa Rica.**

### **6.1- Estableciendo flujos ambientales**

#### **6.1.1- SNE- Organismo Regulador de los Servicios Públicos**

El establecimiento de caudales mínimos en Costa Rica surge desde el Organismo Regulador de los Servicios Públicos (SNE), como respuesta a la demanda creciente y asignación de caudales de agua para la generación de electricidad. Bajo esta situación se elabora en 1994 el "Proyecto de política para la asignación de caudales para concesiones de generación privada" donde se establece las primeras regulaciones sobre caudales mínimos.

Este proyecto establece como política la posibilidad de otorgar el caudal disponible mes a mes con base en el caudal promedio mensual de todo el registro, que es el caudal más representativo del comportamiento hidrológico de la cuenca. Esto permitirá a los solicitantes tomar todo el líquido, tanto los máximos instantáneos como los mínimos instantáneos del hidrograma de la fuente, aunque esto no es indicativo del valor máximo a captar, ya que el concesionario podrá tomar todas las

fluctuaciones de caudal, si las condiciones del año hidrológico y del proyecto lo permiten. Además, el concesionario puede embalsar el caudal captado y utilizarlo en el momento oportuno a efectos de obtener una mayor potencia.

Por el origen de esta política de asignación de caudales, se muestra un interés total sobre el aprovechamiento máximo del agua, sin embargo, se establece un caudal mínimo que debe ser cumplido por los concesionarios, la política indica que el tramo de la fuente del aprovechamiento entre el punto de toma y el punto de desfogue, no debe quedar seco en ningún momento, por tanto el caudal mínimo permanente en ese sector debe ser equivalente al 10% del caudal promedio anual de la fuente ( $0,10 Q_a$ ), según los datos del registro de caudales (SNE, 1994)

El caudal mínimo (CM) estará conformado por el caudal de rebose (CR) en el punto de la toma, más el caudal aportado (CA) por los efluentes agua abajo de la presa, hasta el punto de desfogue del proyecto, el caudal aportado es el resultado de la sumatoria del producto del caudal promedio anual tributado por cada efluente ( $q_i$ ) y la distancia ( $l_i$ ) medida desde el punto desfogue (punto de descarga del agua turbinada) hasta el sitio de descarga del efluente, dividido por la distancia entre la toma y el desfogue ( $L_t$ ).

Por tanto  $CM = CR + CA$

y  $CA = \sum(q_i * l_i / L_t)$

De forma expresa se indican tres condiciones en el manejo del caudal mínimo ( $10\%Q_a$ ), con respecto al caudal de rebose.

- 1- El caudal de rebose en la presa será,  $CR = 0,05 Q_a$ , si la sumatoria de los aportes (CA) es mayor o igual al  $5\%Q_a$
- 2- El caudal de rebose será,  $CR = 0,10 Q_a - CA$ , si la sumatoria de los aportes (CA) es menor a  $5\% Q_a$
- 3- El caudal de rebose será,  $CR = 0,10 Q_a$  si no existieran caudales aportados (CA).

Finalmente se impone la condición que el incumplimiento en la calibración del caudal de rebose para lograr el caudal mínimo (10% Qa), es hecho causal de caducidad de la concesión.

Las disposiciones establecidas en el “Proyecto de política para la asignación de caudales para las concesiones de generación privada”, no son aplicadas a los usuarios públicos, como el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillado (AyA), Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA), Cooperativas, Junta Administrativa de Servicios Eléctricos de Cartago (JASEC), Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y Municipalidades. No obstante es el marco operativo que regula el establecimiento de los caudales mínimos de Costa Rica.

#### **6.1.2- UICN- Unión Mundial para la Naturaleza.**

Bajo el marco de la Iniciativa Agua y Naturaleza de la UICN se estableció el desarrollo de un proyecto para promover la implementación de los flujos ambientales, el proyecto incluye la consolidación de una red de trabajo sobre flujos ambientales, incremento de la capacidad institucional, la evaluación rápida de flujos ambientales en un sitio determinado para la elaboración de una propuesta y promueve la inclusión de flujos ambientales en las políticas oficiales del estado

Las acciones iniciales estuvieron dirigidas hacia la formación de un equipo de apoyo para la discusión de aspectos conceptuales sobre caudales ecológicos, la primera sesión de trabajo se llevó a cabo en diciembre de 2003, con la participación de representantes de ONGs e instituciones de gobierno (UICN, ICE, OET, UCR, MINAE, CCT, CEDARENA, CINPE).

Con el propósito de mostrar la dirección o rumbo que la UICN le está dando al proceso de implementación de flujos ambientales, se brinda un resumen de las memorias de los principales aspectos desarrollados en los talleres que se han llevado a cabo bajo la coordinación de la OET.

En principio se definieron varios objetivos con el fin de orientar el proceso, entre estos se propuso:

- Nivelar conocimiento sobre el tema de caudal ambiental,
  - Discutir sobre enfoques y metodologías para su determinación,
  - Su relación con el manejo integrado de cuencas.
- Integración de red de técnicos para incorporar concepto en procesos, normas y legislación
- Difundir utilización del concepto entre los participantes y definir estrategias para una mayor difusión del concepto
- Desarrollar planes de entrenamiento para formar una masa crítica de técnicos que manejen conceptos y metodologías.

La definición de caudal ecológico establecida por el grupo de participantes fue la siguiente:

*“La cantidad de agua, expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia de flujos específicos y la calidad de agua expresada en términos de rangos, frecuencias y duración de la concentración de variables claves de calidad de agua que son requeridas para mantener un nivel deseado de salud en el ecosistema”*

La importancia en la determinación y establecimiento de caudales ambientales en términos de beneficios para los usuarios que dependen de los recursos fluviales fueron discutidos, lo mismo que aspectos de valoración económica, impacto sobre el caudal ambiental, salud de los ecosistemas; se incorporo además a la discusión aspectos técnicos relacionados con las metodologías para los cálculos de los caudales ecológicos y procesos de elección de las que mejor se adaptan a las condiciones específicas de conflictos por el uso del agua y condiciones hidrológicas de las cuencas de interés. La participación amplia de todos los sectores en los procesos de definición de metodologías y establecimiento de caudales es un elemento discutido por este grupo.

Las principales conclusiones fueron:

- El grado de “salud ambiental” que queremos de nuestros ecosistemas acuáticos es una decisión de la sociedad.
- Los valores ecológicos no son necesariamente los más importantes para una sociedad.

- Un balance deberá ser alcanzado entre los requerimientos ecológicos y otros usos como generación hidroeléctrica, riego o recreación acuática.
- Debe siempre considerarse no eliminar opciones para generaciones futuras.
- Se deberá definir los valores básicos sobre los cuales tomar las decisiones.
- Se deberá determinar los resultados esperados basado en un análisis de costos y beneficios.

Para la salud de un ecosistema se requiere:

- Una cantidad suficiente de agua distribuida en un patrón lo más normal posible.
- La calidad del agua (parámetros, físico-químico y biológicos) debe mantenerse a niveles apropiados.
- El carácter, extensión y condición de los hábitats acuáticos y riparios deben ser mantenidos para proveer suficiente hábitat adecuado para mantener poblaciones viables
- El carácter, distribución y condición de poblaciones bióticas debe ser mantenido a un nivel que mantenga los procesos ecológicos dependientes.

Algunos criterios fundamentales para la determinación del caudal ambiental:

- El régimen de Caudal Ambiental debe de estar acorde con aquel en que han evolucionado las especies acuáticas y sus ciclos de vida
- El cauce (y los hábitats asociados) se encuentran en equilibrio geomorfológico con los caudales existentes (menos caudal produce sedimentación, más caudal produce erosión)
- Existe una estrecha relación entre cantidad y calidad del caudal
- Los cambios en la cantidad del caudal afectan la capacidad de dilución y tasa de evaporación
- Parámetros basados en datos de sitios no-impactados o estándares internacionales
- Se determina el grado aceptable de cambio en el parámetro de calidad

De esta primera sesión de trabajo se logró unificar y homogenizar criterios y conceptos entre los participantes lográndose así el objetivo principal del taller.

Un segundo taller sobre “Los Caudales Ambientales y el Manejo de Recursos Hídricos en Costa Rica”, se realizó en febrero de 2004. Se abordaron temas en procura del consenso sobre caudales ambientales en costa Rica, se presentaron experiencias de España y Noruega en los procesos de determinación de caudales ecológicos, así como experiencias locales de manejo del recurso hídrico. Las

perspectivas legales en la implementación del concepto de caudal ambiental en el ámbito mundial y la legislación nacional al respecto fueron dos aspectos tratados en el taller.

Aspectos legales e institucionales, Hidrológicos-ecológicos y socioeconómicos relacionados con el manejo de ecosistemas fluviales y caudales ambientales fueron discutidos por grupos de trabajo. Pronto será entregada a los participantes la memoria de este taller.

A inicios de junio de 2004 se realizó el tercer taller sobre caudales ambientales, esta vez con la participación de ONGs que desarrollan actividades relacionadas con el uso y manejo de recursos hídricos. El objetivo fue la difusión de información sobre el cálculo de caudales ecológicos y la presentación de casos sobre el deterioro de humedales importantes como cuenca baja del Río Frío (Caño Negro), Río Tempisque y Río Volcán.

Paralelamente al proceso de talleres se está realizando un estudio práctico para la determinación del caudal ambiental de la parte baja de la cuenca del Río Tempisque, se ha considerado el tramo hacia abajo del puente sobre el río a la altura de poblado llamado Guardia.

Aspectos hidrológicos y biológicos son considerados en el estudio, aún no se tienen resultados debido a su reciente inicio.

### **6.1.3- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)**

El ICE ha iniciado un proyecto en el Río Savegre para determinar el caudal de compensación, cuenta con apoyo técnico del gobierno sueco. El cálculo del caudal de compensación se realizará utilizando una metodología que la misma institución desarrolla en el marco del proyecto, en principio es de carácter holístico, considera en este caso los requerimientos ambientales de algunas especies de peces y macro-invertebrados, incluye aspectos sociales de la población humana y cuenta con varias estaciones hidrológicas. El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una

metodología para la determinación de caudales mínimos aceptables para optimizar el uso del recurso hídrico del país.

La creación de un software es uno de los productos principales del proyecto junto con la determinación del caudal de compensación del río en estudio. El proyecto inició en el 2004 y tendrá una duración de tres años.

## **6.2- Viabilidad Institucional, legal y política en la determinación de caudales ambientales.**

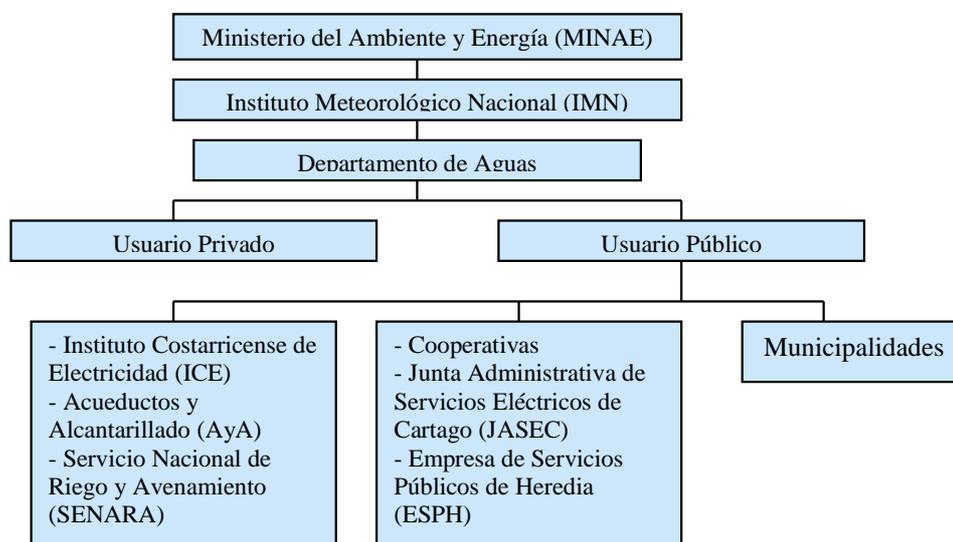
### **6.2.1- Marco Institucional**

La administración del agua en Costa Rica es competencia del Ministerio del Ambiente y Energía, a través del Departamento de Aguas, el cual según decreto ejecutivo No. 26635-MINAE del 26 de febrero de 1988, funciona bajo la dirección del Instituto Meteorológico Nacional.

Todo aprovechamiento de aguas y sus cauces requiere la aprobación del Ministerio del Ambiente y Energía y se tramita en el Departamento de Aguas, se incluye concesiones de aguas, permisos de perforación para explotación de aguas subterráneas, inscripción y registro de sociedades de usuarios de agua, permisos de descarga de aguas de drenaje agrícola y pluviales de urbanizaciones, Inscripción de empresas perforadoras de pozos y controversias relacionadas con el uso del recurso agua.

A pesar de una clara competencia en la administración del recurso hídrico por parte del MINAE, se debe mejorar el control sobre la emisión de los reportes de grandes usuarios públicos que tienen actividades de gestión y uso del agua como el ICE, SENARA, AYA, y cooperativas como JASEC y ESPH, los cuales en algunos casos se consideran administradores del recurso en vez de usuarios.

Estructura de la administración del agua en Costa Rica.



### 6.2.2- Marco Legal

Sin entrar en mucho detalle se menciona las principales leyes que regulan la administración y el aprovechamiento del agua en Costa Rica.

-Ley de Aguas, No. 276 del 26 de agosto de 1942. Otorga al MINAE disponer y resolver en nombre del estado el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno y vigilancia sobre las aguas de dominio público y los vasos que las contienen.

Se requiere de una concesión de aguas para su aprovechamiento, esta concesión la otorga el MINAE a través del departamento de aguas.

Ley de creación del ICAA, No. 2726 del 14 de abril de 1961. Establece lo referente al manejo de acueductos y alcantarillados y la administración del recurso hídrico destinado a uso poblacional.

Ley 5516 del 28 de mayo de 1974. Obliga al registro de empresas perforadoras para la exploración de aguas subterráneas.

Código de Minería, No. 6757 del 22 de octubre de 1982. Establece el carácter de dominio público de las aguas y reserva al estado su manejo.

Ley Orgánica del Ambiente, No. 7554 del 13 de noviembre de 1995. Ratifica que las aguas son nacionales.

Ley de Co-generación Eléctrica No.7200 y No. 7520. Establece la posibilidad de la generación hidráulica para la venta de energía al ICE por parte de privados.

Ley de creación del SENARA, No.6877 del 29 de julio de 1983.

Reglamento de perforaciones y exploración de aguas subterráneas del 26 del mayo de 1998.

### **PROYECTOS DE LEY:**

Tres iniciativas de proyecto de ley dieron origen a los primeros textos jurídicos preliminares, sobre caudales ambientales en el país: *Ley del Recurso Hídrico Exp. No. 14.585*, *Ley de Manejo y Uso del recurso Hídrico Exp. No. 14.594*, y *Ley Marco del Sector Hídrico Exp. No. 14.598*, estos proyectos fueron sometidos a procesos de revisión y consulta popular, permitiendo a la comunidad nacional ver reflejado, en diferentes grados, sus aportes en el documento final que unificó las tres propuestas iniciales.

En diciembre del 2003, la propuesta de Ley fue aprobada por la Comisión Permanente Especial de Ambiente, y se encuentra actualmente en proceso de aprobación en la Asamblea Legislativa.

Los artículos e incisos de la propuesta de Ley de Recursos Hídricos, que incluyen de alguna forma el caudal ecológico o ambiental y caudal mínimo se muestran a continuación.

#### **Artículo 3.- Definiciones**

**c) Caudal Ambiental:** Es aquel no derivable de una fuente producto de la particularidad hidrográfica de cada región, de tal forma que se garantice un flujo mínimo continuo y permanente, que permita, aguas abajo de todo aprovechamiento a lo largo del cauce, una estabilidad del ecosistema y satisfacer la necesidad de usos comunes.

#### **Artículo 9.- Funciones y competencias de la Dirección**

Son funciones y competencias de la Dirección Nacional del Recurso Hídrico:

s) Realizar las declaratorias de Caudal Ambiental y de Déficit Temporal del Recurso, según lo faculta esta ley.

**Artículo 51.- Prohibición de alterar o interrumpir el flujo normal de corrientes de agua.**

Queda prohibida la modificación, desviación o interrupción del flujo normal de caudales de las fuentes de agua, con excepción de los casos permitidos en la legislación vigente. No podrá autorizarse la construcción de muros u obras constructivas dentro del cauce de los ríos, quebradas, arroyos o cualquier otra fuente de agua.

Corresponde al Organismo de Cuenca vigilar el cumplimiento de esta norma.

**Artículo 52.- Declaratoria de Caudal Ambiental**

La Declaratoria de un Caudal Ambiental implica el carácter de no uso del recurso y suspenderá inmediatamente los aprovechamientos previamente otorgados con excepción del uso para abastecimiento de población. Esta declaratoria permanecerá mientras el caudal no supere el volumen mínimo para la subsistencia del ecosistema. La Dirección Nacional del Recurso Hídrico, de acuerdo con el reglamento de esta ley, establecerá los procedimientos y metodología de cálculo de este caudal, en atención a la especificidad de cada uso y a su ubicación hidrográfica.

**Artículo 53.—Declaratoria de Déficit Temporal del Recurso Hídrico.**

La Dirección Nacional del Recurso Hídrico podrá realizar una Declaratoria de Déficit Temporal del Recurso Hídrico cuando haya constatado técnicamente la disminución atípica de la disponibilidad del recurso, valorando las condiciones meteorológicas, hidrológicas, hidrogeológicas, agrícolas, geográficas, sociales y económicas. Para estos efectos la Dirección quedará facultada para reducir los caudales asignados, a fin de garantizar el aprovechamiento proporcional a todos los usuarios, respetando el siguiente orden de prioridades: 1) abastecimiento de población; 2) otros servicios públicos esenciales; 3) todos los otros usos se reducirán a prorrata, hasta que se solucione la situación.

Ante esta declaratoria, la Dirección dictará los lineamientos y acciones en materia de manejo del recurso hídrico con la finalidad de mitigar sus efectos.

**Artículo 54.- Responsabilidad estatal por las declaratorias**

Las declaratorias de Caudal Ambiental y de Déficit Temporal del Recurso Hídrico no conllevan ninguna responsabilidad civil para el Estado.

El Estado no responderá en ningún caso por la falta o la disminución natural de los caudales, en los términos del artículo 61 de esta ley, pero el funcionario público que otorgare derechos más allá de la disponibilidad natural de caudales responderá por los daños que cause, sin perjuicio de su responsabilidad administrativa y penal.

**Artículo 61.- Disponibilidad del recurso hídrico**

La concesión se entenderá otorgada sin perjuicio de tercero de mejor derecho. El Estado no asume ninguna responsabilidad por la falta o disminución natural de agua que pudiera resultar en el caudal asignado en la concesión, salvo lo dispuesto en

sobre las Declaratorias de Caudal Ambiental y de Déficit Temporal del Recurso Hídrico. Se entenderá que toda concesión se emite con esa liberación de responsabilidad.

Las concesiones sólo se otorgarán hasta los límites indicados por los aforos de aguas superficiales y subterráneas y en la medida de su explotación sustentable. Mientras no existan aforos firmes todas las concesiones se entienden sujetas a condición resolutoria, por orden de antigüedad inverso cuando los aforos a realizarse demuestren que no existe agua suficiente.

Alternativamente, la Dirección Nacional del Recurso Hídrico podrá acordar reducciones a prorrata de todos los derechos en función de tales aforos firmes, cuando se alcancen acuerdos por mayoría de tres cuartos de los beneficiarios consintiendo esta solución con los representantes de la Dirección. Las concesiones solo se consolidan por el uso efectivo y beneficioso de las aguas y se pierden por no uso dentro de los plazos de esta ley

#### **Artículo 124.—Creación.**

Se crea el Registro de Aprovechamiento de Aguas y de los Cauces que tendrá carácter público. En él se inscribirán de oficio las concesiones, autorizaciones a instituciones públicas y permisos de uso, caudales ecológicos, servidumbres legales, Sociedades de Usuarios del Agua, Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados, organizaciones ambientalistas que trabajen en temas de recurso hídrico, empresas perforadoras, empresas que brindan el servicio de limpieza de tanques sépticos, laboratorios acreditados, infractores, vertidos, drenajes y los que establezca el Reglamento a esta Ley.

Este Registro enviará de oficio al Registro Nacional, la información relativa a las servidumbres legales constituidas según esta ley, para la anotación respectiva.

La organización y normas de funcionamiento del presente registro serán fijadas en el reglamento a esta Ley.

#### **Artículo 149.- Permiso de vertido**

Todas las personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, que viertan efluentes en forma directa o indirecta a un cuerpo receptor requerirán de un permiso de vertido, el cual será otorgado por la Dirección Nacional del Recurso Hídrico.

La Dirección estudiará la solicitud, basándose en la Clasificación Nacional de los Cuerpos de Agua y atendiendo a las características del cuerpo receptor, la capacidad de carga, el uso actual y potencial, el caudal ambiental, el efecto acumulado de los vertidos sobre el mismo y la información que cada administrado proporcione, entre otros aspectos relevantes.

La Dirección queda facultada para limitar el otorgamiento de permisos de vertido en las respectivas cuencas, con el propósito de alcanzar las metas de recuperación de los cuerpos de agua que para estas se establezcan.

El permiso tendrá una vigencia máxima de tres años.

El reglamento a esta Ley establecerá el contenido y el procedimiento para el otorgamiento del permiso.

El permiso de vertido otorgado por la Dirección Nacional del Recurso Hídrico será requisito para que la autoridad competente conceda patentes y permisos de funcionamiento.

### **6.2.3- Viabilidad Política.**

En los últimos cuatro años se han elaborado y discutido tres propuestas de proyecto de ley sobre recursos hídricos, que consideran en mayor o menor grado el caudal ambiental o ecológico y el caudal mínimo. Los proyectos se discutieron en la Asamblea Legislativa y fueron objeto de diversas revisiones por parte de expertos, ciudadanos y grupos de especialistas en el tema, también se llevaron a cabo foros de discusión y talleres de análisis, muchos de ellos promovidos por la Asamblea Legislativa, diputados, el Grupo Técnico de Agua que incorpora a la GWP-CA, UICN, FUDEU, CEDARENA, MINAE y otros más.

En mayo del 2002, se llevó a cabo el primer foro nacional del agua convocado por la Asamblea Legislativa de Costa Rica y la GWP-CA, con el apoyo del Ministerio del Ambiente.

En el Marco de este foro el Ministro del Ambiente y Energía propone a la Comisión de Ambiente de la Asamblea Legislativa y a la sociedad civil, la ejecución de un proceso de análisis de los tres proyectos de ley de aguas, el proyecto número 14594 Ley de Conservación, Manejo y Uso del Recurso Hídrico, el proyecto número 14585 Ley del recurso Hídrico y el proyecto número 14598 Ley Marco del Sector Hídrico.

Bajo este compromiso se forma un grupo multidisciplinario con amplia experiencia en temas relacionados con el manejo del recurso hídrico, este equipo fue conformado por los redactores de los proyectos de ley presentados por el Ministerio del Ambiente y Energía, Defensoría de los Habitantes y representantes del ex diputado Merino del Río, también participaron las organizaciones no gubernamentales que colaboraron en el proceso de elaboración de los proyectos, y la Asociación Mundial del Agua-Centroamérica, con el aporte de expertos en el tema.

Este Grupo brindó sus recomendaciones el 6 de agosto de 2002, presentadas en el documento *“Análisis comparativo y recomendaciones sobre los Proyectos de Ley de Aguas: Ley de Manejo y Uso del recurso Hídrico Exp. No. 14.594, Ley del Recurso*

*Hídrico Exp. No. 14.585 y Ley Marco del Sector Hídrico Exp. No. 14.598*”, elaborado por un equipo consultor intersectorial con el apoyo de la Asociación Mundial del Agua de Centroamérica (GWP-CA), en procura de llegar a un consenso de Ley o al menos mejorar significativamente la ley que se apruebe en la Asamblea Legislativa.

Dos consideraciones importantes, hechas por el grupo, sobre el proceso de mejoramiento de los proyectos de ley, indican que la única fuente de transformación de la ley hídrica es a través de un amplio proceso participativo que asegurará su éxito. Expresan además, que la voluntad política ya expresada, la participación ciudadana y el consenso solo pueden dar como resultado una nueva ley de aguas. La responsabilidad de la conservación y manejo del recurso hídrico es del Estado y todos los ciudadanos.

Como resultado final de este proceso de consulta y análisis las tres iniciativas fueron conjuntadas en un solo texto de proyecto de ley, que se encuentra en la Asamblea Legislativa para ser enviado a la comisión de Ambiente y posteriormente someterlo a votación por parte de los diputados

El ICE, en los últimos años ha fortalecido el componente ambiental en los estudios preliminares al desarrollo de las obras de infraestructura para la producción de energía hidroeléctrica. En caudales ecológicos desarrolla un proyecto, por iniciativa de la institución, con el fin de conocer los requerimientos ambientales del ecosistema pluvial en el Río Savegre.

Iniciativa e interés por parte del Gobierno se refleja en cada una de las instituciones que tienen competencia en el manejo del recurso hídrico, la ley de aguas de 1942 se considera obsoleta y carente de elementos que den soporte jurídico a la nueva problemática y enfoque ecosistémico en el manejo del agua.

## 7- Conclusiones

- 1- Existe un considerable número de metodologías para la determinación de caudales ambientales, y posibilidades de elegir entre las que mejor se adapten a los intereses y condiciones económicas de los países.
- 2- La determinación de caudales ambientales debe ser una acción impulsada desde las instituciones encargadas de la gestión del recurso hídrico, las metodologías deben brindar resultados que permitan a estas instituciones tomar decisiones de manejo.
- 3- Los enfoques holísticos en la determinación de requerimientos de flujos ambientales están más acordes con las nuevas tendencias del manejo ecosistémico de los recursos. Las acciones sectoriales o el enfoque de una parte del problema solo brinda soluciones parciales. Por lo tanto este tipo de metodología sería la más recomendable en el establecimiento de los caudales ecológicos en ríos con alto grado de complejidad productiva, social y ambiental.
- 4- Las metodologías puramente hidrológicas no deben descartarse como pretenden algunos autores, éstas aún siguen siendo herramientas útiles para sitios poco complejos o bien para el establecimiento de caudales ambientales, como medida precautoria ante la ausencia de estudios más detallados y acordes con la realidad del sitio.
- 5- Alrededor del 25% de los países del mundo han aplicado alguna metodología para la determinación de caudales ambientales, los países que van a la vanguardia en este campo son Sudáfrica, Australia y Estados Unidos.
- 6- La legislación y los arreglos institucionales deben ser actualizados para que se lleve a cabo una determinación de caudales ambientales eficaz, en el manejo del recurso de los países. Las exigencias sobre caudales

ambientales deben adquirir el mismo carácter de los estudios de impacto ambiental, que los países exigen a los proyectos de desarrollo.

- 7- América Latina adolece de estudios sobre cálculos de caudales ambientales, son pocos los países que tienen alguna experiencia en el tema, es probable que la abundancia del recurso hídrico influya sobre la optimización del recurso en función de la integridad de los ecosistemas.
- 8- Los estudios de casos en la determinación de caudales ambientales son una buena guía sobre el tipo de problemas o conflictos por solucionar, pueden ser tan elementales como la determinación de un caudal ambiental para la conservación de una especie particular o un hábitat, o la determinación de un caudal mínimo requerido río abajo con el fin de utilizar la mayor cantidad de agua posible en un sistema de riego o de producción de energía eléctrica.

## 8- Referencias

Agirre Alberto y Begoña G. De Bikuña. (sf). Conceptos básicos para la aplicación del caudal ecológico en los ríos ibéricos , ANBIOTEK S. L. 8p.

Arthington AH, Bunn SE, Pusey BJ, Blühdorn DR, King JM, Day JA, Tharme RE, O’Keeffe JH. 1992. Development of an holistic approach for assessing environmental flow requirements of riverine ecosystems. In: Pigram JJ, Hooper BP (eds). Proceedings of an international seminar and workshop on water allocation for the environment. November 1991. The Centre for Water Policy Research, University of New England. Armidale, Australia. 282 pp.

Baeza Sanz Domingo & Diego García del Jalón. 2003. Avances y aspectos no resueltos en la estimación de regímenes de caudales ecológicos. *E.T.S.I. Montes*. 12 p.

Beecher H A. 1990. Standards for stream flow. *Rivers* 1 (2): 97-109

Bovee, K. D. 1982. A guide to stream habitat analysis using the IFIM – US Fish and Wildlife Service Report FWS/OBS-82/26.

Brendan Smyth. 1999. Minister for Urban Services, Water Resources ACT, Environmental Flow Guidelines, Australia, 27 p.

CATHALAC. 2004. Cuestiones Institucionales. (pag. Web)

CMR, 1999. Represas y Desarrollo: Un nuevo marco para la toma de decisiones. Informe final de la Comisión Mundial de Represas.

Cubillo, F. , C. Casado y V. Castrillo. 1990. Estudio de Regímenes de Caudales Mínimos en los Cauces de la Comunidad de Madrid. Agencia de Medio Ambiente. Madrid.305 pg.

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

García de Jalón Diego y Marta González del Tánago. (sf). El concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los ríos españoles. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. 10 p.

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

Gore, J.A. y J.M. Nestler. 1988. Instream Flows in Perspective. *Regul. Riv. Res. &*

*Mngt.* 2, 93-102.

Gustard, A. 1987 A study for compensation flows in the United Kingdom. Institute of Hydrology. Wallingford.

GWP-Centroamérica. 2004. página web.

IFRC (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies). 2001. *World Disasters Report 2001*. Geneva. *In: ONU/WWAP (Naciones Unidas/Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos)*. 2003. *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo : Agua para todos, agua para la vida*. París, Nueva York y Oxford, UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).

Jorde, K. 1996. Ecological evaluation of In-stream Flow Regulations based on temporal and spatial variability of bottom shear stress and hydraulic habitat quality in Ecohydraulics2000, 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics, edited by Leclerc, M. et al. Quebec City. *In: 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.

Jowett, I. G. 1989. River hydraulic and habitat simulation, RHYHABSIM computer manual. New Zealand fisheries miscellaneous Report 49. Ministry of Agriculture and Fisheries, Christchurch. *In: 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.

Killingtviert, Å, Harby, A. 1994. Multi Purpose Planning with the River System Simulator - a decision support system for water resources planning and operation Proceedings of the First International Symposium on Habitat Hydraulics, Norwegian Institute of Technology, Trondheim. *In: 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.

King, J.M., Tharme, R.E. de Villiers M.S. (eds.). 2000. Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology. Water Research Commission Report TT 131/00, Pretoria, South Africa. *In 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.

Manteiga, L. Y C. Olmeda. 1992. La regulación del caudal ecológico. *Quercus*, 78, 44-46.

Martínez Carolina. 2003. Régimen de Caudales ambientales. Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología, E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.

National Wildlife Federation (NWF). sf. Environmental Flow Protection- A question for Texas Heritage. Texas Living Water Project.

ONU/WWAP (Naciones Unidas/Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). 2003. *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo : Agua para todos, agua para la vida*. París, Nueva York y Oxford, UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).

Palau Antoni. 1994. Los mal llamados caudales “ecológicos”. Bases para una propuesta de cálculo. *Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, No.28, 15p.

Parasiewicz, P., Dunbar, M.J. 2001. Physical Habitat Modelling for Fish: A developing approach in Large Rivers 12, 2-4, *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 135/2-4. 239-268. *In: 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.

Reiser, D. Weshe TA. Estes C. 1989. Status of stream flow legislation and practices in North America. *Fisheries* 14(2): 22-29.

RIRH (Red Interamericana de Recursos Hídricos). 2004. pagina web.,

SNE, 1994. Proyecto de política para la asignación de caudales para concesiones de generación privada. Organismo regulador de los Servicios Públicos, San José. Costa Rica. 4 p.

Sacatena, N. F. 2004. A survey of methods for setting minimum instream flow standards in the Caribbean Basin. *River Res. Applic.* 20: 127-135.

Souchon, F.Y. 1983. *Aproche Methodologique de la Determination des Débits. Reserves*. CEMAGREF. Serv. Pêche et Hydrobiologie. Lyon.

Stalnaker, C.B. 1979. The use of habitat structure preferenda for establishing flow regimens necessary for maintenance of fish habitat. *In: The Ecology of Regulated Rivers*. J.V. Ward y J. Stanford. 326-337. Plenum Press.

Tennant, D.L. 1976. Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and related Environmental Resources. *Procs. on Instream flow needs Symp.* 326-327.

Tharme, R.E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Res. Ap.*

Tharme RE, King JM. 1998. Development of the Building Block Methodology for instream flow assessments, and supporting research on the effects of different magnitude flows on riverine ecosystems. *Water Research Commission Report No. 576/1/98*. 452 pp.

The World Bank. 2003a. Water Resources and environment, Technical Note C.1, Environmental flows: Concepts and Methods. 27 p.

The World Bank. 2003b. Water Resources and environment, Technical Note C.2, Environmental flows: Case Studies. 28 p.

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

IUCN –ELP (Environmental Law Program). 2004. Water Law Series -Issue 7: Environmental Flows (Web Page).

UNEP (United Nations Environment Programme). 1999. Global Environmental Outlook 2000. London, Earthscan Publications.

UNFPA (United Nations Population Fund). 2002. The State of the World Population 2001. New York.

Waters, B.F. 1976. A methodology for evaluating the effects of different stream flows on salmonid habitat in Orsborn, J.F. and Allman, C.H. (eds) In-stream Flow Needs, p 254-266. *In*: IUCN 2003, Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (eds).. IUCN, Gland, Suiza y Cambridge, RU. xiv + 118 pp.

White, R.G. 1976. A methodology for recommending stream resource maintenance flows for large rivers. Procs. on Instream flow needs Symp. 376-386.

WHO/UNICEF (World Health Organization/United Nations Children's Fund). 2000. Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report. Geneva.

WWF (World Wide Fund for Nature). 1998. Living Planet Report 1998: Overconsumption is Driving the Rapid Decline of the World's Natural Environments. Gland, Switzerland.

## 9- Anexo No. 1: Metodologías para el cálculo de flujos ambientales (EFM)

Metodología (Nombre Original)	Tipo	Países aplicadas	Source Ref.	Descripción	Insumos	EFM salidas	Referencias clave
10% of MAF	Hidrológico	-Chile -Nueva Zelanda -España	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Smakhtin 2001</li> </ul>	Es un simple índice de flujo mínimo, calculado como el 10% del flujo anual promedio del río en estudio	Serie temporal de datos de los flujos históricos diarios por un periodo adecuado y calidad para el cálculo del flujo medio anual.	Simplemente la recomendación del flujo mínimo como requerimientos del flujo ambiental, generalmente sobre una base anual o similar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> </ul>
10% of Q90	Hidrológico	- Brasil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Smakhtin 2001</li> </ul>	Es un índice de flujo mínimo que representa el 10% del flujo con un 90% de probabilidad de ser igualado o excedido. El requerimiento del flujo ambiental es indirectamente establecido, con un retiro de agua máximo permitido de 90% del flujo de la referencia, dónde el flujo de referencia es el flujo Q90 regulado	Serie temporal de datos de los flujos históricos diarios por un periodo adecuado y calidad para el cálculo del índice.	Simplemente la recomendación del flujo mínimo como requerimientos del flujo ambiental, generalmente sobre una base anual o similar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benetti et al. 2002</li> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> </ul>
20% Food-producing WUA Approach	Simulación de hábitat	- Nueva Zelanda	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jowett 1997</li> </ul>
20% of Q90	Hidrológico	- Brasil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Smakhtin 2001</li> </ul>	Es un índice de flujo mínimo que representa el 20% del flujo con un 90% de probabilidad de ser igualado o excedido. El requerimiento del flujo ambiental es indirectamente establecido, con un retiro de agua máximo permitido de 90% del flujo de la referencia, dónde el flujo de referencia es el natural. Ejemplo flujos no regulados Q90	Serie temporal de datos de los flujos históricos diarios actuales, por un periodo adecuado y calidad para el cálculo del índice.	recomendación del flujo mínimo como requerimientos del flujo ambiental, generalmente sobre una base anual o similar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benetti et al. 2002</li> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> </ul>
25% of MAF	Hidrológico	- Canadá	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Smakhtin 2001</li> </ul>	Es un índice de flujo mínimo calculado como el 25% del escurrimiento (caudal) medio anual, del río en estudio	Serie temporal de datos de los flujos históricos diarios actuales, por un periodo adecuado y calidad para el cálculo del caudal medio anual.	recomendación del flujo mínimo como requerimientos del flujo ambiental, generalmente sobre una base anual o similar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> </ul>
2-D/3-D hydrodynamic modelling	Simulación de hábitat	- Canadá - Sudáfrica	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leclerc et al. 1995</li> <li>• Scruton et al. 1996</li> </ul>
30% of MAF	Hidrológico	-	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jowett 1997</li> </ul>

30% of MMF (Mean Monthly Flow)	Hidrológico	- Nueva Zelanda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> </ul>	El índice representa el 30% de la descarga media mensual del río en estudio, y es calculado mes a mes	Serie temporal de datos de los flujos históricos diarios actuales, por un periodo adecuado y calidad para el cálculo de los promedios mensuales.	Una serie anual de un flujo mínimo como el requerimiento del flujo ambiental sobre una base mensual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> <li>• Scarf 1983, cited in Mosley 1983</li> </ul>
30-75% of 1 in 5 year low flow	Hidrológico	- Nueva Zelanda	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jowett 1997</li> <li>• Snelder et al. 1998 cited in Bragg et al. 1999</li> <li>• Forlong 1994 cited in Jowett 1997</li> </ul>
33-46% MAF	Hidrológico	- España	-	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Docampo &amp; De Bikuña 1993</li> </ul>
50% of 7Q10	Hidrológico	- Brasil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Smakhtin 2001</li> </ul>	50% del promedio mínimo de 7 días de flujo, que se espera ocurra una vez cada 10 años. El Flujo ambiental es indirectamente establecido, con un retiro de agua máximo permitido de 50% del flujo de referencia (donde el flujo de referencia es el flujo del 7Q10).	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benetti et al. 2002</li> </ul>
5-20% of Q90	Hidrológico	- Brasil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Smakhtin 2001</li> </ul>	Cualquier valor (%) del rango, desde 5 a 20% del flujo con un 90% de probabilidad de ser igualado o excedido. El requerimiento del flujo ambiental se establece indirectamente, basado en la cantidad de agua que permanece después del retiro de un porcentaje máximo permitido del flujo de referencia, dónde el flujo de referencia podría estar regulado o no.	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benetti et al. 2002</li> </ul>
70% of 7Q10	Hidrológico	- Brasil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Smakhtin 2001</li> </ul>	70% del promedio mínimo de 7 días de flujo, que se espera ocurra una vez cada 10 años. El Flujo ambiental es indirectamente establecido, con un retiro de agua máximo permitido de 30% del flujo de referencia (el flujo de referencia es el flujo del 7Q10).	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benetti et al. 2002</li> <li>• Reiser et al. 1989a</li> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> </ul>

7Q10	Hidrológico	- Canadá - Italia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Smakhtin 2001</li> </ul>	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caissie &amp; El-Jabi 1994</li> </ul>
Average Base Flow Methodology (ABF)	Hidrológico	- Canadá - Estados Unidos de Norte América	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kulik 1990</li> <li>• Stalnaker &amp; Arnette 1976</li> </ul>	El Método de ABF se desarrolló en Nueva Inglaterra, se usa principalmente en ese país y en EE.UU., por la Agencia Reguladora de los Recursos Acuáticos para recomendar caudales mínimos instantáneos. Se usó principalmente para los proyectos hidroeléctricos. Las figuras del flujo base son calculadas de las series históricas de flujos para periodos específicos de año. Existe un refinamiento del Método de ABF, basado en la identificación de regiones hidrológicas y síntesis de la medida de los datos que usan análisis de curvas de duración de flujos (FDCs)	Series históricas de datos de flujos, de tiempo adecuada. Los datos de la cuenca captación. La información sobre los requisitos del hábitat de especies de peces también puede ser útil	Figuras de flujos base mínimos para periodos específicos del año. Típicamente una aproximación del histórico, donde el flujo medio de un periodo específico puede ser presentado como el requerimiento del flujo ambiental para ese periodo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caissie &amp; El-Jabi 1994</li> <li>• Dunbar et al. 1998</li> <li>• Kulik 1990</li> <li>• Reiser et al. 1989a</li> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> </ul>
Basic Flow Method	Hidrológico	- Portugal					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Palau &amp; Alcazar 1996</li> </ul>
BBM	Holístico	- Australia - Chile - Suiza	-	-	-	-	-
Benchmarking Methodology	Holístico	- Sudáfrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brizga et al. 2002</li> </ul>	Es una metodología holística de tipo Top-Down que usa un equipo multidisciplinario, para evaluar el riesgo de impactos medioambientales a una escala de cuenca. La información sobre las alteraciones de regímenes de flujo naturales es vinculada con los impactos ecológicos/geomorfológicos, evaluando la condición de un rango de sitios sujetos a los varios grados de cambio en el régimen de flujo. El régimen de flujo del río en estudio se describe en términos de un grupo clave de indicadores o estadísticas ecológicas y geomorfológicos relevantes, cada una de las cuales se usa para desarrollar el modelo benchmarking, vinculando los cambios del régimen del flujo	Los datos hidrográficos (lluvia, caudales), datos del uso natural (típicamente la condición de la referencia), datos ecológicos de la condición actual del río, datos geomorfológicos de la cuenca, uso de la tierra y un grupo de indicadores clave y estadísticas.	Modelo de evaluación del riego	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brizga et al. 2002</li> </ul>

				con las respuestas ecológicas y geomorfológicas Estos modelos se usan para desarrollar los marcos de trabajo en la evaluación del riego para la evaluación de impactos potenciales en el futuro.			
BENHFOR Procedure	Combinación	- Italia	-	-	-	-	• Buffagni 2001
Biotope-level modelling	Simulación de hábitat	- Sudáfrica	-	-	-	-	• Tharme In prep • Tharme & King 1998
BWE	Hidrológico	- Sudáfrica	-	-	-	-	• King et al. 1999
Case-specific holistic-based approaches	Combinación	- Australia.		Metodología del tipo holístico simple que se enfoca en la minimización de la desviación del régimen de flujo natural del río	-	-	• Growns & Kotlash 1994
CASIMIR	Simulación de hábitat	- Francia - Noruega					• Jorde K, pers. comm.
Combination of IFIM & elements of holistic methodologies	Otras	- España - Suiza					• Dunbar et al. 1998
Correlations of fish year class to spawning flow	Otras						
Correlations of Q95, physico-chemical & biotic indices	Combinación	- Bulgaria	Dacova et al. 2000	Correlaciones entre Q95, cuatro grupos de físico-químicos y un grupo de índices abióticos			• Dacova et al. 2000
Cubillo Method	Simulación de hábitat	- España					• Cubillo 1992
Desktop Estimate	Hidrológico	- Sudáfrica					• DWAF 1999d • DWAF 1999e • Hughes 2001 • King et al. 1999 • King et al. (eds) 2000 • Hughes 1998, cited in Hughes 2001 • Hughes & Munster 1999, cited in Hughes

Direct use of GIS-based studies of physical habitat for fish/invertebrate species	Otras	- Finlandia					2001 • Muotka et al. 1996
Direct use of hydrology, water quality data & various biotic indices	Otras	- Italia					
DRIFT	Holístico	- Sudáfrica - Australia - Lesotho	• King et al. 2002				• Arthington 1998a
Ecological modelling	Holístico	- Brasil					
Ecotype-based Modified Tennant Method	Hidrológico	- Portugal					• Alves et al. 1996
Empirical Discharge-Water Surface Area (as habitat) Approach	Hidráulico						• O'Donnel & Moore, 1983, cited in Mosley 1983
ENSA Toulouse Method	Simulación de Hábitat	- Francia					• Dunbar et al. 1998
Environmental Flow Management Plan Method	Holístico	- Sudáfrica			• King et al. 1999 • Muller (ed.) 1996 • Muller (ed.) 1997		
EPAM	Holístico	- Australia					
EVHA	Simulación de Hábitat	- Canadá - Finlandia - Francia					• Ginot 1995, cited in Dunbar et al., 1998 • Pouilly et al., 1995, cited in Lamoroux et al., 1999
Expert method for minimum flows	Otras	- Noruega					• Faugli 1997, cited in Brittain & Henning L'Abée-Lund 2001
FDC Analysis (FDCA)	Hidrológico	- Sudáfrica	• Gordon et al. 1992 • Smakhtin 2001	En el análisis de la curva de duración del flujo (FDCA), se analiza la serie diaria de datos	Registros históricos de los flujos promedio diarios,	Los requerimientos del flujo ambiental (EFR)	• Gordon et al. 1992 •

				históricos del flujo sobre las duraciones específicas, para producir las curvas de duración del flujo (FDCs), que muestran la relación entre el rango de descargas y el porcentaje de tiempo en que cada uno de ellas es igualada o excedida. Las descargas representan los percentil es de flujo específico (valores del porcentaje de lo excedido), son calculados desde las curvas de duración del flujo (FDCs) (por ejemplo Q25 representaría la descarga que es igualada o excedida 25% del tiempo), y entonces es usada en una variedad de formas para producir las recomendaciones específicas de flujos medioambientales.	usualmente para cada mes del año, se usa un periodo relativamente largo de registro. datos biológicos, y en algunos casos se requieren datos geomorfológicos, además de los datos de flujo, para una aplicación relevante y apropiada desde el punto de vista ecológico	comprenden uno o más percentiles de flujo (representando Qs específico) vinculados en particular, a las condiciones adecuadas para la biota objetivo, del río. Los percentiles constituyen un grupo de flujos recomendados mes por mes o actividad por actividad, típicamente sin el correspondiente tiempo, duración u otros criterios ecológicos relevantes.	Richardson 1986 • Stalnaker & Arnette 1976 • Tharme 1996 • Tharme in press (2003) • Beecher 1990, cited in Dunbar et al. 1998
FDC percentiles	Hidrológico	- Sudáfrica					• Ferrar (ed.) 1989 • King et al. 1999 • Tharme 1996
Fish Habitat Analysis	Simulación de hábitat	- Australia					• Dunbar et al. 1998
Fish population modelling within an IFIM-type framework	Simulación de hábitat	- Francia					
Fish Rule Curve Method	Simulación de hábitat	- Canadá		Incluye periodos biológicamente significantes (BSP)			
Fleckinger Approach	Simulación de hábitat	- España					• Cubillo 1992
Flow Events Method	Holístico		• Stewardson 2001				• Cottingham et al. 2001 • Stewardson 2001
Flow indices from frequency analyses (unspecified)	Hidrológico	- Dinamarca					• Dunbar et al. 1998
Flow Translucency Approach	Hidrológico	- Australia	• Gippel 2001				• Gippel 2001
FLOWRESM	Holístico	- Australia					•

		- Sudáfrica					Arthington et al. 2000
Food-producing Habitat Retention Approach	Simulación de hábitat	- Nueva Zelanda					• Jowett 1997
FST-Hemisphere Benthos hydraulic modelling	Simulación de hábitat	- Alemania					• Statzner et al. 1990
HABIOSIM	Simulación de hábitat	- Canadá					
Habitat Duration Analysis	Simulación de hábitat	- Australia		Es el análisis de curvas de duración de hábitat. La media o algún otro percentil de la condición del hábitat es usada para representar las condiciones deseadas del hábitat.			
Habitat-based hydrological modelling linked to river system fish populations	Combinación	- Camboya		Modelado hidrológico, basado en el hábitat, que vincula las poblaciones de peces del sistema ripario			
Hall Fish Habitat Approach	Combinación		• Hall 1989 • Hall 1991, cited in Arthington & Pusey 1993				• Hall 1989 • Hall 1991, cited in Arthington & Pusey 1993
HAM	Holístico	- Australia					
Holistic Approach	Holístico	- Australia - India					
Holistic framework combining expert opinion, various criteria (unspecified), 7-point naturalness scale, elements of IFIM/PHABS IM	Combinación	- India	• Dunbar et al. 1998				• Dunbar et al. 1998
Holistic methodologies (DRIFT, BBM or similar)	Holístico	- Camboya - Mozambique - Namibia - Sri Lanka					
Hoppe and Finnell Method	Hidrológico	- Australia - Inglaterra - Irlanda	• Hoppe & Finnell 1970, cited in Stalnaker	El método usa una serie de valores de los porcentajes excedidos de las curvas de duración del flujo(FDC), derivados de varios	Este requiere registros diarios de descarga de un periodo adecuado (aprox. 20 años), la unidad de	Típicamente un solo grupo de Qs mínimo, calculó de los percentiles de las curvas de duración del flujo	• Dunbar et al. 1998 • Gordon et al.

			<p>&amp; Arnette 1976</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoppe &amp; Finnell 1973, cited in Stalnaker &amp; Arnette 1976</li> <li>• Hoppe 1975, cited in Growns &amp; Kotlash 1994</li> </ul>	<p>estudios empíricos de arroyos con salmónidos trucha ( varios estadios vida de la trucha), así como del Río Frying Pan, Colorado, EE.UU., para definir los requerimientos de los flujos ambientales. Los siguientes percentiles estándar son calculados: Q17,caudal de vaciado, para aclarar intersticios del substrato para peces que desova en la tierra (el flujo se mantiene por 48 horas para vaciar las basuras de las arenas gruesas); Q40 para mantener las condiciones del hábitat adecuadas para desove; Q80 para la producción de alimento y cubierta, y para mantener el hábitat mínimo disponible para los salmónidos. Se producen las ecuaciones que pueden ser usadas en relación con las áreas del drenaje, esto con los programas ' Curvefit' y Evaluate' desarrollados con base en las ecuaciones Q40 y Q80. El método ha sido aplicado para las pesquerías de salmónidos en el EE.UU. Parece ser uno de los primeros casos en el desarrollo de una metodología de flujos ambientales dónde se reconoció un vínculo entre los percentiles sobre curvas de duración del flujo (FDC) y las condiciones de un caudal favorable para la biota.</p>	<p>tiempo diaria es preferible para la construcción de las curvas de duración del flujo (FDC), la resolución se va perdiendo cuando las unidades de tiempo son más largas. Datos adicionales de la cuenca e información sobre el flujo y requerimientos de hábitat de especies de peces podrían también ser incorporados.</p>	<p>(FDC), para alcanzar las condiciones ecológicas/geomorfológicas para las especies objetivo de salmónidos</p>	<p>1992</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stalnaker &amp; Arnette 1976</li> <li>• Swales et al.1994</li> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> </ul>
Hydraulic Geometry- Discharge Relationships	Hidráulico	- Nueva Zelanda					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mosley 1992, cited in Jowett 1997</li> </ul>
Hydraulic habitat modelling	Simulación de hábitat	-República Checa					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blažková 1998</li> <li>• Bernadova &amp; Mrazek 1995, cited in Bernadova 1988</li> <li>• Bernadova &amp; Mrazek 1996,</li> </ul>

							cited in Bernadova 1988
Hydraulic habitat simulation modelling (EFMs from Netherlands)	- Hidráulico	- Moldavia					• Dunbar et al. 1998
Hydraulic-based methodologies (unspecified)	- Hidráulico	- Italia					• Vismara et al. 2001
Hydrograph Reconstruction Approach	Combinación	- Bélgica		Desarrollada para el Río Meuse, transfronterizo entre Holanda y Francia.			• Salverda et al. 1996
IFIM (and/or PHABSIM)	Simulación de hábitat	- Australia - EE.UU - Brasil - Canadá - Chile - Alemania - Corea del Sur - México - Puerto rico - Sudáfrica		Podría incluir los modelos hidrodinámicos 2-D/3-D			• Dunbar et al. 1998 • Scott & Shirvell 1987 • Shirvell 1986 • Tharme 1996
Integrated GIS-based habitat simulation model	Simulación de hábitat	- Holanda					• Semmekrot et al. 1996
Linked statistical hydraulic & multivariate habitat use models	Simulación de hábitat	- Francia					• Lamoroux et al. 1998 • Lamoroux et al. 1999
Low flow indices from FDC analysis (unspecified)	Hidrológico	- Dinamarca					• Dunbar et al. 1998
Managed Flood Releases Approach	Combinación	- Camerún - Kenya - Malí - Mauritania - Mozambique - Namibia - Nigeria - Senegal - Sri Lanka - Zambia	• Acreman et al. 2000				• Acreman et al. 2000
Mean Monthly Flow	Hidrológico	- Chile	• Gordon et al. 1992				
Means of recommended Qs derived from multiple methodologies	Otras	- Australia					• Green 1993, cited in Cross et al. 1994

Median Monthly Flow	Hidrológico	- Canadá	• Gordon et al. 1992				• Caissie & El-Jabi 1994
Microhabitat simulation models for large rivers (unspecified)	Simulación de hábitat	- Holanda					
Minimum Q of 50 litres s-1 or Q347 (with minimum depth=0.20 m, for Q>50 litres s-1)	Hidrológico	- Suiza					• Docampo & De Bikuña 1993
MNQ	Hidrológico	- Holanda					• Statzner et al. 1990
Modified Hoppe & Finnell Method	Hidrológico	- Australia		El método es acoplado con el análisis de las curvas de duración de flujo			
Modified HQI Method	Combinación	- Italia					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Annoni et al. 1996</li> <li>• Saccardo 1997, cited in Vigano et al. 1997</li> <li>• Benedini 1997, cited in Vigano et al. 1997</li> <li>• Rambaldi et al. 1997, cited in Vigano et al. 1997</li> <li>• Gentili et al. 1997, cited in Vigano et al. 1997</li> <li>• Bagnati et. al 1994, cited in Dunbar et. al 1998</li> <li>• Saccardo et. al. 1994, cited in Dunbar et. al. 1998</li> </ul>
Modified	Hidrológico	- Nueva					• Tierney

Tennant Method		Zelanda - España					1986 • Fraser 1978, cited in Tierney 1986
MORIMOR-HAFIMO Integrated model	Combinación	- Italia					• Peviani et al. 1996
MQ	Hidrológico	- Alemania					• Statzner et al. 1990
MTA	Simulación de hábitat	- Australia - Sudáfrica					• Dunbar et al. 1998
Multivariate biomass models	Otras	- España					
Newcombe's Methodology	Simulación de hábitat	- Canadá	• Newcombe 1981				• Newcombe 1981 • Tharme 1996
Northern Great Plains Resource Program (NGPRP) Method	Hidrológico	- Inglaterra - Irlanda - EE.UU	• NGPRP 1974, cited in Growns & Kotlash 1994	Las condiciones hidrológicas durante cada mes específico y para los periodos secos son descritas basados en los datos de flujos. Las descargas medias mensuales (del 70% de flujos anuales, es decir los años normales, asume que el otro 30% representa los flujos anormalmente bajos y altos; los límites superiores e inferiores son calculados usando una t-estadística) son evaluadas según la estacionalidad. Los valores del caudal promedio diarios Qs para un mes en particular, se ordenan de forma descendente, esto para todos los años de registro, de tal forma que se puede calcular la curva de duración del flujo (FDC) para un mes en particular; el procedimiento se repite para cada mes. Los flujos ambientales ( EFRs) son entonces establecidos como el 90% de valores excedidos, calculado de la curva de duración del flujo mensual, una serie mensual de flujos de preservación es generad, representando los requerimientos de flujos ambientales (EFR). El río en estudio es dividido	Serie de datos históricos actualizados de un periodo y calidad adecuados para la construcción de las curvas de duración de los flujos, que permiten calcular el índice de flujo a una escala mensual.	Recomendaciones de flujos mínimos como requerimientos de flujos ambientales	• Dunbar et al. 1998 • Growns & Kotlash 1994 • Kinhill Engineers 1988 • Stalnaker & Arnette 1976 • Tharme 1996 • Tharme in press (2003)

				en secciones basadas en afluentes que entran o salidas que alcanzan ser examinadas que el ser del alcance examinó, y los aportes o extracciones del 10% del flujo son hechas según los volúmenes de flujo. Los ajustes ascendentes son hechos para las épocas de desove y el periodo de escurrimiento primaveral.			
NPF (approx. 10 x OCFR value per 100 km2)	Hidrológico	- Japón					
NPFs calculated using various approaches (unspecified)	Combinación	- Japón					
OCFR (0.1-0.3 cm per 100 km2)	Hidrológico	- Japón					• Nakamura et al. 1994 cited in Nakamura 1999
Orth & Leonard Regionalisation Method	Hidrológico	- Australia - Italia - Nueva Zelanda - Inglaterra - Irlanda - EE.UU					
PHABSIM-based local physical habitat simulation tool	Simulación de hábitat	- Japón					• Nakamura et al. 1995, cited in Nakamura 1999 • Kim et al., 1996, cited in Nakamura 1999 • Kim 1997, cited in Nakamura 1999 • Nagarei 1998, cited in Nakamura 1999 • Nakamura S, pers. comm.

Physical (hydraulic) biotope-based approaches	Combinación	- Australia - Sudáfrica	• Stewardson & Gippel 1997	Grupo genérico de aproximaciones basado en el uso de la físico(hidráulico) del biotopos o similarmente definido como parches de hábitat			• Stewardson & Gippel 1997
Physical Habitat Analysis	Simulación de hábitat	- Australia					
PJ (case-specific)	Otras	- Australia - Canadá - Finlandia - Alemania - Namibia - Nueva Zelanda - Noruega - Sri Lanka - Suiza - EE.UU - Sudáfrica		Cualquier aproximación basada parcial o totalmente en el juicio profesional de especialistas que participan en una específica evaluación de flujo ambiental (EFA).			
Po River Basin Method (links between VHI, catchment variables & water quality)	Combinación	- Italia					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viganò et al. 1997</li> <li>• Binns 1982, cited in Viganò et al. 1997</li> <li>• Marchetti et al. 1991, cited in Viganò et al. 1997</li> <li>• Manciola et al. 1994, cited in Viganò et al. 1997</li> <li>• Saccardo et al. 1994, cited in Viganò et al. 1997</li> <li>• Cotta Ramusino et al. 1994, cited in Viganò et al. 1997</li> <li>• Saccardo 1997, cited in Viganò et al. 1997</li> <li>• Benedini 1997, cited in</li> </ul>

							Vigano et al. 1997 • Rambaldi et al. 1997, cited in Vigano et al. 1997 • Gentili et al. 1997, cited in Vigano et al. 1997
Q347	Hidrológico	- Italia - Alemania					• Crosa et al. 1988, cited in Ubertini et al. 1996
Q355	Hidrológico	- República Checa					• Bernadová 1998 • Bernadova & Mrazek 1995, cited in Bernadova 1988 • Bernadova & Mrazek 1996, cited in Bernadova 1988
Q80 of unregulated mean daily flow regime	Hidrológico	- Australia	• Gordon et al. 1992 • Smakhtin 2001				
Q90 (of regulated/unregulated flow)	Hidrológico	- Inglaterra	• Gordon et al. 1992 • Smakhtin 2001				• Caissie & El-Jabi 1994
Q95 based on mean monthly discharge	Hidrológico	- Bulgaria	• Gordon et al. 1992 • Smakhtin 2001				• Dacova et al. 2000
Q95 or a multiple thereof	Hidrológico	- Australia	• Gordon et al. 1992 • Smakhtin 2001				
Q96	Hidrológico	- Nueva Zelanda					• Jowett 1997 • Snelder et al. 1998 cited in Bragg et al. 1999 • Forlong 1994 cited in Jowett 1997
Quantitative	Simulación	- Austria					• Dunbar

fish habitat modelling (unspecified)	de hábitat						et al. 1998
Regionalisation of %AAFs from Tennant Method	Hidrológico	- Italia					• Casadei 1990, cited in Ubertini et al. 1996
Regionalisation of Q95 values, based on geology & catchment area	Hidrológico	- Italia					
RHABSIM	Simulación de hábitat	- Canadá - Japón					
RHYHABSIM	Simulación de hábitat	- Australia					
River 2D Model	Simulación de hábitat	- Canadá					• University of Alberta web site 2001
River Enxoe Approach (temporary rivers)	Combinación	- Portugal					• Bernardo & Alves 1999 • Ribeiro et al. 2000 • King J, pers. comm. • Alves H, pers. comm.
Robinson's 1969 Method	Hidrológico		• Robinson 1969, cited in Stalnaker & Arnette 1976	Ecuaciones generalizadas simples basadas en el caudales promedio mensual, la mediana y el caudal, Qs, más bajo (en pies cúbicos por segundo, (cfs)) y el área de drenaje (A) (en millas cuadradas, (m)) son usadas para determinar los requerimientos mínimos del flujo ambiental, para mantener las pesquerías máximas y moderadas del río: Q1 (para los valores de pesquería máxima) = 1.24 cfsm x A.; Q2 (para los valores de la pesquería moderada) = 0.36 cfsm x A. El método ha sido aplicado en el EE.UU. para recomendar flujos de pesquerías, por ejemplo en la cuenca del Río Connecticut.	Caudales promedio mensuales, mediana y caudales mínimos, provenientes de los registros históricos de flujo, además áreas de drenaje de la cuenca	Flujos mínimos para el mantenimiento de los valores requeridos por las pesquerías máximas o moderadas	• Stalnaker & Arnette 1976 • Tharme 1996 • Tharme in press (2003)
RQ Index of disturbance	Hidrológico	- Australia					

RSS (incl. HABITAT Model)	Simulación de hábitat	-Canadá - Suecia					
RVA (and/or IHA)	Hidrológico	- Australia - Canadá	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Richter et al. 1996</li> <li>• Richter et al. 1997</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Richter 2001</li> <li>• Richter et al. 1996</li> <li>• Richter et al. 1997</li> <li>• Tharme In prep</li> </ul>
Simple hydrological formulae (unspecified, desktop)	Hidrológico	- Noruega					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brittain &amp; Henning L'Abée-Lund 2001</li> <li>• Dunbar et al. 1998</li> <li>• Ziegler 1986, cited in Brittain &amp; Henning L'Abée-Lund 2001</li> </ul>
Singh Regionalisation Method	Combinación	- Italia					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vismara et al. 2001</li> </ul>
Snowy Inquiry Methodology	Holístico	- Australia					
SPAM	Holístico	- Australia					
Studies relating fisheries data to environmental variables	Otras	- Italia					
Tennant Method	Hidrológico	- EE.UU - Australia - Canadá - Portugal - Inglaterra - Irlanda - Sudáfrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tennant 1976</li> </ul>	Es un método de escritorio para el cálculo del flujo ambiental, aunque el trabajo de campo limitado es algunas veces entendibles, pretendió dirigir los flujos ambientales para peces, fauna, recreación y recursos ambientales relacionados. Ya en 1989, se reportó como el segundo método más ampliamente utilizado en América del Norte (se usó rutinariamente en 16 Estados. Desde entonces, se volvió la metodología hidrológica más comúnmente aplicada en el mundo; por lo menos 25 países han aplicado el método original, una forma modificada de éste se basa en varios criterios hidrológicos,	Datos históricos de flujos. En ríos calibrados o medidos, las estimaciones del flujo medio anual pueden ser obtenidas fácilmente de los registros de flujo, mientras para los sitios no calibrados o medidos, el flujo medio anual (MAF) puede estimarse sin mucha dificultad, usando un rango de técnicas hidrológicas aceptadas (por ejemplo el Gordon et al. 1992). Información adicional, por	Los porcentajes de flujos promedio anual correspondientes a una deseada futura condición del río, típicamente en la forma de preservación y supervivencia de flujos mínimos en una base semestral, estacional, y menos común mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alves &amp; Henriques 1994</li> <li>• Dunbar et al. 1998</li> <li>• Elser 1972</li> <li>• Espegren 1998</li> <li>• Estes 1996</li> <li>• Gordon et al. 1992</li> <li>• Growns &amp; Kotlash 1994</li> <li>• Loar &amp; Sale 1981</li> <li>• Mosley 1983</li> <li>• Newcomb et al. 1981</li> </ul>

				geomorfológico, ecológico de la cuenca (por ejemplo las modificaciones de Tessman y Bayha); la modificación del método para el uso en Alaska, con la adición del conocimiento de especialistas sobre periodicidad de peces, estimación de la duración de flujo, y uso de un índice hidrológico simple (Estes 1996)), o simplemente ha utilizado varios porcentajes (a menudo arbitrariamente designados) o rangos de flujo medio anual (MAF). Su centro es una estructura que une 7 categorías de régimen de flujos base, recomendados, expresados como los porcentajes del flujo medio anual (MAF o AAF) sobre una base semestral o estacional, para diferentes niveles de la condición del río (para peces, fauna, la recreación, otros recursos ambientales). Los rangos categorías severa degradación (10% MAFa flujo cero), a través de "pobre o mínimo" a 10% MAF, hasta "rango óptimo" de 60-100% MAF. Los requerimientos del vaciado son presentados por un 200% del MAF asignado en periodos semestrales. Los porcentajes de AAF que son aplicados son dependientes de las condiciones del caudal de cada río en particular. Puede usarse información suplementaria que apoyen los requerimientos del flujo ambiental (EFR).	ejemplo, fotografías de las áreas de hábitat expuestos a varios Qs correspondientes a valores de flujo medio anual recomendados, o datos ecológicos pueden ser usados para reforzar la evaluación del flujo ambiental (EFA).		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orth &amp; Leonard 1990</li> <li>• Orth &amp; Maughan 1981</li> <li>• Prewitt &amp; Carlson 1980</li> <li>• Reiser et al. 1989a</li> <li>• Richardson 1986</li> <li>• Richter et al. 1997</li> <li>• Stalnaker &amp; Arnette 1976</li> <li>• Tharme 1996</li> <li>• Tharme 1997</li> <li>• Tharme 2000</li> <li>• Wesche &amp; Rechar 1980</li> <li>• Caissie 1995, cited in Dunbar et al. 1988</li> <li>• Tharme in press (2003)</li> <li>• Lamb 1989</li> </ul>
Tessman Modification of Tennant Method	Hidrológico	- Canadá	• Dunbar et al. 1998				• Dunbar et al. 1998
Texas Method	Hidrológico	- Australia - Portugal - EE.UU - España					
Thomson River Fish Habitat-Flow	Combinación	- Australia	• Gippel et al. 1994				• Gippel et al. 1994

Approach							
Threshold components of flow regime-based approaches	Combinación	- Australia	• Cooney 1994b, cited in Cross et al. 1994	Varios, algunas aproximaciones parcialmente holísticas que involucran estudios de componentes del umbral del régimen de flujo.			• Cooney 1994b, cited in Cross et al. 1994
Two-level Seasonal Modified Tennant Method (with PJ)	Hidrológico	- Canadá	• Scruton & LeDrew 1996				• Scruton & LeDrew 1996
Various expert panel approaches	Holístico			Varios paneles de expertos basados en aproximaciones.			• Cottingham et al. 2002
Various FDC percentiles (incl./excl. ecological and/or geomorphological data)	Hidrológico	- Australia		Las aproximaciones pueden incluir el uso de datos ecológico y geomorfológico			• Gordon et al. 1992 • Smakhtin 2001
Various percentages of pre-regulation MAR (e.g. 10%, 22%)	Hidrológico	- Australia					
VHI	Hidrológico	- Australia - Austria - Bélgica - República Checa - Suecia - Suiza - EEUU - España - Sudáfrica					• Mattas D, pers. comm.
VHI (use of PAWN Hydrological Model/other Methods)	Hidrológico	- Holanda					• Dunbar et al. 1998
WAMP Expert Panel Method	Holístico	- Australia					
Washington Base Flow Methodology	Hidrológico	- EEUU	• Stalnaker & Arnette 1976	Esta Aproximación básicamente involucra una valoración de los parámetros del río como la fauna, pesquerías y calidad del agua, para llegar a una valoración numérica de importancia. Las valoraciones de los promedios de los parámetros se ingresan a una conversión nomógrafa, para leer directamente un percentil de la curva de duración del flujo. Este percentil es entonces traducido usando la curva de duración de	Los datos hidrológicos para la generación de las Curvas de duración del flujo (FDCs). Algunos datos ecológicos del río en estudio, incluyendo por ejemplo, datos de las pesquerías, calidad de agua y fauna dependiente del agua.	Probablemente un grupo de caudales mínimos, Qs, calculados desde los percentiles de las curvas de duración de flujos	• Dunbar et al. 1998 • Stalnaker & Arnette 1976 • Tharme 1996 • Tharme in press (2003)

				flujo, basado en los registros de flujos reales, a los flujos de la base actual.			
Wetted Perimeter Method	Hidráulico	- Australia - Canadá - Italia - Nueva Zelanda					
Wimmera River Habitat-based Approach	Combinación	- Australia	• Arthington & Pusey 1993	Aproximaciones que se enfocan principalmente sobre el hábitat de peces, también incluyen calidad del agua y descarga experimental de flujos			• Arthington & Pusey 1993
WSP Hydraulic Model (with PJ)	Simulación de hábitat	- Canadá					• Reiser et al. 1989a • Tharme 1996