

UCH-FC  
Q-Ambiental  
B 276  
C.1



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS

**“Estudio Sobre la Aplicabilidad en Chile de la Guía  
Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para  
Centrales Hidroeléctricas en el Sistema de Evaluación de  
Impacto Ambiental (SEIA)”**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento  
parcial de los requisitos para optar al Título de

**Químico Ambiental.**

**Carolina del Pilar Barrios Montencino**

Director Seminario de Título: M.Cs Gustavo Salinas  
Profesor Patrocinante: PhD Cecilia Labbé

Mayo 2016  
Santiago de Chile

**ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE**



## INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por la candidata:

### **CAROLINA BARRIOS MONTECINO**

“Estudio Sobre la Aplicabilidad en Chile de la Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)”

Ha para sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos optar al Título de Químico Ambiental.

**Director Seminario de Título:**

*M.Cs. Gustavo Salinas*

---

***Comisión Revisora y Evaluadora***

**Presidente Comisión:**

*M. Cs. Ricardo Serrano*

---

**Evaluador:**

*Julio Hidalgo*

---

Santiago de Chile, Mayo de 2016



Nací un 7 de enero 1989 en la ciudad de Santiago y fui la primera hija de Patricia Montecino e hija única hasta los 8 años, cuando nació mi única hermana Carla.

Crecida y criada en la ciudad de Santiago, estude mi enseñanza básica en un colegio de monjas, del cual tengo buenos recuerdos, no precisamente relacionados a la religión pero si de las personas, para luego cursar mi enseñanza media en el Instituto Claudio Matte, en donde conocí a grandes amigas.

Mis gustos siempre fueron inclinados hacia el área científica y es así que decidí estudiar inicialmente Licenciatura en Química. Sin embargo, una vez en la Facultad, conocí la carrera de Química Ambiental, la cual me pareció muy interesante y decidí cambiarme. Para mi felicidad aún considero que fue una muy buena decisión.

Es en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile donde conocí a mucha gente importante, grandes personas que me han ayudado a mejorar día a día, mención especial a mi pareja Patricio Mandujano, que me ayudado como nunca nadie, en tantas cosas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

<b>I. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generación Eléctrica en Chile.....	1
1.1.1 Centrales Hidroeléctricas.....	2
1.1.2 Impacto Ambiental de las Centrales Hidroeléctricas.....	4
1.1.3 Medidas de Mitigación.....	6
1.2 Caudal Ecológico.....	7
1.2.1 Normativas relativas al caudal ecológico.....	7
1.3 Caudal Ambiental.....	8
1.4 Hipótesis.....	10
1.5 Objetivos.....	10
1.5.1 Objetivo General.....	10
1.5.2 Objetivos Específicos.....	11
<b>II Metodología.....</b>	<b>12</b>
2.1 Análisis Bibliográfico.....	12
2.1.1 Guías Metodológicas.....	12
2.1.2 Análisis de declaraciones y estudios de proyectos hidroeléctricos presentados en el SEIA.....	13
2.2 Análisis comparativo entre las metodologías propuestas por las guías de la DGA y la guía propuesta por el SEA.....	14
2.3 Determinar la aplicabilidad de la metodología del SEA a los sistemas fluviales chilenos mediante la aplicación de la guía a proyectos evaluados en el SEIA.....	14
2.3.1 Selección de los proyectos.....	14
2.3.2 Aplicación de las metodologías propuestas en la guía del SEA a los	

proyectos seleccionados.....	15
<b>III Resultados y Discusión.....</b>	<b>16</b>
3.1 Análisis de metodologías y normativas en documentos oficiales.....	16
3.1.1 Contexto en la determinación del caudal ecológico en Chile.....	16
3.1.2 Análisis del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (Manual DGA).....	18
3.1.3 Análisis de la guía Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación (Guía DGA).....	24
3.1.4 Análisis de la Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para centrales Hidroeléctricas en el SEIA (Guía SEA).....	26
3.1.5 Análisis comparativo entre las metodologías propuestas por las guías de la DGA y la guía propuesta por el SEA.....	31
3.1.6 Tópicos identificados solo en la guía de la DGA.....	40
3.1.7 Tópicos identificados solo en la guía del SEA.....	41
3.1.8 Determinación caudal ecológico o ambiental.....	41
3.2 Breve comparación entre la Guía del SEA y la Guía de Caudales Ecológicos de Nueva Zelanda (NZ).....	50
3.3 Aplicación de la guía del SEA a proyectos hidroeléctricos.....	54
3.3.1 Descripción proyecto hidroeléctrico Alto Maipo.....	54
3.3.2 Descripción proyecto hidroeléctrico Los Aromos.....	56
3.3.3 Aplicación de la Guía del SEA a los proyectos descritos.....	58
3.4 Reflexiones finales.....	62
<b>IV Conclusiones.....</b>	<b>64</b>
<b>V Bibliografía.....</b>	<b>66</b>
<b>VI Anexo A.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	Valoración del río y su ecosistema de acuerdo a los tipos de usos antrópicos que se desarrollan en el AI.....	45
<b>Tabla 2:</b>	Valoración ecológica del río en función de la presencia de especies nativas con o sin categoría de conservación, o con especies introducidas en el AI.....	45
<b>Tabla 3:</b>	Valoración del río y su ecosistema de acuerdo a la calidad medioambiental en el AI.....	46
<b>Tabla 4:</b>	Valoración conjunta de la calidad del sistema.....	46
<b>Tabla 5:</b>	Clases de alteración de la magnitud hidrológica esperada, producto de la operación de la central. $IAH_M$ se define como la razón entre el caudal máximo turbinable ( $Q_{MT}$ ) y el caudal medio anual ( $Q_{MA}$ ) en régimen actual.....	47
<b>Tabla 6:</b>	Valoración del impacto esperado en la temporalidad del hidrograma de acuerdo al tipo de obra de captación del proyecto hidroeléctrico.....	48
<b>Tabla 7:</b>	Valoración de la potencial alteración del gasto sólido producto de la central Hidroeléctrica.....	48
<b>Tabla 8:</b>	Valoración conjunta de la alteración hidromorfológica esperada por el Proyecto.....	49
<b>Tabla 9:</b>	Identificación del grupo de métodos adecuados a implementar en el estudio de caudales ambientales considerando la valoración de la calidad del sistema y la alteración hidromorfológica esperada, producto de la operación del proyecto hidroeléctrico.....	49
<b>Tabla 10:</b>	Métodos utilizados para la determinación del caudal ecológico en	

	la guía de Nueva Zelanda.....	52
<b>Tabla 11:</b>	Puntajes obtenidos para los proyectos en estudio, al aplicar la guía del SEA.....	61
<b>Tabla 12:</b>	Caudales mensuales de un río de ejemplo.....	69
<b>Tabla 13:</b>	Valores de caudales mensuales para el 20% Qma, Caudal ecológico definido y 50% del 95 % de la probabilidad de excedencia.....	70
<b>Tabla 14:</b>	Valores finales de caudal ecológico.....	70
<b>Tabla 15:</b>	Valores de caudales mensuales para el 20% Qma, Caudal ecológico definido y 50% del 95 % de la probabilidad de excedencia.....	71
<b>Tabla 16:</b>	Valores de caudal ecológico establecidos para los distintos meses del año.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Número de Centrales Hidroeléctricas por región, con estudios ambientales disponibles en el SEIA.....	2
<b>Figura 2:</b>	Representación de una Central Hidroeléctrica de tipo Embalse.....	3
<b>Figura 3:</b>	Representación de una Central hidroeléctrica de Pasada.....	4
<b>Figura 4:</b>	Tipos de centrales Hidroeléctricas instaladas en Chile a partir de 1995.....	4
<b>Figura 5:</b>	Cantidad proyectos hidroeléctricos aprobados ingresados al SEIA a través de DIA o EIA.....	30
<b>Figura 6:</b>	Ejemplo de hidrograma con el total de los caudales estimados para cada AIE.....	43
<b>Figura 7:</b>	Caudal mínimo ecológico con referencia en un caudal basal.....	44
<b>Figura 8:</b>	Ubicación proyecto hidroeléctrico Alto Maipo.....	55
<b>Figura 9:</b>	Ubicación Central hidroeléctrica Los Aromos.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS

CEA: Centro de Ecología Aplicada.

DGA: Dirección General de Agua.

DIA: Declaración de Impacto Ambiental.

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

MW: Mega Watts

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

MOP: Ministerio de Obras Publicas.

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental.

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

SIC: Sistema Interconectado Central.

SING: Sistema Interconectado del Norte Grande.

RCA: Resolución de Clasificación Ambiental.

## RESUMEN

Las centrales hidroeléctricas representan la segunda mayor fuente de generación eléctrica en Chile, equivalente a un 32,4% del total de la energía producida en el país al año 2015.

Si bien la energía hídrica es una energía renovable limpia (ERL), no está exenta de generar impactos al medio ambiente, los cuales están asociados principalmente a la fase de construcción de la central, pero también a la operación, dependiendo fuertemente del tipo de central que se construya y del contexto ecológico que la rodea.

Con el fin de mitigar uno de los impactos provocados por las centrales hidroeléctricas, la Dirección General de Aguas (DGA) regula y fiscaliza el caudal ecológico, definido como “el caudal que debe mantenerse en un curso fluvial o en específico en cada sector hidrográfico, de tal manera que los efectos abióticos (como la disminución del perímetro mojado, velocidad de la corriente, incremento en la concentración de nutrientes, entre otros) producido por la reducción del caudal no altere las condiciones naturales del cauce, impidiendo o limitando el desarrollo de los componentes bióticos del sistema (flora y fauna), como tampoco alteren la dinámica y funciones del ecosistema” (Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recurso Hídricos, 2008).

Si bien la DGA tiene definido el caudal ecológico, han surgido diferentes opiniones al respecto debido a que no existe un criterio único para definir qué factores o metodologías se deben considerar para su determinación. A raíz de lo anterior el Ministerio del Medio Ambiente en conjunto con el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) han elaborado la “Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas En El SEIA”, con el fin de normalizar los criterios para la determinación del régimen de caudal en proyectos de centrales hidroeléctricas que se sometan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

La guía se encuentra en fase de consulta y han surgido dudas y críticas que apuntan principalmente a que en el corto plazo existirán dos instrumentos diferentes, de

dos servicios y ministerios distintos, regulando un mismo componente de evaluación ambiental, lo que generaría confusión al respecto.

En base a los antecedentes mencionados, el presente Seminario de Título se propuso estudiar la metodología señalada en la “Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA” a objeto de determinar su real aplicabilidad a los proyectos hidroeléctricos en el país.

Para esto se realizó una comparación entre la guía del SEA y la guía perteneciente a la DGA denominada “Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación”, y a su vez se aplicó la guía del SEA a dos proyectos hidroeléctricos, a fin de evaluar su aplicabilidad a casos reales.

Se concluyó que ambas guías no difieren significativamente en su implementación, por lo que tener dos guías de dos servicios gubernamentales, regulando el mismo tópico, solo generará confusión y dificultad en el proceso de evaluación ambiental, y a la larga no soluciona el problema de base que es tener un reglamento claro y específico para la determinación del caudal ecológico y/o ambiental.

## ABSTRACT

The hydroelectric power plants represent the second mayor electric generation source in Chile, this is about 32.4% of whole energy produced in the country in 2015.

Hydrological power is a renewable and clean energy resource, but it is not exempt of environmental impact issues, which ones are mainly associated to building stages of the power plant and also on the operation of itself, depending the size of the plant and the environmental context.

With the aim to reduce one of the environmental impact associated to this kind of power plant, the water general direction (DGA) in Chile regulates and supervises the determined ecological flow, which is defined as “the flow have to have in a stream or specific hydrographic area, so the abiotic effects (such as decreasing wet perimeter, stream speed, increasing of nutrients concentration, between others) produced by the reduction of flow does not alter neither natural conditions of riverbed, blocking or restricting the biotic components development (flora and fauna) of the environmental system nor altering the dynamics and functions of the ecosystem (Guidelines and procedures for hydrological resources management, 2008).

Despite DGA already have defined the ecological flow issues, it have appeared different critiques about it because there is not a unique criteria to define what factors or methodologies are more important for ecological flow determination. Because of that, the Environmental Ministry of Chile with Environmental Evaluation Service (SEA) have elaborated a guideline with the aim to help to determine the environmental flow, named “Methodological Guideline to Determine the Environmental Flow for Hydroelectric Power Plants in the SEIA” and the its main objective is normalize the criteria for determination of environmental flow in hydroelectric power plant project valued by environmental impact evaluation system (SEIA).

The guideline is in an enquiry phase and here is where all doubts and critiques appeared focusing in the fact that soon two guidelines coming from two different

government departments will regulate the same component in the project environmental evaluation, that would provoke confusion about it.

According the previous antecedents, this professional title seminar have as an aim studying deeply the “Methodological Guideline to Determine the Environmental Flow for Hydroelectric Power Plants in the SEIA” and specifically the proposed methodologies in order to determine the real applicability to the hydroelectric power plants projects in Chile.

For accomplish these objectives, it will compare between new SEA guideline and the previous DGA guideline named “Determination of ecological flow in river beds with native and conserved ichthyo fauna”, and after that apply the SEA guideline in two hydroelectric power plants projects in order to test its applicability in real cases.

Concluding comparison, it is possible to define that both guidelines does not have significant differences in its implementation, so it is not suitable having two environmental evaluation tools coming from two different government departments regulating the same topic, it is confusing and obstruct the environmental evaluation process. And in the end, the SEA guideline does not improve the methodologies critiques presented in previous DGA guideline.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Generación Eléctrica en Chile.

Al mes de Agosto de 2015, la potencia instalada de generación eléctrica, entre el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), alcanzaba a 19.911,5 Mega Watts (MW), equivalente a más del 99% de la capacidad generadora instalada en Chile (Los sistemas eléctricos de Aysén y Magallanes representan menos del 1 % de la capacidad instalada total). Del total de energía generada, 60,5 % proviene de **centrales termoeléctricas** y 32,4 % la generan las **centrales hidroeléctricas**, (Boletín de mercado eléctrico, Generadoras de Chile, 2015).

De acuerdo con lo anterior, la principal fuente energética de generación eléctrica proviene de combustibles fósiles (carbón y derivados de petróleo), los cuales están relacionados directamente a la contaminación del medio ambiente y al impacto que esto conlleva a los ecosistemas circundantes, motivo por el cual generan un gran rechazo por parte de la comunidad (Guía de Aspectos Ambientales Relevantes para Centrales Termoeléctricas, Superintendencia del Medio Ambiente, Enero 2014).

Otro problema de las centrales termoeléctricas recae en que los combustibles usados para su operación son importados casi en su totalidad, debido a que a nivel nacional la producción de éstos es muy baja (Chile Sustentable, 2004)

En contraste, la energía hidráulica es considerada una **energía renovable**, es decir, su suministro es regenerado a escala de tiempo humana. Cabe señalar que Chile es un país beneficiado con grandes reservas de este recurso en una parte importante de su territorio, principalmente desde la Región del Maule hasta la Región de Aysén, donde se ha estimado que este potencial superaría los 9000 MW (Estrategia Nacional de Energía 2012- 2030, Ministerio de Energía, 2012)

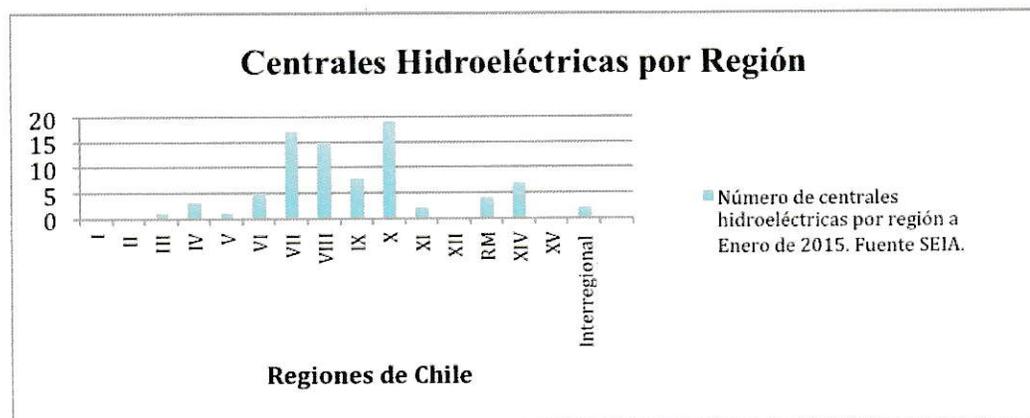
Las energías renovables se dividen en **convencionales** y **no convencionales** dependiendo del desarrollo tecnológico que utilizan.

Dentro de las convencionales, las más importantes son las **centrales hidroeléctricas a gran escala**, es decir aquellas con una potencia instalada sobre los 20 MW.

A su vez, las Energías Renovables no Convencionales (ERNC) en Chile corresponden a la generación a través del uso de biomasa, biogás, fuerza eólica, pequeñas hidroeléctricas (centrales hasta 20 MW), geotermia, solar y mareomotriz (Ministerio de Energía, Energías renovables, 2015).

### 1.1.1 Centrales Hidroeléctricas.

La construcción de centrales hidroeléctricas comenzó en 1897 con la puesta en marcha de la central Chivilingo en Lota, Región del Biobío, con el fin de iluminar las áreas y obras asociadas a las minas de carbón. Desde entonces, el número de centrales ha ido en aumento llegando en 2014 a 126 centrales en operación (SIC, SING y Sistema de Aysén, 2014). La gran mayoría de estas centrales se encuentran desde la VI Región hacia el sur, y mayoritariamente entre la VIII y X Región (Figura 1).

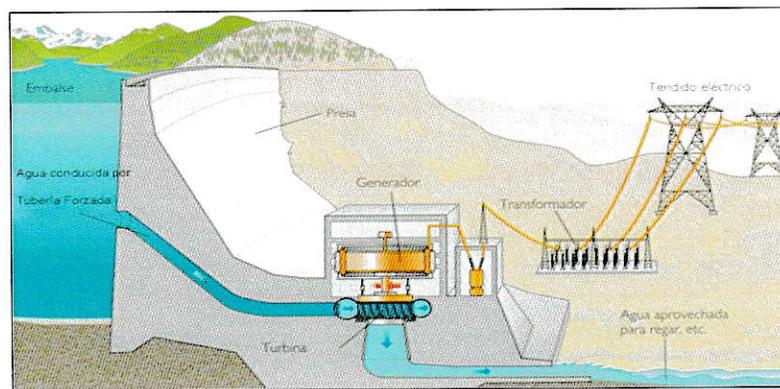


**Figura 1:** Número de centrales hidroeléctricas por región, con estudios ambientales disponibles en el SEIA.

### 1.1.1.1 Tipos de Centrales Hidroeléctricas.

En Chile no existe una clasificación oficial de los tipos de centrales hidroeléctricas, pero informalmente se suele clasificarlas en base a diferencias en su estructura, funcionamiento y tecnología en los siguientes tipos:

- **Central de embalse.** Almacena agua de un río u otro cuerpo fluvial mediante la construcción de una represa, desde donde el flujo de agua es llevado por una tubería hacia las turbinas, las que se ponen en movimiento, activando así el generador para producir electricidad (Figura 2).

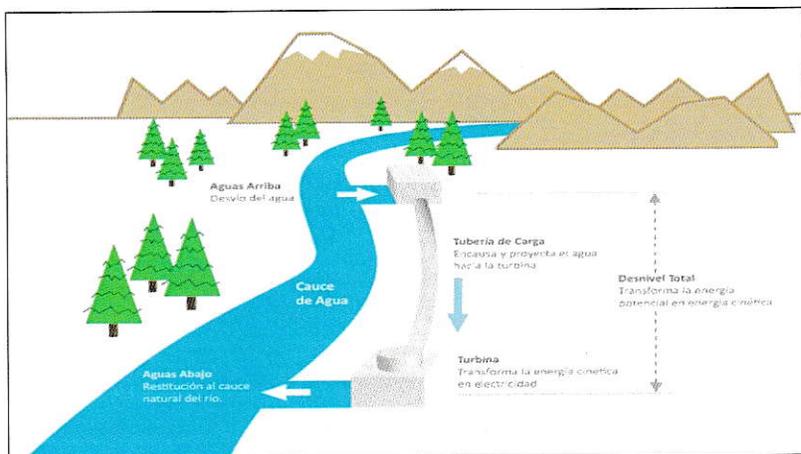


**Figura 2:** Representación de una Central Hidroeléctrica de tipo Embalse. (Ecovive 2010).

A raíz de la construcción de una central de embalse, puede surgir otro tipo de central denominada.

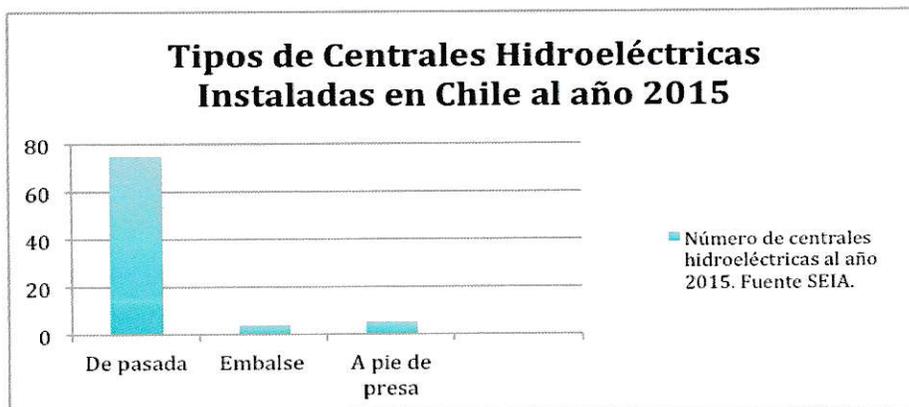
- **Central a pie de embalse.** Este tipo de central utiliza el agua del embalse para generar la energía y restituye el agua ya sea a un cauce natural o artificial (canal de riego; SEA, 2012)
- **Centrales de pasada.** Captan una parte del caudal del río a través de la construcción de una bocatoma la cual dirige el agua a través de un túnel o tubería

a la sala de turbinas, para finalmente devolver el agua a su curso natural (Figura 3).



**Figura 3:** Representación de Central hidroeléctrica de pasada. Fuente: Goodenergy

En Chile el principal tipo instalado a partir de 1995 son las centrales hidroeléctricas de pasada, como se puede observar en la figura 4.



**Figura 4:** Tipos de centrales hidroeléctricas instaladas en Chile desde 1995 hasta 2015.

### 1.1.2 Impacto Ambiental de las Centrales Hidroeléctricas.

Si bien la energía hídrica es una energía renovable limpia (ERL), no está exenta de generar otro tipo de impactos al medio ambiente circundante, los que están asociados

principalmente a la fase de construcción de la central, pero también a la operación, dependiendo fuertemente del tipo de central que se construya y del contexto ecológico que la rodea.

**Fase de Construcción.-** Los impactos directos que se presentan, están relacionados a:

- La instalación de maquinarias.
- El uso de camiones para el traslado de materiales.
- Construcción de nuevos caminos.
- Desplazamiento temporal o permanente de los residentes del área de influencia.
- Cambio en el paisaje que impacta fuertemente a las comunidades aledañas (Hidroelectric Power: A Guide for Developers and Investors, International Finance Corporation, IFC, 2015).

Si la central hidroeléctrica a construir, corresponde a una de tipo embalse, el impacto asociado será mucho más fuerte ya que implica la inundación de un área de terreno lo que conlleva la alteración del hábitat en la zona de construcción. Esto muchas veces involucra reasentamiento de poblados, pérdida de terrenos agrícolas, forestales, humedales, etc. (International Finance Corporation, IFC, 2015)

**Fase de Operación.-** Una vez que entran en operación, los impactos son principalmente en:

- Disminución del caudal del río, que podría alterar el ecosistema tanto acuático como terrestre.
- Alteración en los sedimentos debido a problemas de arrastre de estos a través del cauce del río a raíz de la intervención de la central.
- Impactos sociales y económicos relacionados al uso del río por parte de comunidades aledañas (asociados a los cambios del caudal que este puede experimentar).

**Impactos a largo plazo.-** Los que se han descrito están relacionados principalmente a las centrales de tipo embalse donde se destaca:

- Bioacumulación de metilmercurio,
- Emanación de gases de efecto invernadero (Metano y Dióxido de Carbono)
- Alteración de la dinámica hidrológica (caudal, sedimentos, régimen hídrico)
- Limitación de la biodiversidad. (International Center for Environmental Management , 2010)

### **1.1.3 Medidas de Mitigación.**

Si bien los impactos ambientales asociados a las centrales hidroeléctricas pueden ser importantes, como en el caso de las centrales de tipo embalse, en todos los proyectos existen medidas de mitigación asociadas, que van a depender del tipo de proyecto y de su buena implementación, reduciendo así de manera efectiva los problemas antes mencionados (Medidas de Mitigación Ambiental Asociadas a Proyectos Hidroeléctricos, Banco Interamericano de Desarrollo, 2008).

Las medidas de mitigación se pueden dividir en medidas sociales y ambientales.

**Medidas Sociales.-** Entre las más utilizadas por los proyectos hidroeléctricos, se encuentran:

- Reubicación de poblados.
- Habilitación de Servicios de Salud.
- Uso de mano de obra local.

**Medidas Ambientales.** Estas consideran:

- Creación de áreas silvestres protegidas (en un sector aledaño a la central).
- Reubicación de la fauna de la zona afectada.
- Reforestación de bosques intervenidos.
- Transportes de materiales de construcción por vías marítimas para evitar el uso de vías locales (si es posible).
- Control de la contaminación del aire y el agua.
- Determinar un caudal ecológico en el cauce a intervenir con el fin de no afectar el ecosistema acuático (International Finance Corporation, 2015).

## **1.2 Caudal Ecológico.**

En el caso particular del caudal ecológico, como medida de mitigación, en Chile es regulado y fiscalizado por la Dirección General de Aguas (DGA) en el momento de otorgar derechos de aprovechamiento de aguas para uso no consuntivo.

La DGA define el caudal ecológico como “el caudal que debe mantenerse en un curso fluvial o en específico en cada sector hidrográfico, de tal manera que los efectos abióticos (como la disminución del perímetro mojado, velocidad de la corriente, incremento en la concentración de nutrientes, entre otros) producido por la reducción del caudal no altere las condiciones naturales del cauce, impidiendo o limitando el desarrollo de los componentes bióticos del sistema (flora y fauna), como tampoco alteren la dinámica y funciones del ecosistema” (Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recurso Hídricos, 2008).

### **1.2.1 Normativas relativas al caudal ecológico.**

A raíz de la modificación del Código de Aguas en 2005, la DGA publica en 2008 el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, con el fin de mejorar el antiguo manual (publicado el 2002).

Este manual incluye instrucciones precisas para la estimación del caudal ecológico a partir de criterios hidrológicos que se basan en el análisis de registros estadísticos de caudales. A su vez y en paralelo, ese mismo año la DGA publica en conjunto con el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Centro de Ecología Aplicada (CEA) el estudio “Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación”. En este estudio se propone un modelo conceptual para determinar el caudal ecológico de un río, con un enfoque multiescalado y jerárquico.

En la actualidad los proyectos hidroeléctricos que ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en general cuentan con los derechos de agua y por ende, con un valor de caudal ecológico definido por la DGA en base a cálculos

matemáticos e hidrológicos detallados en el manual del 2008. Sin embargo, este procedimiento no considera las características ecológicas del cuerpo de agua sobre el cuál se otorgan los derechos de agua, como tampoco las comunidades, tanto humanas como biológicas, presentes en el área de influencia del proyecto.

Aunque en la presentación de estudios o declaraciones ambientales en el SEIA se suele utilizar el estudio “Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación, para la determinación del caudal ecológico en el marco del SEIA”, el cual considera las características ecológicas y el área de influencia del proyecto, este no es de carácter obligatorio.

Por último, en septiembre del año 2009 la DGA publica la Minuta Técnica N° 173 con los lineamientos y criterios sobre pronunciamientos de la Dirección General de Agua, en materia de caudal ecológico, en el marco del SEIA.

Dicha minuta nace debido a que dentro del SEIA los requerimientos respecto a cómo establecer los procedimientos para determinar los caudales ecológicos, tanto por parte de titulares de proyectos, como de otros servicios públicos, no estaban del todo claros y se generaba distintas opiniones de cómo abordar este tema. En la minuta, se menciona el control sectorial que tiene la DGA el cual le permite, a través del Código de Aguas y del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, establecer caudales ecológicos dentro del proceso de otorgamiento de derechos de aguas.

### **1.3 Caudal Ambiental.**

Si bien la DGA tiene definido el tema del caudal ecológico, el Servicio Nacional de Pesca (organismo con competencia ambiental sobre la protección de especies de fauna íctica protegidas) solicita, en el proceso de evaluación ambiental de proyectos hídricos, la implementación de metodologías de cálculo de caudal ecológico que considere factores adicionales a los definidos por la DGA.

Esto genera incertidumbre y poca claridad en los procesos de evaluación ambiental, particularmente debido a que no existe un criterio único para definir qué

factores o metodologías adicionales se debe considerar para responder a la solicitud del Servicio Nacional de Pesca, provocando que los métodos utilizados y la profundidad de los estudios varíen de proyecto a proyecto (Introducción Al Cálculo de Caudales Ecológicos, Endesa, 2011).

Bajo este panorama, el SEA en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente proponen la creación de una guía con el objetivo que regularice y estandarice el problema de la determinación del caudal ecológico, bajo un solo criterio.

Como consecuencia de esto, se dictamina la elaboración de una guía para el cálculo del “caudal ambiental”, término utilizado por el SEA equivalente al caudal ecológico ya regulado por la DGA.

La definición utilizada de caudal ambiental está de acuerdo a la declaración de Brisbane (julio de 2007) en donde se especifica que es “el flujo de agua, el momento de su aplicación y la calidad de esta que precisa para mantener los ecosistemas de agua dulce y de los estuarios, así también como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen del ecosistema”.

La guía es denominada “Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA” y el objetivo de esta es normalizar los criterios para la determinación del régimen de caudal ambiental en proyectos de centrales hidroeléctricas que se sometan al SEIA.

Actualmente esta guía se encuentra en fase de consulta y es en esta etapa donde han surgido muchas dudas y críticas por parte, entre otros, de la Asociación de Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas (APEMEC) y La Asociación Gremial de Generadoras de Chile (AGG).

Las dudas apuntan principalmente a que en el corto plazo existirán dos instrumentos diferentes, de dos servicios y ministerios distintos, regulando un mismo componente de evaluación ambiental, lo que generaría confusión al respecto.

Como propuesta para evitar este problema, las asociaciones APEMEC y AGG han solicitado que se fije un solo criterio, ya sea que se mantenga el caudal ecológico o

este sea reemplazado por el caudal ambiental, pero que en definitiva exista un solo instrumento de evaluación al respecto con lineamientos claros y precisos.

Otra crítica, importante de mencionar, está enfocada a la relación de los criterios y metodologías que la guía propone, ya que estos provienen principalmente de experiencias y publicaciones en el extranjero y no se considera la experiencia y metodologías aplicadas en Chile. Además, no hay certeza que los métodos mencionados sean aplicables en nuestra realidad geográfica y social.

En base a los antecedentes mencionados incluyendo las dudas y críticas que rodean la publicación de la nueva guía del SEA, es que el presente seminario de título tiene como finalidad Analizar detalladamente la “Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA”, en específico las metodologías que en ella se señalan, con el fin de poder determinar su aplicabilidad a los proyectos hidroeléctricos en el país.

#### **1.4 Hipótesis**

La guía Metodológica elaborada por el SEA y el Ministerio del Medio Ambiente “Para determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA”, representa una mejora significativa en los estándares de evaluación de potenciales impactos ambientales de proyectos de generación hidroeléctrica en comparación al procedimiento establecido por la DGA para el cálculo del caudal ecológico.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo General**

Analizar la aplicabilidad y el alcance de la guía que propone el Servicio de Evaluación Ambiental, como medida para mitigar los impactos que generan las centrales hidroeléctricas de modo de determinar si es una metodología adecuada en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Establecer si las metodologías y parámetros propuestos por la DGA y por el SEA en sus correspondientes guías para declaración de medidas de mitigación en proyectos de centrales hidroeléctricas, presentan diferencias relevantes que afectarían los cálculos de caudales.
- Determinar si la metodología de la guía de SEA para el cálculo del caudal ecológico es equivalente o comparable a la metodología utilizada en países de altos estándares medioambientales, como Nueva Zelanda.
- Determinar si la metodología que se propone en la guía del SEA es aplicable a sistemas fluviales chilenos, mediante la aplicación de la guía a dos proyectos reales evaluados en el SEIA.

## II. METODOLOGÍA

De acuerdo a los objetivos planteados, este seminario se desarrolló a través de una metodología que constó de 3 pasos principales:

### 2.1. Análisis Bibliográfico.

#### 2.1.1. Guías Metodológicas

Se estudió 3 documentos nacionales elaborados por servicios técnicos del Estado de Chile (DGA y SEA) donde se desarrollan metodologías para el cálculo de caudal ecológico-ambiental, estos son:

- ✓ “Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos” (Resolución DGA N° 3504, año 2008), particularmente en el acápite de constitución de derechos de aprovechamientos de agua (capítulo 5.1.3.2).
- ✓ “Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación” (2008), elaborado por el Centro de Ecología Aplicada (CEA), para la DGA.
- ✓ “Guía Metodológica Para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA”, elaborada por el SEA perteneciente al MMA, la cual esta pronta a su publicación. En esta guía se explica el procedimiento para determinar el cálculo del **caudal ambiental**.

Por otra parte se revisó la página web del ministerio del medio ambiente de Nueva Zelanda con el objetivo de revisar y analizar el documento oficial relacionado al cálculo del caudal ecológico. El gobierno de este país cuenta con el “Draft Guidelines for the Selection of Methods to Determine Ecological Flows and Water Levels; (2008)”. En el se analizó específicamente el capítulo 2, referido a la metodología utilizada para el cálculo de caudales ecológicos en ríos.

### **2.1.2 Análisis de declaraciones y estudios de Proyectos Hidroeléctricos presentados a SEIA.**

Se realizó una búsqueda en el portal de internet del SEIA, específicamente a través de su plataforma e-SEIA donde se puede revisar los antecedentes técnicos-ambientales y los procesos de evaluación de todos los estudios y declaraciones de impacto ambiental, de los proyectos sometidos al SEIA para su aprobación.

Para el estudio se consideró todos los proyectos hidroeléctricos ingresados a evaluación ambiental a octubre de 2015, número que asciende a 84 proyectos.

En todos estos proyectos se analizaron los siguientes parámetros:

- a. Tipo de ingreso, si fue a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- b. Potencia instalada de la central.
- c. Ubicación de la central.
- d. Cuerpo de agua a intervenir.
- e. Año de ingreso al SEIA.
- f. Año de aprobación del proyecto, es decir obtención de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA)
- g. Tipo de central hidroeléctrica (Embalse, de pasada o a pie de embalse)
- h. Mención del caudal ecológico.
- i. Metodología de cálculo del caudal ecológico.

La finalidad de esta revisión, fue la obtención de datos reales, respecto a la aplicación del caudal ecológico en el sistema de evaluación de impacto ambiental en Chile y como ha sido considerado y calculado tanto en las DIA's como en EIA's de los proyectos aprobados por SEIA.

También se analizaron los datos contenidos en la página del SEA a fin de

sistematizar la información referente a los tipos de centrales ingresados a evaluación ambiental y su localización.

## **2.2 Análisis comparativo entre las metodologías propuestas por las guías de la DGA y la guía propuesta por el SEA.**

La comparación de los contenidos de las guías fue realizada punto por punto para establecer las diferencias y similitudes que éstas presentan en sus metodologías y métodos de cálculo del caudal ecológico-ambiental. Por otro lado, se identificó los contenidos exclusivos de cada guía y se procedió a su análisis en forma separada.

Adicionalmente se comparó, a grandes rasgos, los enfoques y metodologías planteadas en la nueva guía del SEA y los de la guía de caudales ecológicos de Nueva Zelanda, país que posee altos estándares ambientales, y así establecer el aporte y utilidad que podría representar la guía del SEA a la determinación del caudal ecológico.

## **2.3 Aplicabilidad de la metodología del SEA a los sistemas fluviales chilenos mediante la aplicación de la guía a proyectos evaluados en el SEIA.**

### **2.3.1 Selección de los proyectos.**

Se consideraron las centrales hidroeléctricas presentes en el SEIA desde el año 2010 en adelante, con el fin de tener proyectos relativamente actuales. Los criterios utilizados para la selección de los proyectos hidroeléctricos Alto Maipo ubicado en la Región Metropolitana, comuna de Santiago y el proyecto Los Aromos ubicado en la Región de la Araucanía, comuna de Freire, fueron:

- a. **Potencia de generación eléctrica:** se seleccionó una central con una potencia de generación sobre los 100 MW y otra de potencia media o baja hasta 20 MW, con el fin de tener una comparación entre ambos casos al aplicar la guía del SEA.
- b. **Ubicación:** se seleccionó una central hidroeléctrica de la Zona Central y otra de la Zona Sur, debido a que en estas áreas es donde se desarrolla la mayor cantidad

de proyectos hidroeléctricos en Chile y también, es donde se ha presentado las mayores problemáticas ambientales en torno al tema.

- c. **Caudal ecológico:** se escogieron dos proyectos que consideraran el cálculo del caudal ecológico en sus estudios de impacto ambiental.

Ambos proyectos son descritos brevemente y se analiza el método que utilizaron para el cálculo del caudal ecológico y que guía o metodología fue utilizada para tales propósitos.

### **2.3.2 Aplicación de las metodologías propuestas en la guía del SEA a los proyectos seleccionados.**

Se evaluó la aplicación de la guía del SEA a los proyectos seleccionados, a través de los antecedentes proporcionados por ambos proyectos en sus respectivos estudios de impacto ambiental. Se analizó si con los datos proporcionados en los estudios de impacto ambiental, se podría aplicar la guía elaborada por el SEA para el cálculo del caudal ambiental.

### **III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Análisis de metodologías y normativas en documentos oficiales.**

##### **3.1.1 Contexto en la determinación del caudal ecológico en Chile.**

En 2009 se publicó la minuta N° 173 que dicta los lineamientos para la determinación del caudal ecológico en el marco del SEIA. En ella se establece que el caudal ecológico debe ser más amplio que el cálculo meramente hidrológico, con una visión holística y metodologías que involucren variables, biológicas, antrópicas, de paisaje, de turismo, de navegación, etc. No obstante en esta minuta no se especifica una metodología o una guía a seguir.

Ahora bien, es importante mencionar que en concordancia a lo establecido en la Minuta N°173, el DS N°14 (MMA, 2012) donde se aprueba el reglamento para determinar el caudal ecológico, particularmente en el artículo 6, se especifica que:

“en casos calificados, previo a un informe favorable del Ministerio del Medio Ambiente, se podrá fijar un caudal ecológico diferente al establecido en el manual de la DGA”.

Estos casos calificados están detallados en el artículo 7 de dicho decreto, que a grandes rasgos corresponden a

“casos en donde se identifique riesgos, para la calidad de las aguas y/o el hábitat de magnitud tal que comprometan la supervivencia de las especies.”

Bajo esta aclaración se entiende que el caudal ecológico, al tener definición de carácter legal, debería estar presente en los proyectos que soliciten derechos de aprovechamiento de agua, a la DGA.

Por otro lado, cuando estos proyectos ingresan al SEIA, el SEA en conjunto con los Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECAS), como el Servicio Nacional de Pesca (Sernapesca), el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), el MMA y la misma DGA, entre otros, exigen el cálculo de un caudal ecológico,

mas allá del hidrológico entregado por la DGA y es aquí en donde se han utilizado diferentes metodologías de cálculo, sin un estándar definido.

Paralelamente a fines de 2008 la DGA en conjunto con el CEA, publicaron la guía, “Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación”. En ella se propone un modelo conceptual para la determinación del caudal ecológico de un río, incorporando un enfoque multiescalado y jerárquico.

En la misma guía se propone, implementar la metodología en el marco del SEIA, es decir, utilizarla como una guía base en los estudios o declaraciones de impacto ambiental, de centrales hidroeléctricas, para la determinación de caudales ecológicos.

Se entiende, por lo tanto, a raíz de lo mencionado, que existe un ordenamiento para la determinación del caudal ecológico en los ríos de Chile, ya que hay una guía donde se estipula una metodología para el cálculo y que además incluye una visión global y ecológica para su determinación.

A pesar de lo anterior, el MMA a través del SEA, están pronto a publicar una nueva guía, (la cual se encuentra en proceso de evaluación), llamada “Guía Metodología para Determinar el Caudal Ambiental para centrales Hidroeléctricas en el SEIA”. Esta tiene por finalidad “uniformar criterios para la determinación del régimen de caudal ambiental en proyectos de centrales hidroeléctricas que se someten al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), incorporando criterios hidrológicos, valoración de servicios ecosistémicos y usos antrópicos, junto con las características del proyecto, de manera coordinada”.

Si bien la DGA desde la década de los 80 aplica el concepto de caudal ecológico, dependiendo del tipo de proyecto a ejecutarse, no es hasta el año 2005 que pasa a tener un carácter formal al aparecer la ley N° 20.017 que modifica el Código de Aguas, en donde se define que este caudal no puede ser superior al 20 % del caudal medio anual del cuerpo de agua a intervenir.

En el artículo 129 bis 1 se señala que: “al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo, el cual sólo afectará a los nuevos derechos que se constituyan, para lo cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial”.

Debido a esto, en el informe técnico que exige la DGA cuando se solicita derechos de aprovechamiento de aguas superficiales se pide especificar la fórmula utilizada para calcular el caudal ecológico y la justificación de ella (Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, capítulo 5.1.1)

A su vez, la DGA, a través de su Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (2002, actualizado en 2008) ha considerado el caudal ecológico mínimo como un porcentaje del caudal del río en forma constante, tomando en cuenta uno de estos dos criterios:

- a. Caudal igual al 10% del caudal medio anual.
- b. Caudal igual al 50% del caudal mínimo de estiaje del año 95%. El caudal de estiaje es el nivel más bajo que en ciertas épocas del año tiene un río, estero o laguna, por causa de la sequía (Real Academia Española).

Finalmente, mediante el DS N°14 del 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, se aprueba el reglamento para la determinación del caudal ecológico mínimo, especificado en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de la DGA.

### **3.1.2 Análisis del “Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos” (Manual DGA).**

La metodología para el cálculo del caudal mínimo ecológico en el Manual DGA tiene una base hidrológica, es decir se realiza un análisis estadístico de los registros de datos de los caudales del cauce a intervenir (King et.al., 1998). Para que la aplicación de

las metodologías establecidas en el manual sean lo más correctas posible, se requiere como mínimo 25 años de registros hidrológicos, con una estadística a nivel medio mensual.

En este contexto, en el capítulo 5.1.3.2 llamado, “estimación del caudal ecológico mínimo en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas”, se considera la variabilidad del caudal a lo largo de un año para asegurar la sustentabilidad del ecosistema acuático, debido a que mantener un caudal mínimo constante a lo largo de un año no asegura la protección del medio ambiente y no corresponde a la realidad de un régimen natural de caudal. A raíz de lo anterior es que al momento de calcular el caudal ecológico mínimo, se considera la estacionalidad del caudal en el cauce a intervenir, con el fin de obtener un caudal ecológico acorde a la naturaleza del sistema.

Se establece un procedimiento para determinar el caudal ecológico frente a tres posibles escenarios, los que se describen a continuación.

**3.1.2.1** Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del 10% del caudal medio anual ( $Q_{ma}$ ).

Este caso considera los caudales asociados al 50% del caudal con probabilidad de excedencia del 95 % (50% del  $Q_{95\%PE}$ ) para cada mes. Para determinar el caudal con probabilidad de excedencia, se debe ordenar todos los registros de caudales por orden decreciente, quedando así los valores de caudales más altos en los primeros lugares.

Los datos más parecidos al caudal promedio quedan mas abajo y por último los registros más pequeños de caudal quedaran en último lugar.

Cuando se pide el 95% de la probabilidad de excedencia se refiere al nonagésimo quinto registro mas bajo de la serie ordenada de manera decreciente y por lo tanto es la probabilidad de tener desde ese valor de caudal hacia arriba de los datos. Esto por supuesto, en un tiempo determinado, el cual dependerá de los años de registros que se utilicen. Como se mencionó anteriormente se requiere un mínimo de 25 años de registro

de caudales mensuales.

Las restricciones que se aplican en este procedimiento son las siguientes:

- Para los meses, en que el caudal determinado para el 50% del Q95%PE es menor al caudal determinado para el 10% Qma, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 10% Qma.
- Para los meses, en que el caudal determinado para el 50% del Q95%PE es mayor al caudal determinado para el 10% Qma y menor que el caudal determinado para el 20% Qma, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 50% del Q95%PE.
- Para los meses, en que el caudal determinado para el 50% del Q95%PE es mayor al caudal determinado para el 20% Qma, entonces el caudal mínimo ecológico en esos meses será el 20% Qma.

En el anexo A, se entrega detalles de este escenario, con sus tres restricciones, aplicado a un río de “ejemplo”.

### **3.1.2.2** Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del menor 50% del Q95%:

En este escenario también se considera los caudales asociados al 50% del caudal con probabilidad de excedencia del 95% (50% del Q95%PE), para cada mes y las restricciones que se aplican son las siguientes:

- En los meses, en donde el caudal determinado para el 50% del Q95%PE es menor al caudal determinado para el 20%Qma, entonces el caudal ecológico mínimo en esos meses será el 50% del Q95%PE.
- En los meses, en donde el caudal determinado para el 50% del Q95%PE es mayor al caudal determinado para el 20%Qma, entonces el caudal ecológico mínimo en esos meses será el 20% Qma.

En el anexo A, se adjunta ejemplo de aplicación de este escenario.

**3.1.2.3** Cauces sin derechos constituidos de aguas o sin caudal ecológico mínimo definido.

En estos casos se debe aplicar el mismo criterio establecido para cauces con derechos constituidos con derechos ecológicos mínimos del menor del 50% Q95% con probabilidad de excedencia. Asimismo se aplica las tres restricciones establecidas para ese escenario.

**3.1.2.4** Principales limitaciones y deficiencias metodológicas del Manual DGA

Si bien el Manual usa un modelo sencillo para establecer el caudal ecológico, presenta deficiencias tanto en su metodología como en su explicación y enfoque.

- a. **Poca disponibilidad de registros de datos.** Para la óptima implementación del procedimiento, se debe contar con un registro de caudales mensuales de, al menos, 25 años; datos que no existen para un gran número de ríos de Chile. Si bien existen registros para las ríos más importantes del país, como el Maipo, Mapocho y Paine, la gran mayoría no posee esta información (Se solicitó la información a la DGA, mediante consulta ciudadana, ley de transparencia).

Al consultar la base de datos de la DGA en el apartado “datos hidrológicos en tiempo real”, se puede acceder a diferentes registros, entre ellos el de caudales de todas las estaciones de monitoreo que posee la DGA en los ríos de Chile. Sin embargo, solo se tienen registros de caudales de los últimos 16 años y por lo tanto no se cumple con uno de los requisitos principales establecidos en el manual de la DGA, para su aplicación.

Esto es muy relevante, ya que el Manual considera solamente un método hidrológico para determinar caudal ecológico mínimo, que a su vez es de vital importancia tanto para el ecosistema acuático del río, como para el ecosistema circundante a este y por lo tanto el no contar con un registro de datos adecuado de los años de caudal, implica muchas veces recurrir a estimaciones realizadas

con los datos de los años disponibles. Lo que en la práctica no siempre refleja el comportamiento real del río.

A raíz de lo anterior, en enero del 2015 el Ministerio del Medio Ambiente estableció una modificación al DS N° 14 el cual aprobaba el reglamento para la determinación del caudal ecológico mínimo. En esta modificación, a grandes rasgos, se establece que “la exigencia de utilizar las estadísticas hidrográficas de los últimos 25 años para la determinación del caudal ecológico mínimo genera una serie de inconvenientes, entre ellos, distintas interpretaciones desde el punto de vista de la metodología hidrológica, necesidad de actualizar constantemente la información sobre oferta hídrica e información poco representativa del comportamiento del cauce.

Asimismo, la regulación no considera la determinación del caudal ecológico mínimo en los casos de vertientes, lagos y lagunas. Sin embargo, en lo pertinente a ríos agrega que:

“el cálculo se realizará utilizando estadísticas hidrológicas **de al menos 25 años**, dependiendo de la estadística con la cual se cuente en el cauce, y en el evento de contar con una estadística de mayor extensión, se preferirá esta última. De no existir esta estadística para una fuente determinada, la DGA utilizará el método hidrológico más adecuado al caso concreto, de aquellos conocidos y aceptados por la técnica, lo que deberá quedar claramente fundado en el informe técnico”.

Si bien esta modificación soluciona en cierta forma los requerimientos de data (años de registros de caudal), esto causa un nuevo problema, ya que no se menciona que métodos son los “conocidos y aceptados por la técnica”, dando a entender que no están establecidos en algún manual o reglamento de la DGA o del MMA. Esto significa que la idea de normar el cálculo de un caudal ecológico mínimo queda nuevamente en manos de un método arbitrario.

- b. **Ausencia de parámetros biológicos y fisicoquímicos en la estimación del caudal ecológico.** Otro problema del Manual, está relacionado al hecho de que solo se considere un método hidrológico para el cálculo del caudal ecológico, sin considerar los componentes del ecosistema relevantes como son las comunidades biológicas. Un ejemplo de lo anterior, son las especies que habitan en el río, ya que muchas de estas se ven afectadas en su ciclo reproductivo, a raíz de la diferencia de caudal (Cifuentes et.al.,2012) y por lo tanto deberían ser consideradas en el método para calcular el caudal ecológico, al igual que la vegetación que depende del caudal que el río posea.

Por otra parte, el enfoque hidrológico también deja de lado los parámetros fisicoquímicos que se puedan ver afectados con el aumento o disminución del caudal y que a su vez puedan afectar a la misma biota del río. Los parámetros mas importantes a considerar son: el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto. Todos ellos claves para un adecuado equilibrio ecológico. Un ejemplo de esto es que una disminución en el caudal del río, afecta directamente la conductividad eléctrica, ya que esta se ve aumentada a raíz de una mayor concentración de sales disueltas en un menor volumen de agua (Aumassanne & Fontanella, 2013).

- c. **Lenguaje y conceptos técnicos.** Se esperaría que un manual de una institución pública, que explica como se debe calcular el caudal ecológico fuese en lo posible lo más comprensible, sin embargo el manual de la DGA, no posee un lenguaje claro y fácil de entender.

Utiliza y aplica conceptos técnicos que no son descritos en detalle sin justificar su uso ni la forma de calcularlo, como es el caso de la probabilidad de excedencia. Esto podría provocar que quien no posea conocimiento de conceptos estadísticos, no entienda a cabalidad como hacer un cálculo correcto y finalmente obtenga un cálculo del caudal ecológico errado.

### **3.1.3 Análisis de la Guía “Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación” (Guía DGA-CEA).**

Esta guía, elaborada por la DGA en conjunto con el centro de ecología aplicada (CEA), fue publicada en noviembre de 2008 y en ella se plantea una metodología que considera cuatro escalas de análisis, para la determinación del caudal ecológico, las que se describen a continuación.

#### **3.1.3.1 Hidrocoregiones**

Corresponden a la unión de dos conceptos, estos son, las hidrozonas y las ecozonas. Las hidrozonas corresponden a cuencas con características de calidad de aguas similares. Las características consideradas son pH, conductividad eléctrica, temperatura y razón de absorción de sodio (RAS). Por otra parte las ecozonas son cuencas con características similares en cuanto a las comunidades biológicas que en ellas habitan, específicamente de fauna íctica nativa.

Para la determinación de las Hidrocoregiones se utilizó datos del Banco Nacional de Aguas, de 42 estaciones de monitoreo de la DGA, que representan a 25 cuencas hidrográficas de norte a sur.

En base a los estudios de ambas características y la correlación de ambos, se identificaron siete Hidrocoregiones a lo largo de Chile, que corresponden a:

- Altiplano,
- Loa-Camarones,
- Copiapó,
- Elqui,
- Aconcagua-Rapel,
- Biobío-Valdivia y
- Aysén.

Cada Hidrocoregión agrupa cierto número de ríos con características comunes entre si.

### 3.1.3.2 Sistema

Se refiere a todas las características físicas y el ecosistema acuático que presentan los ríos chilenos. Las características físicas que se consideran en la guía son: topografía (relieve del terreno), hidrología, la pendiente del río, la morfología pluvial (cauces con lecho rocoso o sedimento), profundidad de escurrimiento, parámetros y procesos hidráulicos.

Por otro lado, el estudio de los ecosistemas loticos (del río), analiza la biodiversidad acuática y la estructura y funcionamiento del ecosistema.

### 3.1.3.3 Tramo de río

Está relacionado a la cantidad de agua que requiere mantener un tramo específico del río, para brindar de manera óptima todos los beneficios que este entrega, tanto al ecosistema como a la población aledaña. Esto corresponde al denominado **caudal ecológico** que se debe respetar, en un área determinada, debido a la construcción de una central hidroeléctrica.

**Área de Importancia Ambiental (AIA).** Es definida, como aquellos bienes y servicios ecosistémicos que presenta un río, pudiendo ser de origen ecológico (AIE) y/o usos antrópicos (AUA).

**Áreas de Importancia Ecológica (AIE)** Son definidas como zonas donde existen ecosistemas acuáticos o componentes bióticos (especies) con valor para la conservación biológica. En ciertos casos se consideran especies introducidas, debido a su valoración desde un punto de vista recreativo (pesca).

**Áreas de Uso Antrópico (AUA)** Son todos aquellos bienes y servicios ecosistémicos que son utilizados en un río.

De acuerdo a lo anterior se establece que el **caudal ecológico** en un tramo del río quedara definido, por el AIA que presente el requerimiento más alto de caudal, no considerándose estática, por lo que podría variar con el tiempo.

#### **3.1.3.4 Sección Control**

Corresponde a la sección característica, en términos hidráulicos, perteneciente al AIA y en donde se evalúan y verifican los requerimientos ambientales de caudal ecológico, para mantener los hábitats de la flora y fauna íctica y los usos antrópicos, identificados en el área de influencia.

Es importante mencionar que todos los análisis tanto de las Hidroecoregiones, el sistema del río, y la sección control, son en base a diferentes estudios realizados tanto en Chile, como en el extranjero, con respecto a cada temática y que la guía los recopila en función de la aplicabilidad de este en el tema a tratar.

**Procedimiento para la determinación del caudal ecológico.** Será analizado en detalle en comparación a la guía del SEA. La metodología está estructurada en el siguiente orden:

- I) Identificar AIA;
- II) Validación AIA;
- III) Determinación de umbrales ambientales;
- IV) Modelación de escenarios;
- V) Determinación de la regla de operación del caudal ecológico;
- VI) Monitoreo AIA.

#### **3.1.4 Análisis de la “Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para centrales Hidroeléctricas en el SEIA” (Guía SEA).**

Esta guía fue elaborada por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), con ayuda de las consultorías de EcoHyd, plataforma de investigación en ecohidrología y ecohidráulica. En la actualidad se encuentra en la fase de evaluación y por lo tanto aún

no es aplicada en el contexto del SEIA.

De las revisiones realizadas por diversas asociaciones competentes en el tema, como la Asociación de Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas (APEMEC) y la Asociación Gremial de Generadoras de Chile (AGG), se ha encontrado en ella ciertas dudas. Sin embargo, lo que más problema genera es el hecho de contar con dos guías para la determinación de un mismo parámetro (Guía DGA y guía SEA).

#### 3.1.4.1 Estructura de la Guía

La estructura de esta guía se basa en un procedimiento de cuatro etapas para la determinación del caudal ambiental. Los cuales son presentadas y explicadas brevemente a continuación:

- **Etapa I: Descripción del sistema fluvial.** Corresponde a la valoración y evaluación del ecosistema fluvial a intervenir y esta compuesta por: la caracterización del sistema, caracterización del proyecto hidroeléctrico, determinación del área de influencia (AI), identificación de áreas de importancia ambiental (AIA) y valoración ambiental del sistema en el área de influencia.
- **Etapa II: Elección y desarrollo del método.** Se selecciona y desarrolla los métodos apropiados en función a la valoración descrita en etapa I (explicado en el capítulo 3.2). La etapa se compone de:
  - identificación del grupo de métodos,
  - selección de especie objetivo y actividades antrópicas,
  - elección del método
  - procedimiento para determinar el caudal ambiental.

Los métodos utilizados por esta guía son:

- Métodos hidrológicos: Explicados en el capítulo 3.1.2 de esta tesis.
- Métodos hidráulicos: consideran la relación entre un parámetro hidráulico y el caudal para una sección considerada como crítica. El parámetro más

utilizado es el perímetro mojado, pero puede utilizarse otros tales como la profundidad, velocidad, esfuerzo de corte, entre otros.

- Métodos de Simulación Hidráulica: métodos que consideran la implementación de un Modelo Hidráulico (en una o dos dimensiones, 1D o 2D), donde se imponen restricciones hidráulicas a cumplir para satisfacer requerimientos mínimos de habitabilidad o de conectividad en el tramo de estudio.
  - Métodos de Simulación del Hábitat Físico: métodos que consideran la implementación de Modelos de Simulación del Hábitat Físico (1D o 2D), donde se evalúa la cantidad de hábitat disponible, o pérdida de hábitat para cada una de las especies producto de la regulación del caudal. (Fuente métodos: Guía SEA)
- **Etapa III: Determinación y validación del régimen de caudal ambiental.** Se determina el régimen de caudal ambiental generando un hidrograma interanual de acuerdo a la magnitud de los requerimientos ambientales, como también de la temporalidad y frecuencia de los eventos de crecidas ordinarias. La etapa se compone de dos puntos:
    - determinación del régimen de caudal ambiental y
    - validación hidrológica.
  - **Etapa IV: Evaluación ambiental.** Se divide en dos partes, primero en la parte de evaluación ambiental donde el proyecto es sometido al SEIA, con un régimen de caudal ambiental ya se como medida de manejo ambiental o como medida de mitigación, según corresponda.

La segunda parte que corresponde al **plan de seguimiento**, el cual tiene el objetivo de asegurar que las variables ambientales relevantes que fueron consideradas en el método de cálculo, evolucionen según lo proyectado.

### 3.1.4.2 Caudal Ambiental

Es muy importante señalar que en el caso de la guía del SEA se habla de **caudal ambiental**, en lugar de **caudal ecológico**. No obstante, se hace la salvedad de que este término no posee una definición legal expresa en Chile, motivo por el cual solo puede ser aplicado como una medida de mitigación.

Esto significa que tienen por finalidad evitar, minimizar o disminuir los efectos adversos del proyecto o actividad, cualquiera sea su fase de ejecución (D.S. N° 40 año 2013, art. N° 98 Reglamento SEIA).

Ahora bien, la guía del SEA presenta como objetivo general,

“uniformar criterios para la determinación del régimen de caudal ambiental en proyectos de centrales hidroeléctricas que ingresen al SEIA.”

Sin embargo se especifica que será aplicable, solo para proyectos que causen un impacto significativo adverso a los presentados en el artículo N° 11 de la ley N° 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Estos proyectos corresponden a los que deben ingresar al SEIA a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Pero, por otro lado, en la misma guía se expresa que en el proceso de evaluación de impactos ambientales, cuando se trate de impactos no significativos (esto quiere decir que no causa ninguno de los efectos mencionados en el artículo N°11 de la ley N°19.300, por lo tanto ingresan a través de un DIA al SEIA), la guía tendrá el alcance a través de medidas de manejo ambiental.

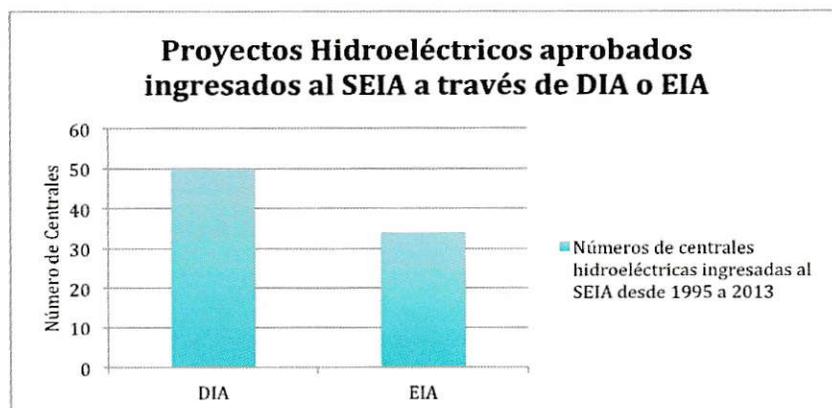
Aquí claramente hay una contradicción, ya que por una parte menciona que debe ser aplicada solo a proyectos que ingresen por EIA's y como una medida de mitigación, pero luego menciona que también debe aplicarse a proyectos que ingresen por DIA's, pero como una medida de manejo ambiental, término que no se encuentra definido ni expresado tanto en la ley N°19.300 como en el nuevo reglamento del SEA.

De todas maneras se utiliza en diversos documentos (como en el Manual de Planes de Manejo Ambiental para Obras Concesionadas del Ministerio de Obras

Publicas), en donde se entiende que son las medidas necesarias para evitar, minimizar y compensar los impactos para cada etapa de la actividad o proyecto y se define que dentro de las medidas de manejo ambiental, se encuentran las medidas de mitigación, reparación y compensación.

Aclarado el punto de las medidas de manejo ambiental, surge la interrogante de cual de las tres medidas de manejo, se tendrá que utilizar cuando sea aplicada la guía a los proyectos que ingresan al SEIA vía DIA's. La guía no especifica este punto, como si lo hace, para los casos de proyectos que ingresan por EIA.

Por otro lado, de acuerdo al análisis realizado de los proyectos hidroeléctricos ingresados al SEIA (a través de la plataforma e-SEIA), desde el año 1995 al 2014, la mayoría de las centrales hidroeléctricas que son aprobadas por el SEIA, ingresan mediante una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), como se observa en la figura 5.



**Figura 5:** Número de proyectos hidroeléctricos aprobados ingresados al SEIA a través de DIA o EIA, desde 1995 hasta 2013. Fuente: SEIA.

Al momento de considerar el alcance que tendrá la guía, si se hace obligatoria solo para proyectos que ingresen a través de EIA's, los proyectos aprobados por DIA's no tendrían que calcular el caudal ecológico y solo se quedarían con el otorgado por la DGA (cálculo hidrológico).

En este escenario, surgen dos preguntas.

- **¿Será necesario aplicar la guía de caudal ambiental del SEA a proyectos que ingresan al SEIA a través de DIA's?**, ya que la guía en si es bastante rigurosa y quizás se este exagerando al tener que aplicar, tal nivel de estudio a proyectos que no son de gran envergadura.
- **¿No se le aplicará ningún criterio a los proyectos pequeños ingresados por DIA, aparte del dado por la DGA a través de cálculos hidrológicos?**, Ya que de todas formas se debería realizar un cálculo de caudal ecológico o ambiental mas allá del cálculo hidrológico dado por la DGA.

Si bien los daños medioambientales de pequeñas o medianas centrales hidroeléctricas, no necesariamente son de gran impacto, de todas maneras, si utilizaran un caudal determinado del río, motivo por el cual puede haber un impacto, por mínimo que sea, al ecosistema acuático, que debería ser estudiado previamente.

Debido a esto seria necesario establecer de manera clara una guía que tenga lineamientos precisos, para establecer el caudal ecológico o ambiental. Esta guía bien podría ser la guía realizada por la DGA.

### **3.1.5 Análisis comparativo entre las metodologías propuestas por las guías de la DGA y la guía propuesta por el SEA.**

Con la finalidad de poder analizar y dar una opinión respecto a la metodología propuesta para determinar el cálculo del caudal ecológico o ambiental, se procederá a comparar ambas guías a partir de ciertos tópicos que presentan en común, a su vez también se mencionaran aquellos tópicos que las diferencian.

Como se mencionó en el capítulo 3.1.3, la guía de la DGA tiene una metodología para la determinación del caudal ecológico basado en siete puntos, por otra parte la guía del SEA tiene una metodología basada en cuatro etapas (ya mencionadas en el capítulo 3.1.4).

### 3.1.5.1 Delimitación del área de estudio.

Para el caso de la guía de la DGA la delimitación del área de estudio se encuentra dentro de la identificación de las áreas de importancia ambiental (AIA), en cambio la guía del SEA, la considera como uno de los tópicos de la etapa I, y se denomina área de influencia (AI).

#### 3.1.5.1.1 Guía DGA:

Inicialmente se considera toda la extensión del río para luego ser restringida solo al área de interés ambiental. Considera que los límites del área de estudio dependerán de las características del proyecto a ejecutarse y el tipo de operación que este tenga (Hidroeléctrica de embalse o de pasada).

También estima de importancia identificar los puntos de captación (bocatoma) y restitución de caudal.

- **Para centrales hidroeléctricas de pasada.** El área de influencia es el acotado entre la bocatoma y el punto de restitución del caudal, a no ser que la operación de la central tenga implicancias en la calidad de las aguas, bajo el punto de restitución (por ejemplo sedimentos, temperatura, entre otros). En ese caso el área de estudio debe ir más allá del punto de restitución de caudal.
- **Para centrales hidroeléctricas de embalse** se debe considerar que el efecto de modificación de caudal del río y/o la calidad de las aguas se propaga aguas abajo, por lo que se debe considerar que el área de influencia debe llegar hasta la desembocadura.

#### 3.1.5.1.2 Guía SEA

El área de influencia (AI) por parte de esta guía considera el ecosistema acuático, la zona ribereña y la llanura de inundación. A su vez, se denominan dos tipos de AI.

- **AI de captación** Corresponde al tramo definido desde el punto de captación (bocatoma) hasta el punto de restitución.
- **AI de restitución.** Equivale al tramo del río aguas abajo del punto de restitución de la central hidroeléctrica, en donde se puede presentar alteración debido al funcionamiento de esta misma.

Como se observa, no hay grandes diferencias entre ambas guías, con respecto a la limitación del área estudio. Por un lado la guía de la DGA hace una diferenciación según el tipo de central hidroeléctrica que se trate, y por otro lado la guía del SEA se enfoca a los dos tipos de AI. Por lo tanto son dos puntos de vistas válidos.

### **3.1.5.2 Caracterización Hidrológica.**

#### **3.1.5.2.1 Guía DGA**

Pide información de estadísticas hidrográficas a partir de dos series.

- **Serie hidrográfica histórica.** Se requiere datos de registros hidrológicos con estadística media anual de, al menos, 25 años con el fin de estimar probabilidades de excedencias y series de caudales medios. Para esto indica que la fuente de información es el Banco Nacional de Aguas (BNA) perteneciente a la DGA.
- **Serie hidrográfica reciente.** La cual permitirá establecer las condiciones particulares en las que se efectuará el levantamiento de información, por ejemplo considerar las obras que se encuentran en el cauce del río y que puedan intervenir en la regulación del caudal de este (otras centrales hidroeléctricas por ejemplo).

Por otro lado menciona que el análisis de las series hidrográficas permitirán establecer el tipo de régimen que el río presenta (pluvial, nival, régimen mixto, etc.).

#### **3.1.5.2.2 Guía SEA**

Señala que se debe contar con el hidrograma del régimen actual del tramo del río en donde se realizara el proyecto e indicar los afluentes ubicados en el AI. También

señala que a partir de la información obtenida del hidrograma se puede caracterizar:

- el tipo de régimen que el río presenta,
- la probabilidad de excedencia,
- identificar las crecidas ordinarias que puedan causar inundaciones de las zonas ribereñas
- identificar la periodicidad en que ocurren las fluctuaciones de fenómenos climatológicos (como el niño- niña o algún otro de tipo local).

Establece que la información requerida para la construcción del hidrograma dependerá de la información con la que se cuente y el tipo de método a utilizar. Sin embargo, la guía propone métodos hidrológicos que exigen una estadística de registros a escala diaria de, al menos, 20 años.

De no contar con estos registros sugiere utilizar técnicas indirectas para estimar las crecidas ordinarias a través de métodos de simulación hidráulica y simulación del hábitat. Por último, menciona que de contar solo con datos a escalas medias mensuales, se requerirá una estadística de registros de, al menos, 25 años.

**Conclusión:** Si bien a grandes rasgos son bastante similares ambas caracterizaciones hidrológicas, se puede inferir que la guía del SEA presenta más opciones en el caso de no contar con los registros, para la realización de los hidrogramas.

De todas maneras ambas presentan el mismo problema que es la utilización de datos de caudales de, al menos, 20 años (como en el caso de la guía del SEA), ya que como se mencionó anteriormente, para la gran mayoría de los ríos de Chile no se cuenta con la temporalidad requerida.

### **3.1.5.3 Caracterización Morfológica.**

#### **3.1.5.3.1 Guía DGA**

Señala que se debe describir **el tipo de cauce y el tipo de escurrimiento** asociado, principalmente a los cambios de pendientes y a restricciones del desarrollo lateral. Menciona que dependiendo de la zona en donde se ubique el proyecto

hidroeléctrico, se encontraran patrones espaciales típicos de la topografía de Chile.

Recomienda que para la caracterización del río a escala de cuenca se puede utilizar la información proveniente de modelos digitales de terreno, como los modelos de elevación digital (DEM), cartas topográficas, restituciones aerofotogramétricas, imágenes satelitales y fotografías aéreas.

Finalmente, adjunta como anexo criterios para la clasificación morfológica en base a estudios de Montgomery & Buffington (1997) y de Rosgen (1994). A raíz de esto propone distintos tipos de cauces, los cuales se clasifican como:

- Morfología con canal recto y tipo cascada,
- Regiones con canal recto con secuencia de rápidos y pozas,
- Río trenzado
- Morfología de corriente meandrica (meandroso).

#### 3.1.5.3.2 Guía SEA:

Realiza la clasificación morfológica a partir de tres niveles de caracterizaciones.

- **Nivel a macroescala.** Definido en magnitudes del orden de 100 m a 100 Km de longitud del tramo del río y utiliza clasificaciones del tipo morfológico y eco-hidrológico. Para las morfológicas utiliza el estudio de Rosen (1994), al igual que la DGA, el cual contiene ocho clases de ríos (basada en cartografía y fotointerpretación), que se subdividen en más de 90 tipos.

Las eco-hidrológicas se basan en información geográfica específica de la región de estudio y suelen tener una validación hidrológica e incluso ecológica, lo que permite observar su grado de ajuste a la realidad de los datos disponibles en la región.

- **Nivel a mesoescala,** es decir, a magnitudes del orden de 10 a 100 m de longitud en el tramo del río. Menciona que a esta escala es necesario caracterizar el tipo de río en el cual se desarrollará el estudio.

Para esto presenta distintos tipos de río en Chile entre los que se encuentran:

- Ríos unicauce de zona alta y cabecera de la cuenca,
- Ríos unicauce de la zona baja de la cuenca,
- Ríos con un cauce definido pero que presentan un brazo secundario o islas esporádicas
- Ríos trenzados.

También a nivel de mesoescala considera importante describir los tipos de hábitat presentes en el tramo del río, es así que define diferentes mesohábitats en donde los parámetros hidráulicos y morfológicos tendrán características específicas.

- **Nivel de análisis de transporte de sedimentos.** Aquí se hace hincapié en que la caracterización del transporte de sedimentos en el tramo de río donde se construirá el proyecto, es relevante para evaluar el potencial impacto que pudiera generarse en la morfología y el ecosistema.

Señala además que en el caso de centrales hidroeléctricas de pasada sin regulación de caudales, el impacto dependerá del diseño de las compuertas, en cambio las centrales con regulación de caudal pueden causar una alteración en el régimen de transporte de sedimentos.

**Conclusión:** Al comparar ambas guías se observa que si bien ambas tienen un enfoque de la morfología del río similar, incluso utilizan el mismo estudio, la guía de SEA pone mas énfasis en otros puntos, como son los mesohábitats y el transporte de sedimentos.

### **3.1.5.4 Caracterización de Calidad del Agua.**

#### **3.1.5.4.1 Guía DGA**

Se debe analizar la información sobre la calidad fisicoquímica del agua recopilada por el BNA, y otros estudios, para obtener datos históricos y con ellos evaluar de la variabilidad temporal y espacial.

Hace énfasis en que para cada Hidroecoregión (ver cap. 3.1.3.1) se ha priorizado variables ambientales relevantes (estudio realizado por la guía).

- **Zona Norte.** Se debe poner atención con los gradientes de salinidad, ya que pequeñas variaciones de esta variable pueden modificar la abundancia y distribución de organismos acuáticos, por lo tanto se deben realizar análisis de los antecedentes disponibles de conductividad.
- **Zona Centro.** Se requiere análisis de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno total, debido a que se ven favorecidos procesos biogeoquímicos con incrementos en el estado trófico, en periodo de aguas bajas, a raíz de condiciones climáticas templadas y precipitaciones estacionales.
- **Zona Sur.** Se hace especial énfasis en la temperatura y los sólidos totales suspendidos, ya que son los factores que controlan el metabolismo de los ecosistemas acuáticos.

#### 3.1.5.4.2 Guía SEA:

Denominada caracterización fisicoquímica, recomienda en primera instancia revisar el estudio de Hidroecoregiones descrito en la guía de la DGA, mencionado anteriormente.

Luego establece que la caracterización fisicoquímica debe contemplar **como mínimo** los siguientes parámetros:

- pH,
- conductividad,
- oxígeno disuelto,
- turbidez y
- temperatura.

Además, debe incluir sus magnitudes medias y sus variaciones espacio temporales para las cuatro estaciones del año.

**Conclusión:** La principal diferencia radica en que si bien la guía del SEA se basa en los parámetros establecidos en la guía de la DGA, agrega que se debe contemplar si o si los parámetros fisicoquímicos antes mencionados, no así la guía de la DGA, que lo establece dependiendo de la zona en donde se ubique el río.

### 3.1.5.5 Caracterización Ecológica.

#### 3.1.5.5.1 Guía DGA

Solicita realizar una **caracterización preliminar de la flora y la fauna acuática**, evaluando la composición de especie, abundancia y distribución, todo esto a través de estudios científicos previos, si es que los hubiera, documentos técnicos, incluso de la información recabada de los pobladores vecinos al río.

Con respecto a la fauna íctica nativa, la misma guía en el capítulo 6.2 (Requerimientos de hábitat para la fauna íctica) muestra el estudio realizado, por la DGA y el CEA, con 14 especies, en donde se tiene conocimiento de su fecha de reproducción y ambientes preferidos para el desove. Por lo demás, menciona que es común recopilar información de fauna íctica introducida, debido a su importancia para la pesca recreativa.

Además considera los atributos referidos a la **geomorfología de los ríos**, ya que estos permiten inferir áreas favorables para la flora y la fauna acuática, como lo son las plataformas literales, meandros, pozas y zonas trenzadas.

#### 3.1.5.5.2 Guía SEA

Esta circunscrita al AI y es referida al estudio de las comunidades y poblaciones de la biota en el ecosistema fluvial.

- **Estudio de las comunidades** Implica conocer su composición taxonómica, abundancia y distribución.
- **Estudio de las poblaciones** Implica el conocimiento de la abundancia de sus individuos, las épocas y sitios de reproducción, la estructura de tallas de juveniles y adultos, la biomasa o su estado de condición física, entre otros.

Exige incluir en el estudio todas las especies nativas estén o no clasificadas, según su estado de conservación. Para esto se indica un listado de especies importantes de catastrar. Además, con respecto a la fauna nativa recomienda revisar el estudio realizado por la guía de la DGA. Finalmente, menciona que el listado de especies presentes, siempre debiese obtenerse a través

de un muestreo en terreno y complementarlo con información bibliográfica.

**Conclusión.** La guía de la DGA realiza una caracterización ecológica más en base a la recopilación de información y a estudios realizados por ellos mismos, en cambio la guía del SEA destaca la toma de datos en terreno. Por otro lado cabe destacar que la guía del SEA, se basa en el estudio realizado por la guía de la DGA sobre fauna íctica nativa.

### **3.1.5.6 Caracterización de Actividades y Usos Antrópicos.**

#### **3.1.5.6.1 Guía DGA.**

Establece que se debe hacer un **inventario con las actividades antrópicas** que se realizan en el río, como por ejemplo, pesca, turismo (kayak, rafting) balseo, paisajismo, entre otros. Como también del uso comercial debido a la explotación de algún recurso.

#### **3.1.5.6.2 Guía SEA.**

Señala que esta caracterización permite incorporar **variables sociales** en el cálculo del caudal ambiental. Divide en dos tipos las actividades según el uso que se realice del agua del río:

- **Actividades productivas:** Todas aquellas que cuentan con derechos de aguas otorgados, como por ejemplo, riego, uso industrial, minero, etc. Es necesario identificar actividades de este tipo que estén presentes en el AI.
- **Actividades *in situ*:** Todas aquellas que se realizan en el río o en su ribera como actividades socioeconómicas, tales como, kayak, rafting, canotaje, balneario, pesca deportiva, navegación, etc.

**Conclusión.** De acuerdo lo anterior, se observa que no hay grandes diferencias entre ambas guías, simplemente explican lo mismo, pero de otra forma o en el caso de la guía del SEA de manera más detallada.

En resumen, se observa que en las comparaciones de los tópicos que presentan en común ambas guías, no hay existen grandes diferencias, si bien en general la guía del SEA muestras leves mejoras, no es algo muy significativo. Por otro lado, es importante mencionar que la guía del SEA, se basa en muchos estudio generados en la guía de la DGA.

### **3.1.6 Tópicos identificados solo en la guía de la DGA.**

#### **3.1.6.1 Validación de Áreas de Importancia Ambiental (AIA):**

Una vez caracterizadas se procede a establecer cuales son las áreas que tienen importancia relacionada con el uso sistémico del recurso hídrico, en base a la información obtenida. Estas zonas se catalogan como AIA's.

La correcta validación de las AIA, se realiza mediante la aplicación de cuatro etapas, estas son:

- **Etapas de terreno y laboratorio:** la idea es que mediante la recopilación de información de terreno, a través de muestreos y mediciones directas en el río, se valide el inventario de AIA.
- **Levantamiento de secciones topobatimétricas transversales:** define la existencia de dos tipos de secciones topobatimétricas necesarias para la determinación del caudal ecológico. La primera son las secciones vinculadas con las AIA y la segunda las secciones vinculadas con la caracterización de la geometría del cauce del río.
- **Inventario de Áreas de Importancia Ecológica (AIE):** se debe realizar una Línea de Base que considere la descripción del hábitat, calidad del agua y descripción de flora y fauna acuática.
- **Inventario de Áreas de Uso Antrópico:** menciona que se debe completar el catastro con información recopilada en terreno y entrevista a pobladores del sector. También se debe verificar la posición de los usos, por ejemplo punto en específico (pesca) o tramo del río (descenso en rafting).

### **3.1.7 Tópicos identificados solo en la guía del SEA.**

#### **3.1.7.1 Caracterización de Zonas Ribereñas**

Establece que las zonas ribereñas son **áreas de transición** entre la zona terrestre y el ecosistema acuático, las cuales cumplen un rol importante en el medio ambiente de ambas zonas ya que presentan varios servicios ambientales como por ejemplo filtro de nutrientes o generación de microclimas, entre otros.

También indica que la vegetación de las zonas ribereñas se puede ver afectada por los proyectos hidroeléctricos debido a la alteración del hidrograma anual y la disminución de las crecidas.

A raíz de todo lo anterior la caracterización de la zona ribereña debe considerar aspectos como:

- las especies vegetales presentes,
- identificar la presencia de especies en estado de conservación,
- abundancia de la vegetación, su heterogeneidad y regeneración.

#### **3.1.7.2 Caracterización del Proyecto**

La guía del SEA establece que se debe realizar una apropiada caracterización de las obras del proyecto hidroeléctrico a construir, la cual debe ir en el capítulo de descripción del proyecto del EIA o DIA respectivamente.

Sin embargo, esto es algo innecesario de mencionar ya que, según lo establecido en el propio reglamento del SEIA, cualquier proyecto que ingrese, ya se por una DIA o un EIA debe tener una descripción del proyecto bastante detallada.

### **3.1.8 Determinación del Caudal Ecológico o Ambiental.**

#### **3.1.8.1 Guía DGA**

##### **3.1.8.1.1 Determinación de umbrales ambientales por AIA.**

Se define los umbrales mínimos de caudal que aseguran la mantención y desarrollo de las comunidades acuáticas, como también de los diversos usos antrópicos.

- **Umbrales de mantención de las áreas de importancia ecológica (AIE):** aquí se debe identificar a través de la geomorfología de los ríos los lugares que favorecen el desarrollo de la flora y la fauna acuática, tales como, plataformas litorales meandros, pozas y zonas trezadas.

Por otro lado establece que debido a la elevada diversidad de especies que puede presentar un río, se utilizan ciertos organismos como indicadores de condiciones globales de la biodiversidad acuática.

Para el caso de la guía se utilizan los peces, debido a que se encuentran en los niveles tróficos más altos de la trama trófica. A partir de lo anterior propone establecer umbrales hídricos de AIE en secciones que presenten desarrollo litoral (someros), donde el rango de altura de escurrimiento promedio debe ser entre el 20-40 cm.

Este rango generalmente corresponde a la **condición de estiaje**, la cual representa la condición mínima que el que el ecosistema reconoce como natural, por lo tanto es un caudal que puede mantener el desarrollo de los peces. Sin embargo, esta condición por si sola no es suficiente para asegurar el desarrollo de otras especies más sensibles.

Es por esto que se debe asegurar que en las etapas de desove y reclutamiento, se respete el caudal basal que esta especie necesita.

- **Umbrales para la Mantención de Áreas de Usos Antrópicos (AUA):** Se establece que de acuerdo a cada actividad se puede definir umbrales para su desarrollo. En este caso se basa en un tabla de umbrales para diversas actividades (nado, remo, pesca, entre otras). Esta tabla fue elaborada por autoridades ambientales de Nueva Zelanda.

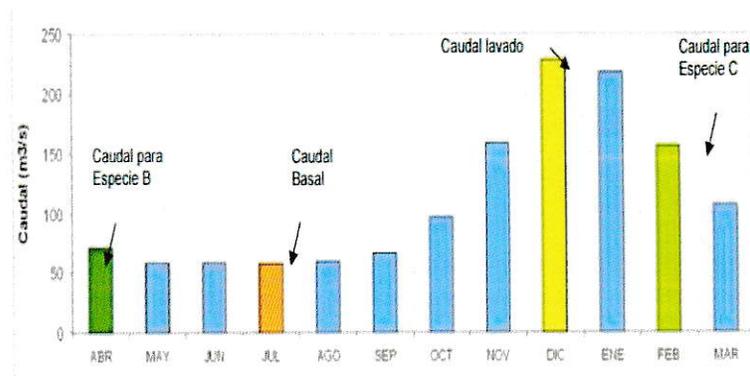
### 3.1.8.1.2 Modelación de Escenarios de Caudal Ecológico para la Mantenición de AIA's

A través de la implementación de un modelo hidráulico que represente las condiciones de flujo del río, en especial de las AIA, se determinará el caudal necesario para mantener las AIE y AUA.

Para la implementación del modelo hidráulico se necesita información de la topografía del cauce a nivel longitudinal, topobatimetría de las secciones transversales (tomada del tópicó validación de las AIA's, mencionado anteriormente) y la rugosidad del cauce.

Luego se define el rango de caudales que representan las condiciones medias y extremas de la estadística hidrológica. Por último se analizan las condiciones hidrodinámicas en las secciones de control de cada AIA utilizando para ello los umbrales de mantención definidos para las AIE y AUA.

Por último, se define que para cada AIA se debe tener un caudal que permita mantener en forma integrada los requerimientos mínimos de cada una de ellas. En la figura 6, se muestra un ejemplo de un hidrograma de un río con régimen nival, en donde se han estimado los caudales que permitirían mantener las diferentes AIE.

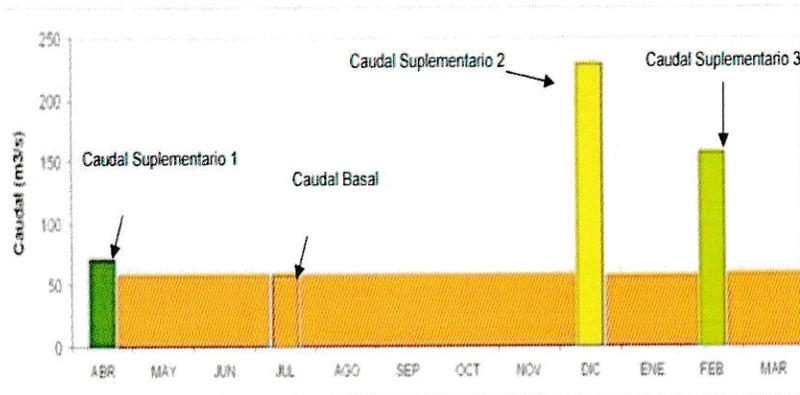


**Figura 6:** Ejemplo de hidrograma con el total de los caudales estimados para cada AIE.

Fuente: DGA & CEA, 2008

Finalmente, se determina que el caudal ecológico es la envolvente que captura

cada uno de los umbrales definidos temporalmente por los AIA's. Es así que en la Figura 7 se muestra una interpretación del caudal ecológico que tiene como referencia al caudal basal (por ejemplo, la condición de estiaje), con el suplemento de una serie de caudales definidos por las AIE y AUA presentes en un río específico.



**Figura 7:** Caudal mínimo ecológico con referencia en un caudal basal. Fuente: DGA &CEO

### 3.1.8.2 Guía SEA

La guía del SEA establece una metodología basada en la valoración del sistema, para así determinar que método se debe emplear para la determinación del caudal ecológico.

#### 3.1.8.2.1 Valoración del Sistema en el Área de influencia.

Luego de realizada las caracterizaciones se procede a la valorización ambiental del sistema, la cual se divide en dos: valorización de la calidad del sistema y valorización de la alteración hidromorfológica.

- **Valoración de la Calidad del Sistema.** Se considera tres aspectos que están relacionados a los servicios ecosistémicos que presta el río. Estos son: usos antrópicos en el AI, especies en categoría de conservación presentes en el AI y calidad ambiental del río.
  - Usos antrópicos. La valoración se basa en la identificación de los tipos de usos en el AI. Si se identifica alguno de ellos el valor es 1, por el contrario si no

está presente el valor es 0, así como se presenta en la tabla 1.

**Tabla 1:** Valoración del río y su ecosistema de acuerdo a los tipos de usos antrópicos que se desarrollan en el AI.(EcoHyd, 2011).

Usos	Valor
Estético	0-1
Recreación con contacto	0-1
Recreación sin contacto	0-1
Valor Final (Sumatoria)	[0-3]

-Especies en categoría de conservación en el AI. Se considerara distintos escenarios o combinaciones posibles, en base a la presencia de especies en categoría de conservación, nativas sin conservación y especies introducidas. En la matriz se pondera más aquellos ambientes con especies en categorías más críticas, como se observa en la tabla 2, así por ejemplo si las dos especies representativas del AI están categorizadas como especies nativas, ya sea en peligro crítico o vulnerables, obtendrán la valoración más alta de 3.

**Tabla 2:** Valoración ecológica del río en función de la presencia de especies nativas con o sin categoría de conservación, o con especies introducidas en el AI. (EcoHyd, 2011).

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg);">Especie 1</div> <div style="display: inline-block; transform: rotate(45deg);">Especie 2</div>	Especies nativas “En peligro crítico”; “En peligro”, “Vulnerables” o “Casi amenazada”	Especies nativas de “preocupación menor”	Especies nativas sin categoría de conservación	Introducida
Especies nativas “En peligro crítico”; “En peligro”, “Vulnerables” o “Casi amenazada”	3	3	3	3
Especies nativas de “preocupación menor”	3	2	2	2
Especies nativas sin categoría de conservación	3	2	1	1
Introducida	3	2	1	0

- Calidad ambiental del río en el AI Se evalúa según las características físicoquímicas y los usos definidos por la norma chilena 1.333, en sus acápites de requisitos para aguas destinadas para riego, recreación y estética, y vida acuática, como se observa en la tabla 3.

**Tabla 3:** Valoración del río y su ecosistema de acuerdo a la calidad medioambiental en el AI. (EcoHyd, 2011).

<b>Características del cuerpo de agua</b>	<b>Valor</b>
Posee NSCA o cumple con requisito de recreación con contacto directo y vida acuática (NCh 1.333)	3
Cumple con requisito de vida acuática y recreación sin contacto directo (NCh 1.333)	2
Cumple con requisito de recreación sin contacto directo (NCh 1.333)	1
Solo cumple para riego (NCh 1.333) o es de calidad inferior	0
Valor (Máximo)	[0-3]

NSCA: norma secundaria de calidad de ambiental.

- Valoración conjunta de la calidad del sistema, Será una sumatoria de todos los valores obtenidos anteriormente. Los valores se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4:** Valoración conjunta de la calidad del sistema. (EcoHyd, 2011).

<b>Valor</b>	<b>Nivel de valoración del sistema</b>
0-2	Baja
3-6	Media
7-9	Alta

- **Valoración de la Alteración Hidromorfológica.** Se identifican las alteraciones hidromorfológicas que puede causar el proyecto hidroeléctrico, sobre el sistema. Para esto se consideran tres aspectos: temporalidad del hidrograma producto de la operación del proyecto hidroeléctrico y alteración en el gasto sólido producto de las obras hidráulicas que componen el proyecto hidroeléctrico.

- Alteración del hidrograma producto de la magnitud de captación, se determina como la razón entre el caudal asociado a la máxima potencia instalada de la central hidroeléctrica y el caudal medio anual del río en su régimen actual.

$$IAH_M = \frac{Q_{MT}}{Q_{MA}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dónde:

$IAH_M$ : es el índice de alteración hidromorfológica para la magnitud de captación.

$Q_{MT}$ : es el caudal máximo turbinable por la central hidroeléctrica.

$Q_{MA}$ : es el caudal medio anual en régimen actual en el punto de captación.

Según el valor resultante del índice, el cual evidencia el grado de alteración esperada por la extracción del caudal para turbinar, se definen 4 niveles de alteración esperada, mostradas en la tabla 5.

**Tabla 5:** Clases de alteración de la magnitud hidrológica esperada, producto de la operación de la central.  $IAH_M$  se define como la razón entre el caudal máximo turbinable ( $Q_{MT}$ ) y el caudal medio anual ( $Q_{MA}$ ) en régimen actual. (EcoHyd, 2011)

Índice	Valoración	Valor
$IAH_M < 30\%$	Mínima alteración	0
$30\% \leq IAH_M \leq 50\%$	Baja alteración	1
$50\% < IAH_M < 70\%$	Media alteración	2
$IAH_M \geq 70\%$	Alta alteración	3

- La alteración de la temporalidad del hidrograma, producto de la operación de la central hidroeléctrica, hace referencia a la existencia de un desfase en la temporalidad de los caudales altos y bajos a nivel mensual. Siendo el caso más extremo aquel en donde el hidrograma se invierte completamente.

Para evaluar el impacto, se determina que es posible establecer una

relación entre los tipos de bocatoma de las centrales hidroeléctricas y la alteración del hidrograma, como se puede observar en la tabla 6.

**Tabla 6:** Valoración del impacto esperado en la temporalidad del hidrograma de acuerdo al tipo de obra de captación del proyecto hidroeléctrico. (EcoHyd, 2011).

Tipo de bocatoma	Identificación de la alteración esperada	Valor
<b>Rubber dam, clapetas, fusible</b>	Baja alteración en las ondas de crecida	0
<b>Tirolesa</b>	Baja laminación de eventos de crecida. Con captación de caudal en estos eventos	1
<b>Barreras móviles o frontales menores a 10 m de altura</b>	Alteración en laminación de crecidas. Con captación de caudal en estos eventos	2
<b>Barreras frontales mayores a 10 m de altura</b>	Alta laminación de eventos menores de crecida. Puede producir inversión del hidrograma anual dependiendo de la regla de operación y de la capacidad del volumen de regulación	3

- Evaluación de alteración del gasto sólido. Se basa en la valoración de la alteración del régimen de sedimentos, bajo el supuesto de que todo proyecto hidráulico produce una alteración en la movilidad de estos y que esto vendrá dado por los niveles de gasto sólido que presenta el río.

Por otro lado, se asocia la cantidad de sedimentos arrastrados a los tipos de ríos y a las fuentes de alimentación de estos y su pendiente. Tabla 7.

**Tabla 7:** Valoración de la potencial alteración del gasto sólido producto de la central hidroeléctrica. (EcoHyd, 2011)

Potencial nivel de alteración	Características Hidromorfológicas del río	Valor
Casi nula	Ríos de regulación lacustre. Debido a que estos suelen ubicarse en el sur de Chile, presentan bajas pendientes.	0
Leve	Ríos de origen pluvial. Pendientes medias y bajas. Ríos de origen nival. Bajas pendientes.	1
Media	Ríos de origen nival. Pendientes medias y bajas. Ríos de origen pluvial. Pendientes altas.	2
Elevada	Ríos de origen glacial. Pendientes altas y medias, y algunos de pendiente baja.	3

Por último la valoración conjunta de la alteración hidromorfológica, será la sumatoria de todos los valores antes obtenidos en esta valoración, como se observa en la tabla 8.

**Tabla 8:** Valoración conjunta de la alteración hidromorfológica esperada por el proyecto. (EcoHyd, 2011)

Nivel	Nivel de alteración hidromorfológica esperada
0-2	Baja
3-6	Media
7-9	Alta

### 3.1.8.2.2 Elección y Desarrollo del Método

En la etapa II de la guía se determina el método o los métodos apropiados para la determinación del caudal ambiental, a partir de las valoraciones antes descritas.

**Tabla 9:** Identificación del grupo de métodos adecuados a implementar en el estudio de caudales ambientales considerando la valoración de la calidad del sistema y la alteración hidromorfológica esperada, producto de la operación del proyecto hidroeléctrico. (EcoHyd, 2011)

		Calidad del sistema		
		Niveles	0-2	3-6
Alteración hidromorfológica	0-2	-Métodos hidrológicos	-Métodos hidrológicos -Métodos hidráulicos	-Simulación hidráulica -Simulación de hábitat
	3-6	-Métodos hidrológicos	-Simulación hidráulica Simulación de hábitat	-Simulación de hábitat
	7-9	-Métodos hidrológicos -Simulación hidráulica	-Simulación hidráulica -Simulación de hábitat	-Simulación de hábitat -Modelos calidad del agua

Como se observa en la tabla 9 dependiendo de la valoración en conjunto que se obtuvo tanto en la calidad del sistema, como en la alteración hidromorfológica, se obtienen distintas opciones de métodos para la determinación del caudal ambiental.

Para los casos en que se presentan dos opciones de métodos se deberá seleccionar aquel que más se ajuste a las características del río en donde se implementara el proyecto, todo esto debe ser justificado por el titular del proyecto.

**Conclusión.** En ambas guías la determinación de caudal ecológico o ambiental se realiza de manera diferente. Por un lado la guía de la DGA establece solo un método para el cálculo del caudal ecológico, mientras que la guía del SEA ofrece más de un método, dependiendo de la valoración obtenida.

Para el caso de la guía de la DGA solo se utiliza el método hidráulico para la determinación del cálculo del caudal ambiental, en cambio la guía del SEA se estipulan cuatro métodos: métodos hidrológicos, hidráulicos, de simulación hidráulica y simulación de hábitat.

### **3.2 Breve comparación entre la Guía del SEA y la Guía de Caudales Ecológicos de Nueva Zelanda (NZ).**

#### **3.2.1 Guía neozelandesa.**

La guía sobre caudales ecológicos de Nueva Zelanda, “Draft Guidelines for the Selection of Methods to Determine Ecological Flows and Water Levels”, publicada el año 2008, pertenece al Ministerio del Medio Ambiente de ese país y fue elaborada por BECA infrastructure Ltd.

La guía nace debido a la necesidad del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de normar la metodología para la determinación del caudal ecológico, para lo cual buscó directrices científicas.

##### **3.2.1.1 Evaluación de los valores de caudal y factores críticos.**

Se entiende como valores de caudal, aquellos tópicos o actividades (por así llamarlo) que se puedan ver afectados debido a una alteración del caudal ecológico.

Los valores de caudal son agrupados de la siguiente manera:

- a. Valores ecológicos (denominados valores intrínsecos del río).
- b. Paisaje y características naturales del río.

- c. Valores recreativos, tales como la pesca y la pesca deportiva.
- d. Valores recreativos, tales como canotaje y otras actividades recreativas que se lleven a cabo tanto en el río, como cercanas a él.
- e. Valores de los Maoríes (etnia polinésica) incluyendo su tipo de pesca tradicional.
- f. Valor comercial de la pesca.

Es así que determina que la evaluación de los valores de caudal es importante para una correcta selección de un régimen de caudal ecológico, debido a que establece los valores que se puedan ver afectados por una disminución del caudal natural, como por ejemplo las comunidades biológicas.

Dentro de los valores ecológicos se encuentran los biológicos y es aquí en donde la guía hace hincapié en diversas comunidades biológicas (hay una lista) que se debe considerar y los factores que deben tomarse en cuenta al momento de caracterizarlos.

Estos factores son los denominados, “factores críticos” los cuales son parte importante del proceso, ya que los valores de caudal pueden verse directamente o indirectamente afectados por estos factores.

#### **3.2.1.2 Determinación del grado de alteración hidrológica.**

Este tópico está principalmente enfocado en la relación que tiene la alteración de un cauce y el efecto que tiene en la fauna íctica nativa que presentan los ríos de Nueva Zelanda, la cual está completamente estudiada y caracterizada.

#### **3.2.1.3 Determinación del método para calcular el caudal ecológico.**

Para esto se muestra una matriz (tabla 10) en donde se evalúa el grado de alteración hidrológica versus la importancia de los valores de caudal.

**Tabla 10:** Métodos utilizados para la determinación del caudal ecológico en la Guía de Nueva Zelanda.

Grado de Alteración Hidrológica	Importancia de los Valores de Caudal		
	Bajo	Medio	Alto
	- Método de flujo histórico.	- Método de flujo histórico.	- Modelos de hábitat generalizados.
<b>Bajo</b>	- Panel de Expertos.	- Panel de Expertos.	- Modelo hidráulico de hábitat 1D - Conectividad/Paso de los peces. - Análisis de flujo de duración.
<b>Medio</b>	- Método de flujo histórico. - Panel de Expertos. - Modelos de hábitat generalizados	- Modelos de hábitat generalizados. - Modelo hidráulico de hábitat 1D. - Conectividad/Paso de los peces.	- Modelo hidráulico de hábitat 1D. - Modelo hidráulico de hábitat 2D. - Modelo de oxígeno disuelto. - Modelo de temperatura. - Sedimentos en suspensión. - Modelo bioenergético de peces. - Modelo de aguas subterráneas. - Flujo Seston. - Conectividad/Paso de los peces. - Análisis de la variabilidad de flujo.
<b>Alto</b>	- Modelos de hábitat generalizados - Modelo hidráulico de hábitat 1D. - Conectividad/Paso de los peces. - Modelo de Biomasa perifiton.	- Modelo de arrastre. - Modelo hidráulico de hábitat 1D. - Modelo hidráulico de hábitat 2D. - Estabilidad bancaria. - Modelos de temperatura. - Sedimentos en suspensión. - Modelo bioenergético de peces. - Modelo de inundación. - Modelo de aguas subterráneas. - Flujo Seston. - Conectividad/Paso de los peces. - Modelo de Biomasa perifiton.	- Modelo de arrastre. - Modelo hidráulico de hábitat 1D. - Modelo hidráulico de hábitat 2D. - Estabilidad bancaria. - Modelos de temperatura. - Sedimentos en suspensión. - Modelo bioenergético de peces. - Modelo de inundación. - Modelo de aguas subterráneas. - Flujo Seston. - Conectividad/Paso de los peces. - Modelo de Biomasa perifiton. - Análisis de la variabilidad de flujo.

La guía estipula que se debe utilizar uno o más de los métodos planteados en la tabla 10 a excepción de las situaciones con alto impacto, en las cuales se deberá utilizar dos o más métodos. Precisamente por representar una situación de alto riesgo, la guía estipula que el cálculo del caudal ecológico debe quedar respaldado de una manera mucho mas solida y por lo tanto usar, por lo bajo, dos métodos de cálculo.

### **3.2.2 Comparación entre la Guía SEA y la Guía Neozelandesa**

Al analizar la guía de caudal ecológico de Nueva Zelanda llaman la atención los siguientes aspectos.

- i. No se realiza una caracterización de tópicos, como en la guía del SEA, sino que más bien establece los tópicos a considerar y deja los estudios a manos de expertos en cada materia. Es así como la guía establece, un marco de los temas importantes para la determinación del caudal ecológico. No así la guía del SEA, la cual establece una metodología y un sistema basado en puntuaciones.
- ii. La guía de NZ se basa, para todos sus tópicos, en estudios realizados por ellos mismos, ya sea para fauna y flora nativa. En contraste a lo que sucede con la guía del SEA y también con la guía de la DGA, ya que si bien hay unos pocos estudios realizados a la fauna íctica nativa de Chile, en general hay muy pocos estudios de esta misma, tanto de su caracterización, como de sus ciclos reproductivos, entre otras cosas.
- iii. La importancia y consideración que se tiene en la guía de NZ sobre los Maoríes, etnia que habita el país. Ya que está dentro de los valores de caudal que se debe considerar y respetar, al momento de determinar el caudal ecológico que deben respetar los proyectos hidroeléctricos.

Si comparamos este último punto con la guía del SEA, en ella no se menciona ningún pueblo originario al cual se le deban respetar su cultura o costumbres, debido a la posibilidad de que se puedan ver afectados por algún proyecto hidroeléctrico cercano a su localización. Lo más cercano, de alguna manera, es la caracterización antrópica en donde habla de incorporar variables sociales, pero sin referirse a ninguna en específico.

### **3.3 Aplicación de la guía del SEA a proyectos hidroeléctricos.**

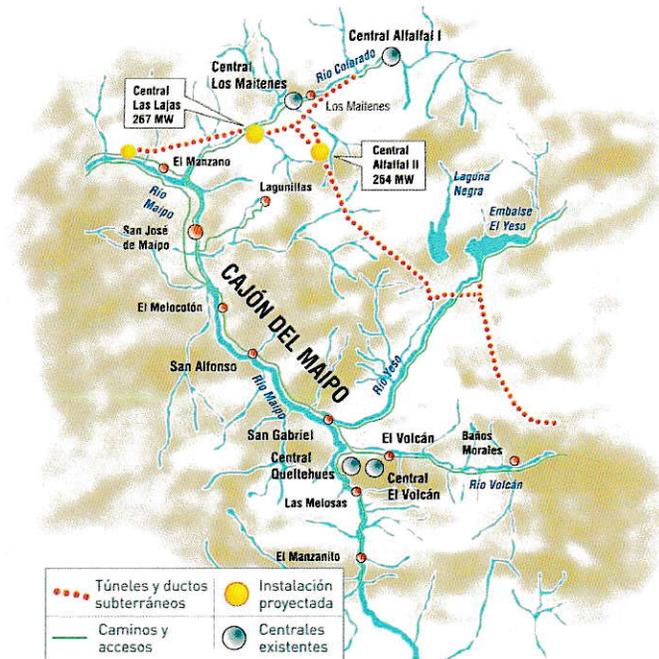
Los proyectos seleccionados fueron Alto Maipo y Los Aromos. A continuación se procederá a realizar una pequeña descripción de los proyectos, un análisis del método utilizado para el cálculo del caudal ecológico y la posible aplicación de la guía del SEA a los mismos, a partir de la información presentada en los estudios de caudal ecológico.

#### **3.3.1 Descripción del proyecto hidroeléctrico Alto Maipo.**

El proyecto hidroeléctrico Alto Maipo, perteneciente al titular Sociedad Alto Maipo sPa, filial de AES Gener S.A., consiste en la construcción de dos centrales hidroeléctricas de pasada, que se ubicaran en la comuna de San José de Maipo, Provincia de Cordillera, Región Metropolitana, específicamente en la cuenca alta del río Maipo.

Las dos centrales operarán en serie y en conjunto generarán una potencia máxima de 531 MW, los cuales serán entregados al SIC.

La primera central se llama **Alfalfal II** y se ubicara en la subcuenca del río Colorado, aguas abajo de la actual central hidroeléctrica Alfalfal I, utilizará las aguas provenientes de la zona alta del río Volcán y el río Yeso. La segunda central se llama **Las Lajas** y se ubicará en la ribera sur del río Colorado. Esta central aprovechará las aguas provenientes de las descargas de las centrales Alfalfal I y II mas los aportes de la hoya intermedia del río Colorado y la subcuenca del estero Aucayes (Figura 8).



**Figura 8:** Ubicación del proyecto hidroeléctrico Alto Maipo. Fuente: AES Gener S.A.

El proyecto ingresó al SEIA mediante un estudio de impacto ambiental (EIA), el 28 de mayo de 2008 y en la actualidad se encuentra aprobado, con fecha de entrega de su resolución de calificación ambiental (RCA) el 31 de marzo de 2009.

En el estudio de impacto ambiental, presentado por el proyecto, la mención del cálculo del caudal ecológico aparece en el capítulo de descripción de proyecto, en donde se presenta un resumen del estudio realizado, el cual se encuentra completo en el anexo 10 de dicho estudio.

Por otra parte, al momento de revisar los planes de mitigación, compensación y/o reparación del EIA, se encuentra que el caudal ecológico es considerado como una medida de mitigación, tanto para la intervención en la vegetación, como en el desplazamiento local de especies de fauna (acuática en este caso) y en la alteración del paisaje.

### **3.3.1.1 Análisis del estudio de caudal ecológico del proyecto Alto Maipo.**

El estudio del caudal ecológico realizado por el proyecto, menciona que su análisis está basado en lo que dictamina la DGA para el cálculo del caudal ecológico, es decir a través del método hidrológico establecido en el manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos del 2008 (cap. 3.1.2).

Para esto el titular cuenta con registros de datos en los cauces de más de 50 años, por lo tanto no habría problema de aplicar el método hidrológico establecido por la DGA.

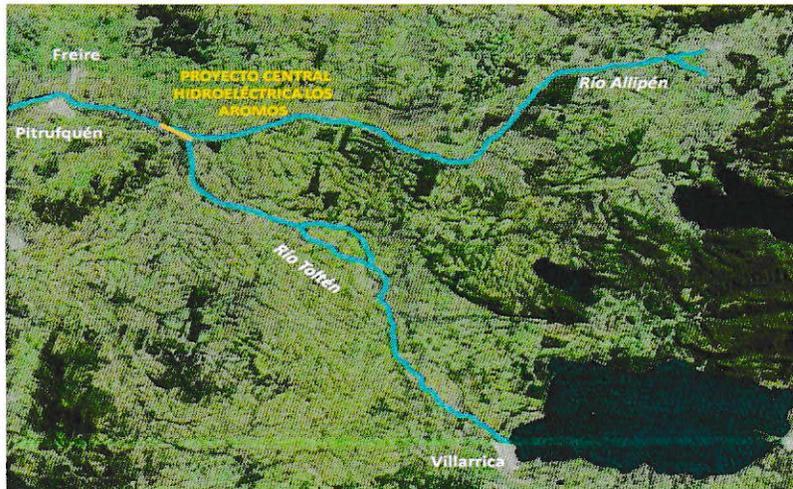
El estudio también menciona que la operación y construcción de las centrales requiere de un estudio de caudal ecológico más allá de una determinación hidrológica, es así que el análisis lo realiza mediante “metodologías definida por la DGA”, sin embargo no hace referencia a ninguna guía en particular.

No obstante el análisis del estudio, sugiere que el cálculo está basado prácticamente en la guía de la DGA, analizada previamente, ya que se realiza en primera instancia una caracterización de la zona de estudio y luego el cálculo del caudal ecológico. Es así como determina zonas de importancia biológicas (similares a las áreas de importancia ecológica), mediante una caracterización sistemática de los cursos de aguas, centrándose en la caracterización hidrológica, biológica, morfológica e hidráulica de los mismos.

El estudio sin embargo establece un método de simulación de hábitat para la determinación del caudal ecológico y no el que establece la guía de la DGA, que es un método hidráulico. La justificación de por qué elige ese método, no se encuentra en el estudio.

### **3.3.2 Descripción del proyecto hidroeléctrico Los Aromos.**

La central hidroeléctrica Los Aromos, perteneciente a Mini central Hidroeléctrica Saltos de los Andes S.A., es una central hidroeléctrica de pasada, ubicada en el río Toltén, comuna de Freire, región de la Araucanía (figura 10). La central poseerá una potencia instalada de 19,9 MW, las cuales serán entregados al SIC.



**Figura 9:** Ubicación central hidroeléctrica Los Aromos. Fuente: Chile sustentable.

El proyecto hidroeléctrico ingresó al SEIA a través de un estudio de impacto ambiental el 23 de diciembre de 2013 y a la fecha aún no obtiene su resolución de calificación ambiental (se encuentra en proceso de calificación).

En el estudio de impacto ambiental, el tema del caudal ecológico aparece en la parte de descripción de proyecto y es considerado como una medida de mitigación ambiental. Por otra parte en la descripción se indica que el estudio en sí del caudal ecológico, aparece como un capítulo de la Línea de Base.

Ahora bien, el estudio realizado para determinar el caudal ecológico, se basa solo en el método hidrológico estipulado por la DGA. Además, no menciona el manual de normas y procedimiento de la DGA, sino que solo dice basarse en el caudal otorgado al momento de recibir derechos de aprovechamientos de agua.

Es así que sólo presenta los datos de caudales medios diarios del río Toltén desde 1980 hasta 2011, es decir 31 años de datos, para el cálculo.

De todas maneras estipula que el caudal ecológico se suministrara a través de dispositivos, llamados sistema de pasos, como

- Vertedero fijo de la margen izquierda,
- Dos escalas de peces,
- Vertedero superior de la compuerta Taintor de la margen derecha y

- Vertederos con compuertillas sobre las compuertas Wagon de limpia.

Si bien el estudio de impacto ambiental del proyecto no utiliza una metodología como las estudiadas, para la determinación del caudal ecológico, si realiza estudios tanto de flora y fauna, como hidrológicos, sin embargo todos ellos como parte de las descripciones de la línea base.

### **3.3.3 Aplicación de la Guía del SEA a los proyectos descritos.**

A continuación se realiza un análisis de factibilidad de aplicación de la guía del SEA, a los estudios de caudales ecológicos de los proyectos Alto Maipo y Los Aromos, mediante la información entregada en los EIA's de estos mismos. En el caso de Alto Maipo específicamente a través de su estudio de caudal ecológico.

Debido a que el proyecto Alto Maipo corresponde a dos centrales hidroeléctricas de pasada, ubicadas en dos ríos, para términos de facilitar la aplicación de la guía del SEA se aplicó solo a la central Alfalfal II, ya que la central Las Lajas utiliza aguas provenientes de las centrales ubicadas aguas arriba de ella, como se mencionó anteriormente.

Los puntos de evaluación para la aplicación de la guía del SEA, serán los determinados en el punto 3.1.8.2 , respecto a la valorización del sistema. Primero se evaluará la valorización de la calidad del sistema y luego la alteración hidromorfológica (punto 3.1.8.2.1).

#### **3.3.3.1 Valoración de la calidad del sistema.**

- a) Usos antrópicos (tabla 1):
  - Alto Maipo: el estudio del proyecto determina que la zona en donde se inserta el proyecto
    - o posee sitios de interés paisajístico, como escurrimiento superficial, espejos y caídas o saltos de agua (usos estéticos),

- presenta zonas de desarrollo turístico como camping, escalada montañismo, balneario, pesca y navegación (usos recreativos con contacto directo y sin contacto directo).
- Los Aromos: En el área de influencia del proyecto, habitan comunidades mapuches que hacen uso del río.
- se identifican zonas de ceremonias y rituales (usos estéticos) utilizados por la comunidad.
  - La zona de influencia no presenta zonas de balnearios, camping, kayak, etc. (recreación con contacto directo). Si se utiliza partes del tramo del río como zona navegable (recreación sin contacto directo).
- b) Especies en categorías de conservación (tabla 2):
- Alto Maipo En el estudio se muestra que
- el sistema limnológico, presenta una baja valoración ambiental representada por una baja riqueza y abundancia de vida acuática.
  - La fauna íctica es principalmente introducida, no encontrándose especies en estado de conservación. Sin embargo se encontraron dos especies, en la zona de interés biológico, en categoría de peligro, estas son Cururo y el sapito cuatro ojos.
- Los Aromos. En la zona de influencia del proyecto se encontraron peces y vegetación nativa, sin embargo ninguna de ellas están categorizadas como en peligro o vulnerables.
- c) Calidad ambiental del río (Tabla 3)
- Alto Maipo: el río el Yeso, el Volcán y Colorado, cumplen con los requisitos de vida acuática y recreación sin contacto directo.
- Los Aromos: el río Toltén cumple con los requisitos para la vida acuática y recreación sin contacto directo,
- d) Valoración conjunta (tabla 4):

- Alto Maipo: al sumar todas las valoraciones se obtiene un valor de 8 lo que equivale a un nivel de valoración de sistema alto.
- Los Aromos: la suma de todas las valoraciones da un total de 5, lo significa que tiene un nivel medio de valoración del sistema.

### 3.3.3.2 Alteración Hidromorfológica.

- a) Alteración del hidrograma producto de la magnitud de captación (tabla 5):
- Alto Maipo: La central Alfalfal II, está ubicada en el río Colorado, el cual cuenta con un caudal medio anual  $32,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Además el caudal máximo turbinable por esta central es de  $27 \text{ m}^3/\text{s}$ . Lo cual da un índice de alteración hidromorfológica (ecuación 1) de 88,3 %, la que equivale a una alteración alta.
  - Los Aromos: El río Toltén tiene un caudal medio anual de  $373,65 \text{ m}^3/\text{s}$ , el máximo turbinable por la central hidroeléctrica los aromos es de  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo cual equivale (utilizando la ecuación 1) a 32,1 %, lo que significa que el la alteración hidromorfológica es baja.
- b) Alteración de la temporalidad del hidrograma (tabla 6):
- Alto Maipo: la central Alfalfal II, presenta una bocatoma de tipo tirolesa, identificada con una baja laminación de eventos de crecidas.
  - Los Aromos: la central hidroeléctrica los Aromos presenta una bocatoma de tipo clapetas, lo que equivale a una baja alteración en las ondas de crecidas.
- c) Alteración del gasto solido (tabla 7):
- Alto Maipo: el río Colorado tiene como principal afluente el río Olivares el cual es de origen glacial. Por lo tanto el potencial nivel de alteración es elevada.

- Los Aromos: el río Toltén al ser de regulación lacustre (nace en el lago Villarrica) presenta un bajo nivel de alteración.

d) Valoración conjunta de la alteración hidromorfológica (tabla 8):

- Alto Maipo: Al sumar todos los valores se obtiene una valoración de 7 la cual es considerada como un alto nivel de alteración hidromorfológica.

- Los Aromos: la suma de todos los valores de alteración hidromorfológica del proyecto los Aromos da un valor de 1, lo que equivale a nivel de alteración bajo.

**Tabla 11:** Puntajes obtenidos para los proyectos en estudio, al aplicar la guía del SEA.

Proyecto	Río	Valoración Calidad del Sistema				Alteración Hidromorfológica.			
		Usos Antrópicos	Categoría de conservación	Calidad ambiental río.	Total	Alto. Hidrograma	Alto-. Temporalidad	Gasto solido	Total
Alto Maipo	Colorado	3	3	2	8	3	1	3	7
Los Aromos	Toltén	2	1	2	5	1	0	0	1

### 3.3.3.3 Selección del método para calcular caudal ecológico de acuerdo a Guía SEA.

Finalmente, con los valores totales de valoración de la calidad del sistema y la alteración hidromorfológica, se puede identificar el método que estipula la guía del SEA para calcular el caudal ecológico.

Utilizando la tabla 9, para el proyecto hidroeléctrico Alto Maipo, los métodos recomendados son los de simulación de hábitat y modelos de calidad del agua y para el proyecto hidroeléctrico Los Aromos se recomienda utilizar ya sea métodos hidrológicos o métodos hidráulicos.

### 3.4 Reflexiones finales.

Luego de estudiar la guía del SEA, compararla con la guía del la DGA y finalmente aplicarla a dos proyectos hidroeléctricos, se puede señalar lo siguiente:

- i. Una vez aplicada la guía, con la información obtenida de los estudios de impacto ambiental, se llegó a la determinación que la guía del SEA sugiere:
  - Para Alto Maipo un método de simulación de hábitat o modelos de calidad de agua, para el cálculo del caudal ambiental. Lo que no deja de ser curioso, ya que el estudio de Alto Maipo precisamente realizó su determinación del caudal ecológico mediante el método de simulación de hábitat.
  - Para Los Aromos, la aplicación de un método hidrológico o hidráulico para calcular el caudal ecológico no obstante el estudio del proyecto utilizó el método hidrológico determinado por la DGA para su estipulación.

Por lo tanto no se observa un cambio significativo, entre aplicar la guía del SEA, o utilizar los métodos establecidos por la DGA, que fueron los que utilizaron los proyectos estudiados.

Esto nos deja la interrogante de qué tan necesaria es esta nueva guía para una correcta determinación del caudal ecológico o ambiental, ya que según lo observado en los proyectos estudiados, ya sea a través de las metodologías o indicaciones de la DGA o lo establecido en la guía del SEA, se llega a la aplicación de los mismos métodos. Y si bien la guía del SEA es distinta en la metodología que utiliza para la determinación del caudal ecológico, versus la guía de la DGA, los resultados finales son muy similares en ambas.

- ii. La guía del SEA en sí, se presenta como un documento de carácter indicativo y referencial, por lo cual surge la pregunta quién será el organismo técnico que tendrá la tuición de esta guía, ya que al no ser obligatoria, quedaría en manos de los titulares de proyecto en escoger que guía les conviene más usar.

Por otra parte puede que algún órgano de la administración del Estado con competencia ambiental (OAECA), exija el uso de esta guía en el DIA o EIA, lo que lleva al problema de que la guía no es clara en este punto, ya que no queda bien estipulado si es aplicable sólo a proyectos que ingresan por EIA's o también a los que ingresan por DIA's.

También puede ocurrir que un OAECA exija el uso de la guía del SEA, pero que la DGA (que pertenece a las OAECA), exija el uso de su guía para la determinación del cálculo del caudal ecológico, presentándose así otro problema para los titulares de proyectos.

Aquí en todo caso, se presenta el punto a favor de que el caudal ecológico (como definición), está estipulado por ley (capítulo 3.1.1) por lo tanto la guía de la DGA tiene un respaldo legal, para su uso y no así la guía del SEA, ya que como se menciona el caudal ambiental, como termino, no existe en la legislación chilena.

Finalmente, si bien la guía del SEA, presenta una metodología ordenada y clara para el cálculo del caudal ecológico o ambiental, no representaría una mejora significativa en el tema y más bien traería problemas en la estipulación del régimen del caudal ecológico.

#### IV. CONCLUSIONES

- Si bien la guía del SEA, es una guía que presenta una metodología ordenada y clara para determinar el caudal ambiental, no significa, en gran medida una mejora al actual sistema para determinar el caudal ecológico, ya que se seguirá presentando los mismos problemas de aplicación en el SEIA.
- La guía del SEA por otra parte presenta ciertas interrogantes, la primera de ellas va en el hecho de su contradicción al momento de definir a qué tipo de proyectos se debe aplicar ya que inicialmente se menciona, que solo debe aplicarse a proyectos hidroeléctricos que deban ingresar por EIA's, pero posteriormente también se menciona los proyectos que ingresan por DIA's. Lo que lleva a una confusión e incertidumbre por parte de los titulares de los proyectos.
- La guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA, es aplicable a los estudios de impacto ambiental de los proyectos hidroeléctricos estudiados (Alto Maipo y Los Aromos).
- El Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos del año 2008 perteneciente a la DGA que contempla un método hidrológico-matemático para el cálculo del caudal ecológico, no considera otros elementos ambientales importantes del ecosistema acuático, como el uso antrópico del cauce a intervenir, la calidad del agua del río, entre otros. Sin embargo, es el más utilizado en los proyectos, al momento de calcular el caudal ecológico.
- Al realizar un análisis del contexto técnico-legal sobre el caudal ecológico, se puede concluir que a la fecha existe un ordenamiento para el cálculo de éste, específicamente a través de la DGA y en conjunto con el SEA, mediante la guía "Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación". Sin embargo, falta una política respecto a la utilización

de esta guía y sobre su uso obligatorio, para los proyectos hidroeléctricos que ingresen al SEIA.

- La guía Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna íctica Nativa y en Estado de Conservación, de la DGA presenta una buena metodología para el cálculo del caudal ecológico para centrales hidroeléctricas en Chile, sin embargo al compararla con la nueva guía del SEA, se observa que esta última presenta una metodología más específica para la determinación del caudal ambiental y más fácil de aplicar.
- Tener dos guías de dos servicios gubernamentales, regulando el mismo tópico, solo generara confusión y dificultad, y a la larga no soluciona el problema de base que es tener un reglamento claro y específico para la determinación del caudal ecológico y/o ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Biodiversity and Development of the Hydropower Sector. (2010). International Center for Environmental Management.
- Boletín del Mercado Eléctrico, Sector Generación (2015) Generadoras de Chile A.G. Disponible en: <http://generadoras.cl/wp-content/uploads/151008-Boletin-AGG-Mercado-Elctrico-Sector-Generacion-octubre-2015.pdf>
- Capacidad Instalada, Sector Generación Eléctrica. Disponible en: <http://generadoras.cl/generacion-electrica/sector-generacion-electrica/>.
- Centrales Hidroeléctricas de Pasada. PacificHydro. Disponible en: <http://pacifichydro.cl/files/2011/11/Preguntas-frecuentes.pdf>
- Cifuentes R, Gonzales J, Montoya G, Jara A, Ortiz N, Piedra P y Habit P. (2012) Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). Gayana Espacial 101-110.
- Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación (2008). Ministerio de Obras Públicas, Dirección General De Aguas.
- Draft Guidelines for the Selection of Methods to Determine Ecological Flows and Water Levels (2008). Ministerio del Medio Ambiente de Nueva Zelanda.
- Energías Renovables No Convencionales. Ministerio de Energía de Chile. Disponible en: <http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14>
- Estadísticas de Operación 2003-2012 CDEC- SIC. Centro de Despacho Económico de Carga Sistema Interconectado Central. Disponible en: <http://www.cdecsic.cl/wp-content/uploads/ab19481-anuario2013.pdf>
- Estrategia Nacional de Energía 2012-2030, Energía para el Futuro. (2012). Ministerio de Energía. Disponible en: <http://www.cifes.gob.cl/archivos/>
- Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de Centrales de Generación de Energía Hidroeléctrica de Potencia Menor a 20 MW (2012). Servicio de Evaluación Ambiental.
- Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental. Ministerio del Medio Ambiente.
- Hydroelectric Power: A Guide for Developer and Investors. (2015). International Finance Corporation (IFC).

- Introducción Al Cálculo de Caudales Ecológicos (2011), Endesa.
- King, J; Tharme, R; Brown, C. (1999). Definition and Implantation of Instream Flows. Reporte final para World Comission of Dam. University of Cape Town. Sudáfrica.
- Ley N° 19. 300 Sobre Bases Generales Del Medio Ambiente (1994), actualizada por la ley N° 20.417 (2010). Ministerio del Medio Ambiente.
- Manual de Planes de Manejo Ambiental para Obras Concesionadas (2013) Ministerio De Obras Publicas.
- Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (2008). Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas.
- Medidas de Mitigación Ambiental Asociadas a Proyectos Hidroeléctricos. (2008). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Minuta N° 173. (2009). Lineamientos y Criterios Sobre Pronunciamientos de la Dirección General de Aguas, en Materia de Caudal Ecológico, en el Marco del SEIA. (2009)
- Modificación Decreto Supremo N° 40, (2012). Disponible en: [http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Modifica\\_Decreto\\_14.pdf](http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Modifica_Decreto_14.pdf)
- Programa de Fomento a las Minicentrales Hidroeléctricas. (2013) Ministerio de Energía.
- Rosenberg D.M, Berkes F, Bodaly R.A, Hecky R.E, Kelly C.A y Rudd J.K.M (1997) Large Scale Impacts of Hydroelectric Development. Environ Rev. 5: 27-54.
- Situación de la Energía en Chile, Desafíos para la Sustentabilidad (2004). Programa Chile Sustentable.
- Types of Hydropower Plants. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Washington. Disponible en: <http://energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>.

## **ANEXO A**

## ANEXO A

Para entender los criterios mencionados en el capítulo 3.1.1, se aplicaran como ejemplo a un río hipotético, denominado “X”, para los escenarios a y b.

- a) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del 10% del caudal medio anual (Qma):

Según lo establecido en la guía, el río “x” posee un caudal medio anual (Qma) de 10,00 m<sup>3</sup>/s. Por lo tanto el 10 % del Qma será de 1,00 m<sup>3</sup>/s y el 20 % del Qma de 2,00 m<sup>3</sup>/s.

En la tabla 12 se indican los caudales mensuales para el 10, 85 y 95 % de la probabilidad de excedencia, para el río “x”. Los valores para el 10% son mas altos que los del 85% y 95% respectivamente, ya que es la probabilidad de que el 10 % de todos los registros de cada mes, estén sobre el valor indicado en la tabla, como se menciona anteriormente.

**Tabla 12:** Caudales mensuales de un río de ejemplo.

m <sup>3</sup> /s	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>10%</b>	3,49	4,47	5,94	12,80	42,3	48,44	49,01	41,13	26,88	21,41	10,64	7,64
<b>85%</b>	1,82	1,53	0,99	2,77	4,77	13,79	19,61	17,99	15,40	8,39	4,96	3,37
<b>95%</b>	1,54	1,15	0,62	2,50	2,68	9,10	15,41	13,99	13,31	3,38	2,36	1,78

El caudal ecológico definido, es el establecido por el primer criterio de la DGA y corresponde a 1,0 m<sup>3</sup>/s, ya que equivale al 10 % del caudal medio anual. Por otra parte el 50% del caudal de probabilidad de excedencia del 95% (50% Q95% PE) corresponderá a la mitad del los valores obtenidos en la tabla 1, para la probabilidad de excedencia del 95%. Estos valores son representados en la tabla 13.

**Tabla 13:** Valores de caudales mensuales para el 20% Qma, Caudal ecológico definido y 50% del 95 % de la probabilidad de excedencia.

m <sup>3</sup> /s	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AG	SE	OC	NO	DI
20% Qma	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Q Eco def.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50% Q95%PE	0,77	0,57	0,31	1,25	1,34	4,55	7,70	6,99	6,65	1,69	1,18	0,89

Con los datos presentados en la tabla 13 se aplica las tres restricciones mencionadas para este escenario.

En el caso de los meses de enero, febrero, marzo y diciembre rige la primera restricción, ya que el valor para el 50% del Q95% PE (rojo) es menor al caudal determinado para el 10% del Qma (1,00 m<sup>3</sup>/s), por lo tanto en estos meses el caudal ecológico corresponderá al determinado para el 10% del Qma, es decir 1,00 m<sup>3</sup>/s.

Para los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, se aplica la segunda restricción, ya que el caudal calculado para el 50% del Q95% PE (azul), es mayor al 10% del Qma, pero a su vez menor al 20% del Qma, por lo tanto en estos meses el caudal ecológico corresponderá al determinado para el 50% del Q95% PE (azul, valores en tabla 3)

Por último en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, se aplica la tercera restricción, ya que el caudal determinado para el 50% del Q95% PE (verde), es mayor al calculado para el 20% del Qma y por lo tanto el caudal ecológico para estos meses será precisamente el 20% del Qma, es decir 2,00 m<sup>3</sup>/s.

Los valores finales de caudal ecológico, aplicando los requisitos del manual de la DGA, para el río “x” se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14:** Valores finales de caudal ecológico.

(m <sup>3</sup> /s)	ENE	FEB	MAR	ABR	MA	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q Eco.	1,00	1,00	1,00	1,25	1,34	2,00	2,00	2,00	2,00	1,69	1,18	1,00

Como se puede observar en la tabla 14, el caudal ecológico que se determinó para el ejemplo de un río hipotético, es variable durante el año y equivalente a un porcentaje del caudal que presenta mes a mes. Por otro lado se observa que en los periodos de crecidas (junio, julio, agosto y septiembre), el caudal ecológico corresponde al máximo que estima la DGA y en los periodos de estiaje (enero, febrero, marzo y diciembre) corresponderá siempre al 10% del Qma (para el primer escenario planteado). También a partir de los datos se puede inferir que el río posee un régimen del tipo pluvial, ya que tiene crecidas de caudal en los meses de invierno y bajas en este en los meses de verano, en consecuencia a los periodos de precipitaciones.

- b) Cauce con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del menor 50% del Q95%:

Para entender este escenario se usara el mismo ejemplo anterior, por tanto los caudales mensuales para el 10 %, 85 % y 95 % de la probabilidad de excedencia serán los mismo de la tabla 1, al igual que el caudal medio anual de 10 m<sup>3</sup>/s. Ahora bien el caudal ecológico mínimo en este caso corresponderá al menor valor que presenta el 50% del Q95% PE, que como se puede observar en la tabla 13, corresponde al mes de marzo con un valor de 0,31 m<sup>3</sup>/s. Los datos de los caudales para este escenario se observan en la tabla 15, en donde se mantiene el 20% del Qma, y el 50% Q95% PE.

**Tabla 15:** Valores de caudales mensuales para el 20% Qma, Caudal ecológico definido y 50% del 95 % de la probabilidad de excedencia.

(m <sup>3</sup> /s)	EN	FE	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OC	NOV	DIC
20% Qma	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Q eco. definido	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
50% Q95%PE	0,77	0,57	0,31	1,25	1,34	4,55	7,70	6,99	6,65	1,69	1,18	0,89

Al aplicar las restricciones que presenta este escenario queda que los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre, se mantiene el caudal del 50% Q95% PE para el caudal ecológico (rojo), ya que estos valores son menores al obtenido para el 20% Qma (2,00 m<sup>3</sup>/s). Por otro lado como los meses de

junio, julio, agosto y septiembre el valor del 50% Q95% PE (azul) es mayor al del 20% Qma (2,00 m<sup>3</sup>/s) se aplica la segunda restricción y se mantiene el valor de este último para el caudal ecológico en esos meses.

Por lo tanto los valores finales para cauces con derechos constituidos con caudal ecológico mínimo del menor del 50% Q95% PE, son los que se presentan en la tabla 16.

**Tabla 16:** Valores de caudal ecológico establecidos para los distintos meses del año.

(m <sup>3</sup> /s)	EN	FE	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q Eco	0,77	0,57	0,31	1,25	1,34	2,00	2,00	2,00	2,00	1,69	1,18	0,89