

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN
DE ESTUDIOS DE IMPACTO
AMBIENTAL DE
**PROYECTOS
HIDROELÉCTRICOS**



Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental de proyectos
hidroeléctricos. - 1a ed . -
Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Secretaría de Ambiente y Desarrollo
Sustentable de la Nación, 2019.

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE **PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS**

AUTORIDADES

Presidente de la Nación

Mauricio Macri

Secretario General de la Presidencia

Fernando De Andreis

Secretario de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Rabino Sergio Bergman

Titular de la Unidad de Coordinación General

Patricia Holzman

Secretario de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable

Carlos Bruno Gentile

Directora Nacional de Evaluación Ambiental

María Celeste Piñera

Directora de Impacto Ambiental y Evaluación Estratégica

Andrea Frassetto

Ministro de Hacienda

Jorge Roberto Hernán Lacunza

Secretario de Gobierno de Energía

Gustavo Lopetegui

Director Nacional de Generación Hidroeléctrica

Verónica Andrea Chorkulak

Ministro del Interior, Obras Públicas y Vivienda

Rogelio Frigerio

Secretario de Infraestructura y Política Hídrica

Pablo José Bereciartua

Dirección Nacional de Aprovechamientos Multipropósito

Alejandro Hoc

EQUIPO DE TRABAJO

Presidencia de la Nación - Secretaría General

Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Secretaría de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable

Dirección Nacional de Evaluación Ambiental

Dirección de Impacto Ambiental y Evaluación Estratégica

Ana Pierangeli, Angela Lucia Ventini, Betania González, Diego Del Rio, María Eugenia Elizalde, Soledad Caldumbide, Soledad González Arismendi, Vicente Ferrer Alessi, Victoria Arias Mahiques, Victoria Rodriguez de Higa

Ministerio de Hacienda

Secretaría de Gobierno de Energía

Dirección Nacional de Generación Hidroeléctrica

Joaquín López Laxague

Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda de la Nación

Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica

Dirección Nacional de Aprovechamientos Multipropósito

Cecilia Ybars, Gonzalo Garola, Mónica Calla, Ricardo Severino

Organismo Regulador de Seguridad de Presas

Florencia Falcioni, Paula Roberts

Integración Energética Argentina S.A.

Ana Rodriguez Diez, Dolores Carniglia, Luis Piccinali, Patricia Gratti, Sergio Mogliati, Vivian Santoro

% ' \$ " & \$ % ' " / ' Z & " + ' " % \$ \$ z t t z % % & " Z & " e " " " e Z " / A Z

ÍNDICE

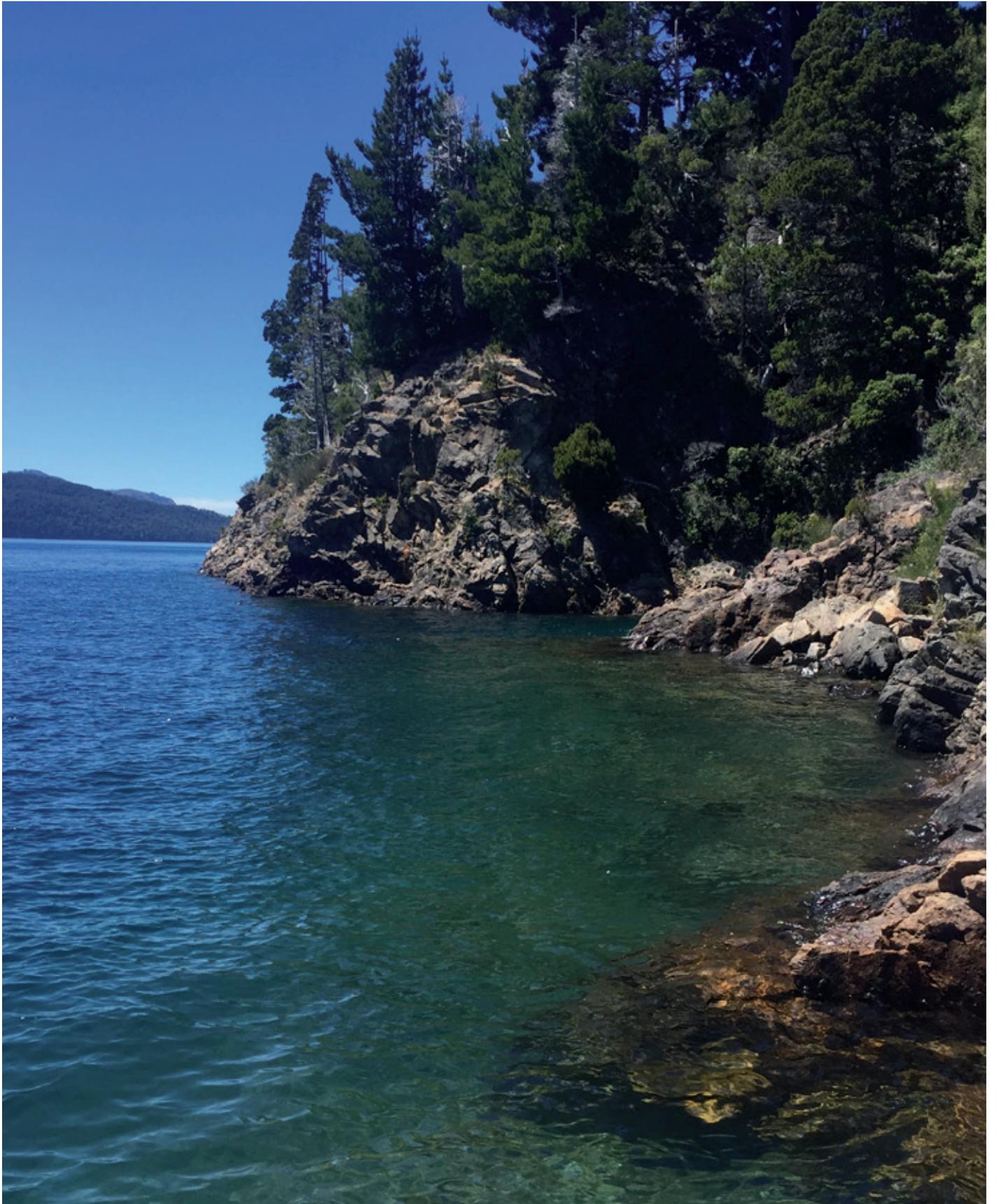
Abreviaturas y acrónimos	8
Capítulo 1. Presentación	10
Capítulo 2. El proyecto hidroeléctrico	12
Capítulo 3. El ciclo de un proyecto hidroeléctrico y los estudios ambientales asociados	22
Capítulo 4. El estudio de impacto ambiental de un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico	30
1. Consideraciones previas para la planificación del estudio	31
2. Resumen ejecutivo y documento de divulgación	33
3. Presentación del EslA	33
4. Descripción del proyecto	34
5. Evaluación de alternativas	39
6. Marco normativo e institucional	44
7. Definición del área de estudio y áreas de influencia	46
8. Línea de base o diagnóstico ambiental	51
9. Análisis de impactos ambientales	90
10. Medidas de mitigación	108
11. Plan de Gestión Ambiental	110
12. Sistemas de información ambiental	124
Bibliografía	126

ACRÓNIMOS

ACV: análisis de ciclo de vida
AID: área de influencia directa
AI: área de Influencia indirecta
AIS: área de Influencia Social
AO: área operativa
CMP: crecida máxima probable
DIA: declaración de impacto ambiental
EIA: evaluación de impacto ambiental
EsIA: estudio de impacto ambiental
GEIs: gases de efecto invernadero
GIRH: Gestión Integrada del Recurso Hídrico
OMM: Organización Meteorológica Mundial
PGA: Plan de Gestión Ambiental
SAYDS: Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable
SIG: Sistemas de Información Geográfica

ABREVIATURAS

ha: hectárea (unidad de superficie)
Hm³: hectómetro cúbico (unidad de volumen)
km: kilómetro (unidad de distancia)
kW: kilovatio (unidad de potencia eléctrica)
km²: kilómetro cuadrado
m: metro (unidad de distancia)
m³: metro cúbico (unidad de volumen)
m³/s: metro cúbico por segundo (unidad de caudal volumétrico)
MW: megawatt, megavatio (unidad de potencia eléctrica)
NAME: nivel de agua máximo extraordinario
NAMO: nivel máximo de operación normal
NmE: nivel mínimo Extraordinario
NmN: nivel mínimo Normal



Capítulo 1.

Presentación



1. Objetivos, alcances y destinatarios

La presente guía constituye un documento técnico, cuyo objetivo es brindar lineamientos conceptuales y orientaciones metodológicas generales para la elaboración de estudios de impacto ambiental (EsIA) de proyectos de aprovechamiento hidroeléctrico de gran capacidad¹. Tanto el contenido del EsIA como las metodologías empleadas, deberán ajustarse a cada proyecto según sus características y lugar de emplazamiento, considerando las condiciones ambientales y la magnitud de los potenciales impactos.

Entre los principales impactos negativos que pueden producir los aprovechamientos hidroeléctricos se identifican: la afectación de hábitats naturales, la pérdida de biodiversidad, las alteraciones en la geomorfología e hidrodinámica del cauce, el aumento de la superficie de evaporación, la relocalización de población y actividades. Entre los impactos positivos se encuentran: la generación de nuevas fuentes de energía, el control de crecidas e inundaciones aguas abajo, el desarrollo de nuevas actividades económicas o potenciación de las existentes (ej. turismo, actividad agropecuaria), la generación de empleo (sobre todo en la etapa de construcción), entre otros.

Si bien la guía se enfoca específicamente en proyectos de generación de energía hidroeléctrica, las recomendaciones pueden resultar de utilidad para aprovechamientos hídricos multipropósito, que posean además otros usos, como agua para riego y abastecimiento de agua potable para consumo humano. Los lineamientos particulares aquí presentados, se complementa con los generales incluidos en la “Guía para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental” publicada por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) en 2019 y aprobada por Resolución SAyDS N° 337/19².

Para su elaboración se consideró la bibliografía de referencia nacional e internacional, incluyendo las propuestas metodológicas de organismos especializados y lecciones aprendidas en la

materia. Cabe destacar que en Argentina, el último documento orientativo para la realización de estudios de impacto ambiental de aprovechamientos hidroeléctricos, es el “Manual de Obras Hidráulicas con Aprovechamiento Energético”, elaborado en 1987 por la Secretaría de Energía. Desde ese entonces, se han producido avances en materia de gestión ambiental, así como avances técnicos en la optimización del diseño, en el marco de la jerarquía de mitigación de impactos.

Los principales destinatarios de esta guía son los profesionales responsables de la elaboración del EsIA de este tipo de proyectos, los distintos organismos con incumbencia en la revisión técnica y licenciamiento ambiental de proyectos de aprovechamientos hidroeléctricos. Asimismo, puede ser de utilidad con fines académicos, y como consulta para las instancias participativas en los procesos de evaluación de impacto ambiental.



¹ La Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés) define como “Gran Presa” a toda presa cuya altura sea mayor de 15 metros (medida desde el punto más bajo de su fundación hasta el coronamiento) o bien la que teniendo entre 10 y 15 metros de altura retenga más de 3 millones de metros cúbicos de agua.

² Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/evaluacion-ambiental/impacto/guia-elaboracion-esia>

Capítulo 2.

El proyecto hidroeléctrico



1. Conceptos clave

Se denomina **aprovechamiento hidroeléctrico** al conjunto de estructuras necesarias que permiten hacer uso de la energía potencial del agua de un río o curso fluvial para transformarla en energía eléctrica.

Como resultado de la operación del aprovechamiento, se produce una determinada cantidad de energía eléctrica, que se mide en función de dos parámetros principales: el salto bruto y el caudal instalado.

El **salto bruto** es la diferencia entre el nivel del agua antes de la captación y el que existe luego de restituir recurso al río u arroyo donde se instala la obra. Típicamente, para elevar el valor del salto bruto, se construye una presa, que consiste en una estructura transversal al cauce fluvial (*ver figura 2.1*). Además de elevar el salto bruto, la finalidad de la presa es almacenar agua de reserva, constituyendo un **embalse**. La capacidad de almacenamiento del agua en el embalse permite que la energía potencial pueda ser almacenada y utilizada en horas de mayor demanda de energía eléctrica. Un aspecto característico de los aprovechamientos hidroeléctricos, es su rápida capacidad de aumento y disminución de la cantidad de energía generada. Dependiendo de las necesidades de demanda, la capacidad de reacción está concebida desde el diseño de la presa y se debe sujetar a las normas de manejo del agua. Por este motivo, algunas presas cuentan con un embalse compensador de menor tamaño localizado aguas abajo, cuya finalidad es amortiguar la descarga.

Por su parte, el **caudal aprovechable** o caudal instalado, es la cantidad máxima de agua que puede circular, en un determinado tiempo, por las tuberías y turbinas del sistema, lo cual depende de la capacidad de las estructuras y tecnología, el caudal natural del curso fluvial y las condiciones meteorológicas. A mayor caudal instalado, mayor es la cantidad de energía que se puede obtener. Técnicamente, la producción de energía se logra gracias a la rotación de las turbinas sobre un eje conectado a un generador eléctrico. El generador produce corriente eléctrica a partir de la inducción de un campo magnético variable, a una frecuencia asociada a la velocidad de rotación del sistema. La corriente generada llega a una estación transformadora, y se distribuye a la red eléctrica, que puede ser parte del sistema interconectado nacional o bien de un sistema local (*ver figura 2.2*).

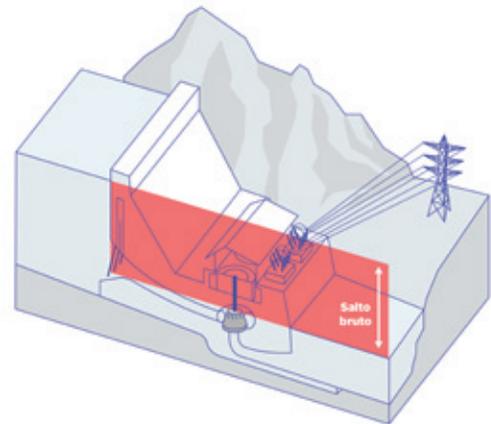


Figura 2.1 - Salto Bruto de un aprovechamiento hidroeléctrico.
Fuente: EBISA (2019)

Si bien existen diferentes tipos de centrales, los conceptos básicos de funcionamiento se aplican a todos los casos.

ESQUEMA DE UN APROVECHAMIENTO HIDROENERGÉTICO

- A Embalse
- B Coronamiento
- C Presa
- D Fundación
- E Reja
- F Toma de agua
- G Compuerta
- H Tubería
- I Turbina
- J Eje
- K Generador
- L Casa de máquinas
- M Transformador
- N Líneas de transmisión
- O Canal de restitución
- P Río

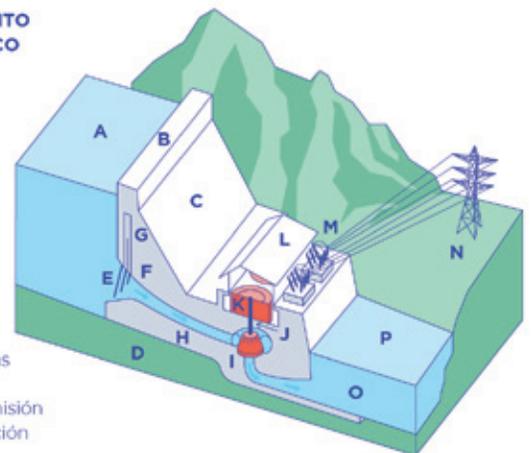


Figura 2.2. Esquema conceptual de generación hidroeléctrica.
Fuente: EBISA (2019)

2. Clasificación de los proyectos hidroeléctricos

Los aprovechamientos hidroeléctricos se clasifican:

- a) según su modo de operación y capacidad de regulación de los caudales a turbinar,
- b) según su potencia instalada,
- c) según su función.

a) Clasificación según su modo de operación

Las **centrales con presa de embalse** (ej. Alicurá, Piedra del Águila, El Chocón) modifican el régimen hidrológico natural del río, siendo el objetivo principal del embalse retener agua en épocas de excedente y posibilitar su disponibilidad en los períodos de caudales medios a bajos. En algunos casos, se agrega el objetivo de contener eventos de crecida extraordinarios, de manera de proteger la población e infraestructura aguas abajo.

El concepto de **central de pasada** (ej. La Lujanita, Yacyretá) está estrictamente relacionado con la capacidad de regulación o modificación del régimen hidrológico del río que interviene el proyecto. Las centrales de pasada no poseen un tamaño definido. En general, en nuestro país tienen grandes dimensiones, aunque también hay proyectos de pequeña envergadura, que operan captando el agua de un cuerpo hídrico superficial y la conducen por canales, cañerías o túneles a una central hidroeléctrica, bajo condiciones controladas de velocidad, caudal y altura de caída, para finalmente devolverla al río aguas abajo (ver figura 2.4).

Las centrales de pasada turbinan los caudales afluentes sin modificarlos sensiblemente. La generación de energía es, por lo tanto, proporcional al caudal que ingresa a la central, momento a momento.

Las **centrales de bombeo** (ej. Los Reyunos, Complejo Río Grande) impulsan agua desde un reservorio a otro más elevado, permitiendo acumular agua para ser turbinada en las horas de mayor demanda. Están compuestas por equipos de tipo bombeo puro o bien turbinas reversibles, que permiten bombear en algunos momentos y turbinar en otros.

Generalmente, el sistema se compone de un reservorio principal y otro más pequeño ubicado aguas abajo, conocido como contraembalse. Este último tiene la capacidad de retener el agua turbinada desde el embalse superior, para luego poder

ser bombeada y vuelta a turbinar. Los contraembalses pueden tener otras funciones asociadas a la regulación de caudales, evitando pulsos de caudal excesivamente altos, que puedan causar efectos negativos aguas abajo. Cuando adquieren estas características se denominan también embalses compensadores. Esto se logra reteniendo el agua erogada por la central en horas de mayor turbinado, para liberarla en forma progresiva, de acuerdo a las exigencias aguas abajo. Este tipo de centrales puede complementarse con energía eólica, cuya generación se utiliza para llenar el embalse, mientras que la generación de la hidroeléctrica se utiliza para responder a la demanda energética.

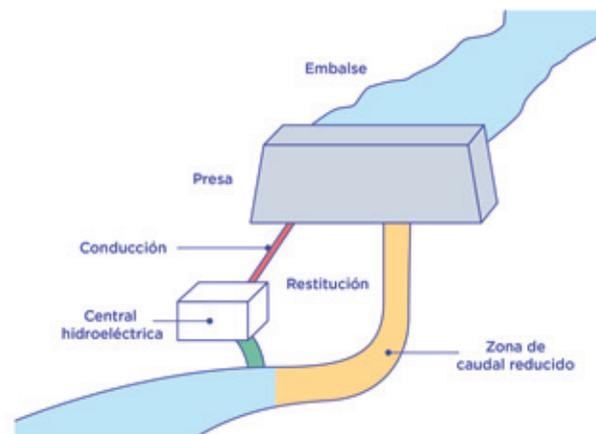


Figura 2.3. Representación de un aprovechamiento con presa de embalse. Fuente: elaboración propia.

b) Clasificación según su potencia instalada

En función de la demanda energética, las centrales hidroeléctricas pueden disponer de turbinas en espera, que se activan en momentos de mayor demanda. El total de turbinas instaladas se refleja en la *potencia instalada*, entendida como la cantidad de energía máxima que puede entregar la central. Si bien esta clasificación no contempla todos los aspectos del proyecto, su utilización es muy frecuente y los límites aquí expuestos varían según la fuente de consulta.

Existen centrales que operan la totalidad de las turbinas durante todo el año, mientras que otras lo hacen sólo en aquellos momentos de máximo consumo. Por ello, el valor de potencia instalada refleja la capacidad máxima de generación y no la energía promedio que entrega la central durante un año, frecuentemente denominada *generación media anual*.

De acuerdo a lo expuesto, frecuentemente los proyectos se clasifican según su potencia instalada como: pequeños (potencia instalada menor a 20 MW), medianos (potencia instalada entre 20 MW y 50 MW), grandes (potencia instalada mayor a 50 MW).

c) Clasificación según otros objetivos, más allá de la función de generación hidroeléctrica

La tabla 2.1. muestra distintas posibles funciones de un aprovechamiento, más allá de la generación de energía eléctrica y una breve descripción de los aspectos relacionados en función de los objetivos relacionados y su priorización.

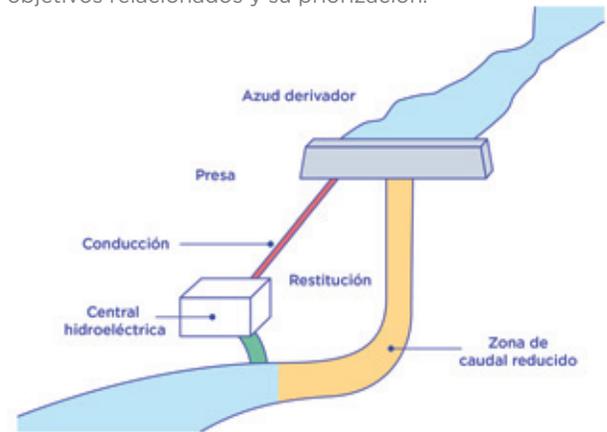


Figura 2.4. Esquema de centrales de pasada. Fuente: elaboración propia.

Función del aprovechamiento más allá de la generación de energía eléctrica	Aspectos relacionados
Provisión de agua para riego	Se desea asegurar la disponibilidad de agua para riego según la demanda, ya sea aumentando la garantía de áreas irrigadas o expandiendo la frontera agrícola. Este propósito puede complementarse con la generación de energía. Asimismo, puede generar una reducción de la disponibilidad del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable para consumo humano, uso industrial y/o ganadero aguas abajo.
Abastecimiento de agua cruda para consumo ganadero	El proyecto puede proveer agua para la actividad ganadera, ya sea con la finalidad de intensificar la existente o generar nuevas áreas de producción. Esta finalidad puede complementarse con la provisión de agua para irrigación y con el abastecimiento de agua potable para consumo humano.
Abastecimiento de agua potable para consumo humano y de agua para uso industrial	El aprovechamiento puede tener estos propósitos para asegurar la provisión de agua para consumo humano y uso industrial según la demanda de la zona. Estos usos pueden complementarse con la generación de energía. Asimismo, puede generar una reducción de la disponibilidad del recurso hídrico para irrigación y/o consumo ganadero aguas abajo.
Control de crecidas	El proyecto utiliza la capacidad del embalse para la regulación de caudales y la atenuación de crecidas, evitando inundaciones en localidades urbanas y rurales, protegiendo a su población y a sus bienes, a la infraestructura y a las actividades productivas.
Uso recreativo	Aspectos ambientales de interés para esta finalidad son la calidad de agua del embalse y el paisaje donde se inserta el aprovechamiento. El cuerpo de agua también brinda la posibilidad de hacer un uso turístico de la zona y de desarrollar la piscicultura, ya sea como actividad productiva y/o recreativa.
Retención de sólidos	Este propósito se relaciona con la calidad del agua (del embalse y del río), el paisaje y la erosión aguas abajo.

Tabla 2.1. Otras funciones de los aprovechamientos hidroeléctricos. Fuente: Elaboración propia.

3. Estructuras componentes, auxiliares y complementarias de un proyecto hidroeléctrico

Presas

La solución constructiva de la presa (cierre transversal al curso natural del río), permite la elevación del nivel aguas arriba, según las condiciones de emplazamiento y las tecnologías disponibles. Sin bien no es posible definir esquemas típicos y repetibles para más de un caso, existen ciertas características generales que permiten comprender la estructura y operación de las presas en general:

Según altura

La Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés) define las **grandes presas** como aquellas cuya altura es mayor a 15 m; o aquellas cuya altura se encuentra entre 5 m y 15 m, y que además tienen un embalse con capacidad mayor o igual a 3.000.000 m³. Aquellas presas que no correspondan con estas características se suelen denominar **pequeñas presas**.

Según tipología estructural

Otra forma de clasificación es de acuerdo al material que constituye la presas: **presas de materiales sueltos y presas de hormigón**. Las presas de materiales sueltos son aquellas construidas con rocas sueltas y/o sedimentos sin cementar, generalmente proveniente del mismo sitio donde se construye la obra. Se clasifican en tres tipologías: heterogéneas, homogéneas y de escollera o enrocado, con pantalla o diafragma impermeable (ver figura 2.5). Las dos primeras tipologías se constituyen con material de distinta granulometría (gravas, arenas, limos y arcillas). Las presas heterogéneas utilizan los materiales más finos como núcleo impermeable y los más gruesos para la contención de los primeros y para dar estabilidad a la obra. Las presas homogéneas están formadas por un único material sedimentario, que es impermeable y actúa como material de estabilidad global de la estructura (dada la dificultad de encontrar este tipo de suelos cerca de zona donde se construirá la presa, son pocos los casos en los que se ha adoptado este tipo de solución estructural). Por su parte, las presas de enrocado o escollera se componen de un cuerpo de gravas o escolleras, que logran la impermeabilidad gracias a una pantalla impermeable (formada mayormente por arcillas) en la cara de aguas arriba, o bien, en casos muy minoritarios, un diafragma en el centro del cuerpo de la presa (frecuentemente, las que poseen una cara de hormigón aguas arriba son denominadas presas CFRD, por sus siglas en inglés Concrete Face Rockfill Dam).



Figura 2.5. Corte transversal esquemático. Fuente: elaboración propia.

En segundo lugar, las **presas de hormigón**, se construyen con hormigón, en la mayoría de los casos elaborado en una planta productora cercana a la obra, utilizando el material pétreo de la zona. Existen diferentes tipos en función de su comportamiento estructural: de gravedad, de arco y de contrafuertes (ver figura 2.6).

Las *presas de gravedad* se caracterizan por soportar las cargas debido a su peso propio y descargar las fuerzas actuantes en la base inferior. Su geometría se compone de un paramento vertical o casi vertical aguas arriba, mientras que el más alejado al embalse es inclinado. Por otro lado, las presas de arco se implantan en zonas de cierre estrechas y donde el macizo rocoso permita tomar los esfuerzos, esta vez no en la zona inferior, sino en las laderas laterales. Por lo dicho, este tipo de presas requieren condiciones geológicas muy particulares y es por ello que son menos

numerosas que las de gravedad. Las presas de *contrafuertes* o *aligeradas* (ver figura 2.6) son similares a las de gravedad, aunque el talud de aguas arriba es inclinado y se construyen con menos volúmenes de hormigón; su comportamiento frente a las cargas es similar a las de gravedad de hormigón macizo y, debido a que requieren mayor cantidad de mano de obra, se ha reducido notablemente los proyectos de este tipo de presas a nivel mundial.

Un aspecto importante a considerar en las presas de hormigón es la metodología constructiva: de hormigón convencional o masivo, y de hormigón compactado a rodillo (llamada HCR o RCC por sus siglas en inglés). Esta última se utiliza en las presas de gravedad, aplicando la metodología capa sobre capa y compactando cada una, lo cual permite un avance más rápido, aunque la estructura que se logra es menos rígida y, por lo tanto, no se aplica a las presas de arco.

Por último, existen algunas soluciones constructivas de menor utilización como las **presas inflables**, que se componen de un cierre elastomérico inflado, las **presas de gaviones**, las de **bóvedas múltiples** o la aplicación de cualquiera de los grupos citados hasta aquí en distintas secciones de un mismo cierre conocidas como **presas mixtas**.

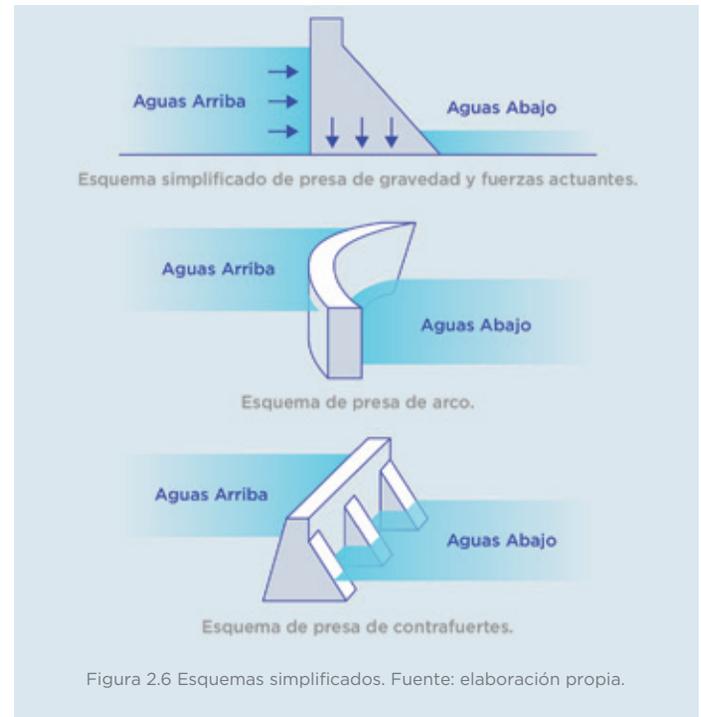


Figura 2.6 Esquemas simplificados. Fuente: elaboración propia.

Obra de toma, conducción y tubería forzada

Dado que la energía que se obtiene del aprovechamiento es, en parte, función del desnivel entre el embalse y la restitución al río, es posible maximizar esta diferencia de nivel alejando la central hidroeléctrica varios kilómetros aguas abajo del embalse. A este tipo de centrales se las conoce como *centrales a distancia*. En otros casos, la central se encuentra directamente a *pie de presa* (ej. *Piedra del Águila*), ya sea incorporada al cuerpo de la misma o bien como estructura independiente, en las cercanías del cierre. En las centrales a distancia se pueden identificar cuatro elementos que permiten la conexión con el embalse: obra de toma, conducción, chimenea de equilibrio y tubería forzada.

Dependiendo del tipo de presa, la obra de toma puede ser independiente o embebida, es decir, formando parte o no del cuerpo de la estructura principal. A partir de la obra de toma, el agua es transportada por un sistema de conducción fluyendo por gravedad (ver figuras 2.7 y 2.8).

Con los mismos criterios que las obras de toma para producción hidroeléctrica, los aprovechamientos multipropósito pueden contar con otras tomas de agua que servirán para distintos usos, ya sea para provisión de agua para riego, abastecimiento de agua potable para consumo humano o agua cruda para consumo ganadero.

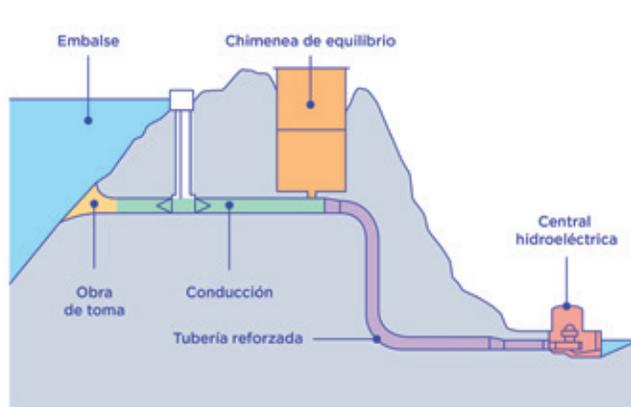


Figura 2.7. Sistema de conducción a central a distancia. Agua del Toro, río Diamante. Adaptado de: SRH, MPFIPyS, 2010.

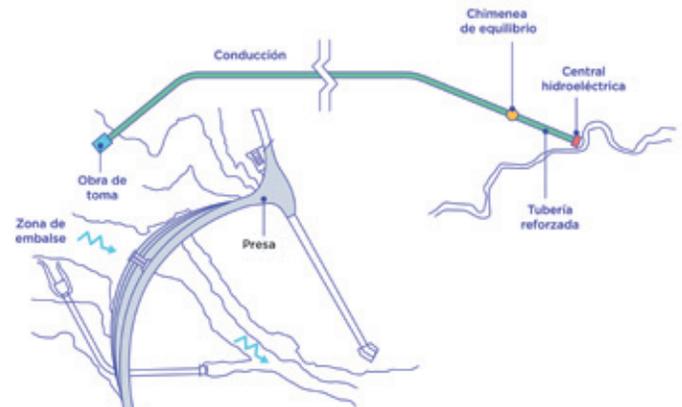


Figura 2.8. Sistema de conducción de central a distancia, vista en planta. Agua del Toro, río Diamante. Adaptado de: SRH, MPFIPyS, 2011.

Central hidroeléctrica

La función principal de una central hidroeléctrica es la de albergar las turbinas y demás equipos que permiten la generación y el despacho de energía a la red. También intervienen otros elementos que son imprescindibles para el funcionamiento de la central: sistemas electrónicos de comando, los tableros de control, válvulas, compuertas y demás equipos hidroelectromecánicos, equipos de monitoreo y auscultación, etc. En conjunto, el sistema es de gran complejidad, por ello su operación requiere de niveles altos de capacidades y experiencia técnica.

En relación a la ubicación de las centrales hidroeléctricas, las mismas pueden estar dispuestas a distancia o pie de presa. Entre estas últimas, se identifican aquellas que son independientes a la obra de cierre y las que están incorporadas al cuerpo de la presa, como en algunos casos de presas de hormigón. De acuerdo a la tipología estructural de la central, se pueden diferenciar como exteriores, si están construidas en elevación sobre el terreno, o bien en caverna si son materializadas dentro de una excavación en la roca (ej. Central del complejo Río Grande) (ver figura 2.10).



Figura 2.9. Complejo hidroeléctrico Cabra Corral. De derecha a izquierda y arriba hacia abajo: rotor de turbina, generadores, tablero de comandos.
Fuente: SRH, MPFIPyS, 2010.

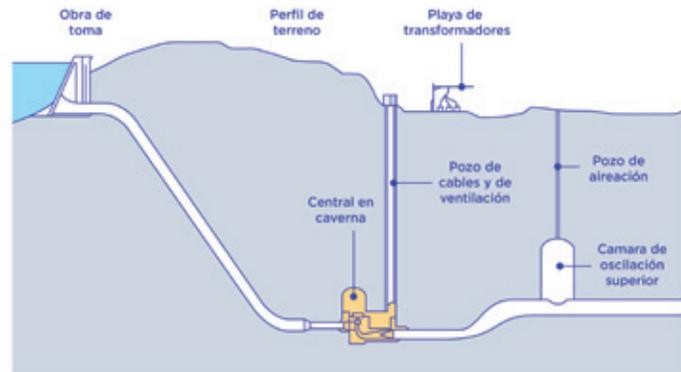


Figura 2.10 - Central en caverna río grande. Fuente: SRH, MPFIPyS, 2010.

Estación transformadora y línea de alta tensión

Para la conexión de la energía producida por la central con el sistema de distribución hacia los centros de consumo, se debe contar con una estación transformadora, que se ubica próxima a la central, y un sistema de línea de media o alta tensión que podrá ser más o menos extenso, en función de la ubicación del nodo de conexión existente más cercano (ver figura 2.2).

Vertedero

El vertedero o aliviadero tiene como función principal evacuar del embalse el caudal excedente aportado por el río. Su función es evitar que aumente el nivel del embalse y se genere un sobrepaso del agua sobre la presa. El diseño del vertedero es un punto crítico, y se considera una estructura de gran relevancia desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica, ya que debe garantizar la evacuación de grandes volúmenes de agua, en correspondencia con la crecida de diseño del río. Dicho diseño debe contemplar la disminución de la energía del agua al momento de su restitución al cauce fluvial (descarga) para prevenir procesos erosivos de envergadura que afecten al entorno natural y/o a la infraestructura. Un vertedero tiene tres sectores o zonas: la toma, que se ubica en la parte más alta del vertedero, la conducción y finalmente la restitución del caudal al curso del río. Existen distintas formas de clasificar los vertederos de una presa, entre ellas se menciona por ej. su clasificación en función de la ubicación respecto al cuerpo de la presa: *independientes e incorporados*.

Vertederos independientes

Para presas de materiales sueltos es inadmisibles el sobrepaso del agua ya que ello erosionaría la presa en sí misma con gran facilidad, provocando una falla del cierre y destruyendo parcial o totalmente la obra. Es principalmente debido a ello que se construye el vertedero de forma independiente del cuerpo de la presa, reduciendo así la probabilidad de falla (ej. Presa Alicurá) (ver figura 2.11).

La solución del tipo de vertedero es particular en cada caso, por lo que existen otros tipos de vertederos independientes como ser laterales, de tipo laberinto, conectados a conducciones a cielo abierto o a presión y combinados con distintos tipos de elementos disipadores de energía como ser dados, cascadas, entre otros. Si bien los vertederos independientes se utilizan en su mayoría en presas de materiales sueltos, también son de aplicación en presas de hormigón. En los casos de presas en arco, por las condiciones del cierre, muchas veces el vertedero se construye con una conducción de tipo túnel excavado en roca y captaciones diversas. También hay casos de presas de gravedad de hormigón con vertederos laterales.

Vertederos en el cuerpo de la presa

Los vertederos incorporados en el cuerpo de la presa forman parte del cierre en sí mismo (ej. complejo hidroeléctrico Escaba) (ver figura 2.12). En casos de presas de baja altura, conocidas como azudes, se las llaman también *presas-vertedero*.

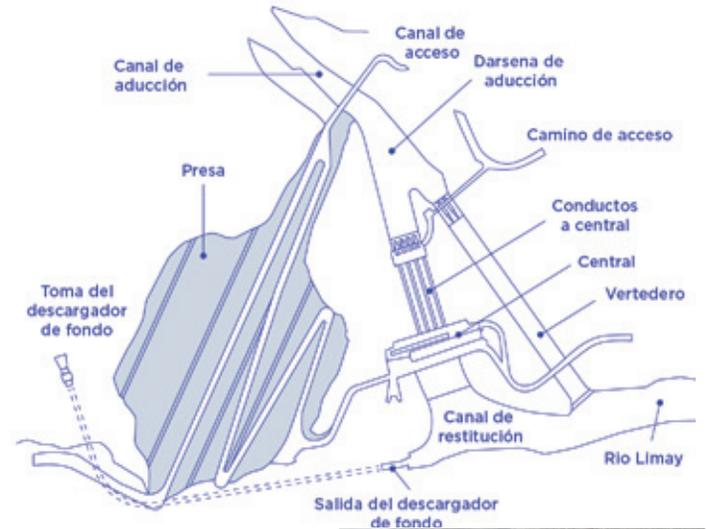


Figura 2.11 Esquema de presa Alicurá, provincia de Neuquén.
Fuente: SRH, MPFIPyS, 2013.

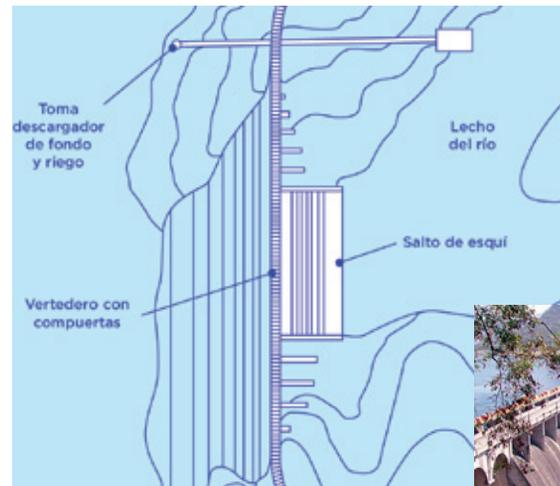
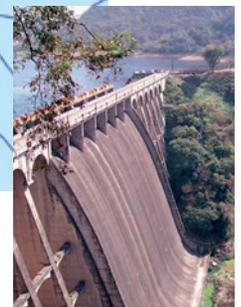


Figura 2.12. Vertedero de complejo hidroeléctrico ESCABA.
Fuente: SRH, MPFIPyS, 2010.



Descargadores

Los descargadores son aquellos conductos que tienen su toma por debajo del nivel del vertedero (ej. Complejo hidroeléctrico San Roque) (ver figura 2.13). Algunos autores definen a los descargadores “de fondo” como aquellos que tienen su cota por debajo de la toma para la central hidroeléctrica. En muchos casos, el desvío del río que se construye en la etapa de construcción sirve posteriormente como descargador de fondo.

La función de estas obras es la de evacuar excedentes, vaciar el embalse, erogar el caudal ecológico o también, en algunos casos, eliminar sedimentos depositados en el lecho próximo a la presa. Al igual que las tomas para central hidroeléctrica, pueden ser parte de la presa o estructuras independientes.



Figura 2.13. Complejo hidroeléctrico San Roque. Hacia la izquierda se distinguen dos válvulas que funcionan como descargador de medio fondo y hacia la derecha abajo, la salida del descargador de fondo. Fuente: SRH, MPFIPyS, 2012.

Sistema de transferencia de peces

Existen diferentes sistemas que permiten a la fauna íctica migratoria atravesar la presa en ambos sentidos (ascendente y descendente). Entre ellos se mencionan sistemas tipo ascensor de peces, colectores superficiales *by pass* o bien escaleras.

Esclusa de navegación

En casos en que los ríos sean navegables es necesario construir estructuras que garanticen el flujo transversal al cierre de embarcaciones (ej. Yacyretá).



Esclusa de navegación Yacyretá.

Fuente: <https://www.eby.org.ar/esclusa-de-navegacion/>

Caminos de acceso

El camino de acceso a la presa es una estructura que resulta importante considerar a la hora de evaluar el proyecto, debido a que, en algunos casos, su demarcación comienza previo al inicio de la construcción, para poder realizar las tareas de medición correspondientes en campo, y luego acondicionarlo como camino de acceso definitivo.

Campamento de obra y obrador

Dado que la construcción de una presa significa la ocupación de gran cantidad de mano de obra, muchas veces en lugares remotos, suele construirse un asentamiento poblacional. Este campamento suele contar con lugar para alojamiento, enfermería, mercados y demás servicios y edificaciones que permitan a los trabajadores habitar la zona mientras duren las obras.

Una vez finalizada la construcción, y dependiendo de la habitabilidad del lugar, la villa puede conservarse de manera permanente o bien desmantelarse. Por otro lado, próximo a la zona de obra se cuenta con un obrador que es el espacio físico que contendrá las oficinas de obra, talleres, depósitos, vestuarios, comedores, laboratorios.

Canteras y escombreras

Se entiende como cantera a todas aquellas zonas de las que se extrae material para la construcción de la presa y demás estructuras. Dado que se trata de volúmenes importantes muchas veces se realiza en el sitio donde se alojará el futuro embalse. Por su parte, las escombreras representan áreas delimitadas donde se acumula el material sobrante de excavaciones o demoliciones, que no se utilice en la obra.

4. Condiciones de emplazamiento

La primera condición para el emplazamiento de un aprovechamiento hidroeléctrico es la existencia de un caudal medio aprovechable, un salto topográfico y condiciones geomorfológicas, geológicas y estructurales adecuadas.

Para ello es necesario contar con series de medición históricas lo suficientemente extensas, tanto de caudales líquidos como sólidos. El estudio hidrosedimentológico (capacidad y competencia del curso fluvial) puede merecer mayor atención debido a que podrían modificar el diseño de ingeniería e impactar en el volumen útil del embalse debido al fenómeno de atarquinamiento, entendido como el proceso de relleno o elevación del lecho de un curso o masa de agua por deposición de sedimentos.

La viabilidad técnica y ambiental del emplazamiento de un aprovechamiento hidroeléctrico está condicionada por las características naturales del entorno, así como por los factores ambientales y socioeconómicos.

La topografía, geomorfología y geología superficial determinan el lugar óptimo de emplazamiento de la presa y por ende del embalse. Por su parte, la geología del subsuelo (profundidad y características del lecho rocoso) es sumamente importante tanto para asegurar la impermeabilidad y consiguiente formación del embalse como así también los cimientos de la obra.

Además de estas condiciones básicas que definen la viabilidad técnica de un proyecto, el emplazamiento de un aprovechamiento hidroeléctrico depende de factores ambientales y socioeconómicos, cuyos principales aspectos se desarrollan en esta guía.

En cada caso en particular existen múltiples elementos de análisis que sustentan la decisión de llevar adelante un proyecto, y en particular la toma de decisión de las autoridades respecto de su viabilidad técnica y ambiental.



Capítulo 3.

Ciclo de un proyecto hidroeléctrico y estudios ambientales asociados



1. Etapas

“El ciclo de un proyecto puede definirse como el conjunto de diferentes y sucesivas etapas de evolución de un proyecto desde su concepción (idea de proyecto) hasta su cierre material o clausura. Comprende la progresiva consolidación en la definición de su localización, escala, tecnología, diseño, insumos y productos” (SAyDS, 2019a, p. 24).

El ciclo de un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico suele tener cuatro etapas: diseño, construcción, operación y cierre (ver figura 3.1). El ciclo es dinámico, es decir que las conclusiones obtenidas en cada etapa pueden ser confirmadas o modificadas en las siguientes, alcanzando así la convergencia hacia la forma definitiva del proyecto.

Los estudios ambientales acompañan el desarrollo del proyecto desde el principio, cambiando el alcance y el objetivo en cada una de las etapas y adaptándose de forma dinámica a los avances en el diseño del aprovechamiento hidroeléctrico.

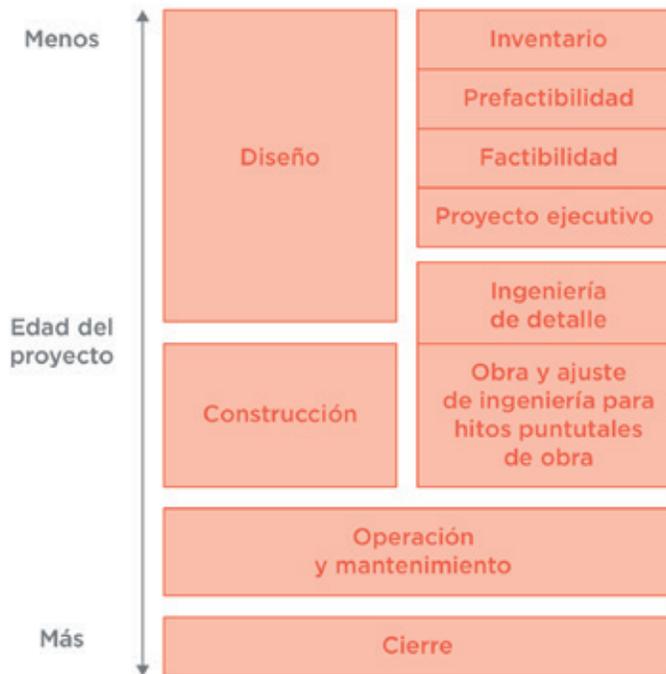


Figura 3.1. Ciclo de un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico. Elaboración propia a partir de la información de Menéndez, Arán et. al, 2018.

Etapa de diseño

La etapa de diseño de un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico es aquella donde se definen y cuantifican los principales componentes que formarán el proyecto en todas sus etapas (tabla 3.1).

Según el proyecto, el diseño puede comprender diversas subetapas (ver Tabla 3.2 a 3.5).



Etapa de diseño de proyecto	Inventario	Prefactibilidad	Factibilidad	Proyecto ejecutivo	Ingeniería de detalle
Otras denominaciones	Reconocimiento preliminar; ingeniería conceptual	Anteproyecto	Anteproyecto	Proyecto Definitivo, Ingeniería ejecutiva; Diseño detallado	Ingeniería de construcción
Escala	Cuenca	Subcuenca	Cierre; área de emplazamiento	Estructuras	Metodología constructiva
Objetivos	Inventario de recursos hidroenergéticos	Alternativas de aprovechamientos	Evaluación del cierre; selección de una variante (eje, tipo de presa, etc.)	Detalles constructivos y planes de acción	Adecuación de la ingeniería del proyecto
Herramientas ambientales aplicables	Diagnóstico de usos del recurso y restricciones severas; estrategias de desarrollo regional; evaluación ambiental estratégica de política, plan o programa; matriz multicriterio	Estudio de condicionantes ambientales; matriz multicriterio para la evaluación de alternativas	Estudios antecedentes al EsIA (ej. factibilidad ambiental, definición de especificaciones técnicas para el EsIA)	Estudio de impacto ambiental (EsIA)	Adecuación e implementación del Plan de Gestión Ambiental (PGA) de la construcción y operación
Evaluación de costos de obra	Comparaciones globales en base a fórmulas empíricas	Costos relativos entre variantes	Costos por volumen de obra y de programas ambientales	Costos en base a análisis de precios e imprevistos	Costos de la oferta contratada

Tabla 3.1. Etapa de diseño del proyecto. Fuente: Adaptado de Menéndez, Arán et. al., (2018).



Subetapa de inventario

<p>Objetivos generales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de posibles sitios para la ubicación de la/s presa/s. • Identificación preliminar de costos en base a fórmulas empíricas o diseños simplificados a efectos de comparación de distintos sitios. • Priorización de sitios en base a criterios estratégicos, técnicos, financieros y socioambientales simplificados.
<p>Geomática</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación y análisis e integración de antecedentes disponibles en relación a: topografía regional en base a modelos digitales de elevación (MDE), imágenes satelitales, cartografía del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y otras fuentes de información cartográfica oficiales; batimetría. • Estructuración de un sistema de información geográfica (SIG) que compile con Información espacial disponible. Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) y otros organismos oficiales.
<p>Geología y geotecnia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recopilación y análisis de antecedentes disponibles a nivel regional, en relación a: geología, geomorfología y sismicidad. • Control de campo en sitios seleccionados. • Análisis fotogeológico de los lugares de implantación de obras, yacimientos y canteras de materiales para la construcción.
<p>Hidrología e hidráulica</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Delimitación de cuencas de aporte. • Recopilación y análisis de datos de precipitaciones nivales/pluviométricas y régimen de caudales. • Determinación de caudales medios mensuales, módulo del río y curvas de permanencia. • Cálculos expeditivos de crecidas de diseño para las estructuras hidráulicas. • Análisis de sedimentología regional.
<p>Ing. civil</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de esquema básico de obra con distribución tentativa de las distintas estructuras del aprovechamiento.
<p>Hidroelectromecánica</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación del trazado esquemática de la línea de vinculación eléctrica.
<p>Energía</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de potencial hidroenergético teórico y técnico a nivel regional.
<p>Socioambiental</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización del uso actual y potencial del recurso hídrico, restricciones sociales y planificación de desarrollo regional asociado. • Análisis multicriterio simplificados. • Desestimación de proyectos con impactos ambientales severos no mitigables. • Determinación de potenciales impactos ambientales relevantes.

Tabla 3.2. Subetapa de inventario: objetivos, estudios e información asociada.Fuente: Adaptado de Menéndez Arán et. al, 2018.

Subetapa de prefactibilidad

Objetivos generales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obtención de configuraciones de cascada óptimas y cierres aproximados. ▪ Cómputo y presupuesto en base a datos preliminares y precios unitarios del mercado. ▪ Estimación de la duración de la obra y secuencia constructiva. ▪ Análisis de riesgos cualitativo.
Geomática	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis sobre la necesidad de generar un MDE de mayor precisión en el área de estudio. ▪ Complementación del SIG con información específica para el área de estudio.
Geología y geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fotogeología detallada y relevamiento de superficie de zona de obras y embalses. ▪ Perforaciones de reconocimiento, de ser necesarias. Ensayos en sondeos. ▪ Prospección geofísica en emplazamiento de obras. ▪ Ensayos básicos de suelos y rocas en laboratorio. ▪ Modelo geológico y geotécnico preliminar. ▪ Análisis de la sismicidad regional y local. ▪ Pozos y sondeos en posibles canteras y yacimientos. Cubicación. Toma de muestras y ensayos en laboratorio.
Hidrología e hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aforos en cierres y en estaciones limnimétricas existentes. Colocación de nuevas escalas en puntos de interés. ▪ Estudios estadísticos de permanencias y crecidas extremas. ▪ Modelación hidrológica. ▪ Análisis de la sedimentología en la zona de estudio y estimación del potencial de atarquinamiento de los embalses. ▪ Determinación de restricciones en los usos del agua.
Ing. civil	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño de la planta general del aprovechamiento. ▪ Diseño de cortes típicos de obras principales. ▪ Prediseño sísmico y estructural de las obras principales. ▪ Prediseño de embalse compensador en caso de ser necesario.
Hidroelectromecánica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Preselección del equipamiento hidromecánico y eléctrico en base a parámetros básicos ▪ Esquema de transmisión e interconexión al sistema eléctrico.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinación de energía media, energía del año seco y potencia garantizada en base a modelación hidroenergética simplificada.
Socioambiental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estudio de condicionamientos y aspectos ambientales clave y validación en terreno. ▪ Consulta a actores clave. ▪ Elaboración de recomendaciones para el diseño u operación de las alternativas evaluadas. ▪ Estudio del valor de la tierra y mejoras. ▪ Identificación de indicadores para evaluación multicriterio.

Tabla 3.3. Subetapa de prefactibilidad: objetivos, estudios e información asociada. Fuente: Adaptado de Menéndez Arán et. al., 2018.

Subetapa de factibilidad

Objetivos generales	<ul style="list-style-type: none"> • Cómputo y presupuesto teniendo en cuenta precios zonales y distancias de transporte. • Análisis financiero del proyecto y estudio de su rentabilidad. • Plan de trabajo preliminar. • Análisis de riesgos cualitativo y cuantitativo. • Elaboración de especificaciones técnicas para el EsIA.
Geomática	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de un MDT de la zona de obras y embalse en base a relevamientos topográficos. • Relevamiento de perfiles batimétricos en el emplazamiento de las obras, área de embalse y aguas abajo de la presa. • Vinculación de cerros de escalas limnimétricas y de exploraciones geológicas. • Relevamiento topográfico de áreas de emplazamiento de villas temporarias y obradores. • Incorporación de información relevada al SIG del área en estudio. Utilización para análisis espaciales.
Geología y geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> • Relevamiento en zona de estudios. • Perforaciones con ensayos en sondeos y en laboratorio. • Densificación de prospecciones geofísicas. • Elaboración del modelo geológico y geotécnico de detalle del área de cierre. • Zonificación y caracterización de materiales de construcción. Estudios de agresividad al hormigón. • Estudios hidrogeológicos preliminares. • Determinación de sismos de diseño.
Hidrología e hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de Crecida Máxima Probable (CMP) para diseño de obras de alivio. • Modelación del paso de la crecida de diseño y operación del embalse. • Modelación hidrodinámica del río con y sin obras. • Modelos hidráulicos numéricos tridimensionales de las principales estructuras. • Modelación sedimentológica. Definición de volúmenes sólidos de aportes. Estrategias de control de sedimentos. • Estudio consecuencias de falla de presa.
Ing. civil	<ul style="list-style-type: none"> • Definición final de eje, tipo de presa y de estructuras complementarias de acuerdo a los nuevos datos de topografía, modelo geológico y geotécnico e hidrología. • Verificación estructural y sísmica de las obras. • Análisis de los servicios a utilizar en la obra.
Hidroelectromecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de principales dimensiones y características del equipamiento hidromecánico y eléctrico.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Modelación hidroenergética en base a simulación de embalse.
Socioambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de principales medidas de gestión ambiental • Identificación de medidas de ordenamiento y gestión territorial. • Estimación preliminar de costos de medidas de gestión ambiental. • Elaboración de especificaciones técnicas para EsIA.

Tabla 3.4. Estudios en subetapa de factibilidad: objetivos, estudios e información asociada. Fuente: Adaptado de Menéndez Arán *et. al.*, 2018.

Subetapa de proyecto ejecutivo

PROYECTO EJECUTIVO	
Objetivos generales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cómputo métrico ajustado. ▪ Presupuesto en base a análisis de precios, incluyendo costos ambientales para implementación del PGA. ▪ Plan de trabajo definitivo, curva de inversiones y análisis financiero de la obra. ▪ Elaboración del EsIA. ▪ Elaboración del Plan de Acción Durante Emergencias (PADE). ▪ Elaboración de especificaciones técnicas y legales.
Geomática	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación de necesidad de relevamientos topográficos complementarios. ▪ Relevamiento topográfico del perillago para definición de la poligonal de expropiaciones. ▪ Incorporación de nueva información relevada al SIG del proyecto.
Geología y geotecnia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relevamiento de detalle de la zona de obra. ▪ Galerías, pozos y trincheras de reconocimiento con ensayos "in situ". ▪ Geofísica de detalle. ▪ Ensayos especiales de laboratorio. ▪ Densificación de perforaciones complementarias, con ensayos "in situ" y de laboratorio. ▪ Estudios hidrogeológicos detallados. ▪ Ajuste del modelo geológico y geotécnico de detalle.
Hidrología e hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ajuste de modelos hidráulicos numéricos tridimensionales de las principales estructuras. ▪ Modelos físicos de las obras de control y de la maniobra de desvío. ▪ Estudio de aireación y potencial de cavitación.
Ing. civil	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cálculos detallados de los diversos componentes de las obras civiles. ▪ Proyecto de auscultación. ▪ Diseño de las obras necesarias para los servicios a utilizar en la obra.
Hidroelectromecánica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cálculos detallados de los diversos componentes de las obras hidromecánicas y electromecánicas. ▪ Consulta a proveedores de equipamiento hidroelectromecánico y diseño definitivo. ▪ Diseño de la vinculación eléctrica.
Energía	(Definido en la etapa previa).
Socioambiental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elaboración del EsIA, incluyendo PGA. ▪ Elaboración del Plan de reasentamiento de población, en caso de corresponder. ▪ Estimación definitiva de costos de medidas de gestión ambiental.

Tabla 3.5. Estudios en subetapa de proyecto ejecutivo: objetivos, estudios e información asociada. Fuente: Adaptado de Menéndez Arán *et. al.*, 2018.

Durante la **etapa de prefactibilidad**, el estudio de condicionamientos y aspectos ambientales clave permite identificar de forma temprana limitantes y/o condicionamientos que pudieran requerir cambios en el diseño de ingeniería y/o en la operación de la central proyectada, considerando cada una de las alternativas propuestas, inclusive su no realización.

Los estudios ambientales en esta etapa utilizan como marco la información primaria del proyecto: el punto de cierre, la cota de inundación, los usos del aprovechamiento y la operación prevista. A partir de ellos, se hace foco en condicionantes ambientales críticos, que imponen restricciones al proyecto.

Con este análisis se puede comenzar a implementar el componente preventivo de la *jerarquía de mitigación* que es un modelo de planificación temprana de las medidas de mitigación y que tiene como objetivo lograr la pérdida nula y de preferencia una ganancia adicional de los valores ambientales, a escala del proyecto.

El principio de jerarquía de mitigación establece una secuencia de pasos, a implementar de forma concatenada y jerarquizada, que tienen como finalidad evitar, minimizar, restaurar y en última instancia compensar los impactos negativos significativos residuales.

En esta etapa se pueden empezar a realizar los estudios para planificar el diseño de infraestructura que minimice impactos, como escala de peces, pasos de fauna terrestre o, en el caso de una posible relocalización, el plan de reasentamiento.

Las dos primeras medidas forman parte de una fase preventiva, la cual será exitosa si se implementa en las etapas de prefactibilidad y factibilidad del proyecto. De esta forma, las instancias de ubicación y diseño pueden incluir medidas de evitación y minimización de impactos, reduciendo la necesidad de alcanzar medidas de restauración o compensación.

Igualmente, en esta etapa se pueden empezar a realizar los estudios para planificar el diseño de infraestructura que minimice impactos, como escala de peces, pasos de fauna terrestre o, en el caso de una posible relocalización, el plan de reasentamiento.

En este sentido, la adecuada implementación de la jerarquía de mitigación incluye la participación de actores clave que en esta etapa debe iniciar con su identificación, así como conocimientos e inquietudes de la población potencialmente afectada. Esta identificación y análisis de actores permitirá visualizar el escenario socioeconómico de aplicación del proyecto, relevar percepciones y expectativas, anticipar las demandas de información esperables por parte de los diferentes actores y sectores sociales, y elaborar escenarios de posibles conflictos (MOP, s.f.; SAyDS, 2019).

En la **etapa de factibilidad** se realiza una caracterización socio-ambiental del área de proyecto (a escala regional y local), lo que permitirá el análisis de alternativas consideradas y la justificación de la alternativa seleccionada desde el punto de vista socio-ambiental. También se comienzan a identificar las acciones de gestión ambiental y su estimación de costos.

Durante la etapa de **Proyecto ejecutivo** se realiza el EsIA, el cual tiene como insumo fundamental los estudios antecedentes. El EsIA es el documento técnico central del procedimiento de EIA el cual permitirá la toma de decisión sobre la factibilidad ambiental del proyecto hidroeléctrico.

Etapas de construcción, operación, mantenimiento y cierre

Durante esta etapa los estudios ambientales se enfocan a la implementación de las medidas de gestión para la etapa constructiva y operativa. No obstante, el análisis de los impactos realizado previamente y los lineamientos de gestión no deben ser documentos rígidos, sino que deben ser lo suficientemente flexibles para poder adecuarse a cambios que puedan surgir durante la construcción del aprovechamiento. Concluida la etapa de construcción, se puede comenzar a hacer uso del aprovechamiento, siendo este el período más largo dentro de la vida del proyecto, durante el cual se llevarán adelante los programas de gestión ambiental orientados a la etapa operativa.

El cierre de un aprovechamiento hidroeléctrico se produce cuando la estructura o las instalaciones no son capaces de satisfacer las necesidades para las que fueron concebidas, es decir, que el mantenimiento habitual de la estructura no es suficiente para garantizar su óptimo funcionamiento o bien la inversión a realizar para lograr ese cometido sería muy costosa y habría que rediseñar el sistema en forma íntegra.

Dicho cierre puede llevarse a cabo a partir de distintos factores: el primero, es a partir de un desgaste normal asociado a un uso adecuado según su diseño y un mantenimiento acorde. El segundo está relacionado a que el aprovechamiento puede alcanzar su vida útil de forma acelerada debido a eventos externos que lo destruyan total o parcialmente, como puede ser eventos naturales extremos o eventos accidentales o intencionales causados por el hombre y que pongan en riesgo el proyecto. Las estrategias de cierre son diversas y dependen de las características de cada proyecto en particular.

Capítulo 4.

El estudio de impacto ambiental de un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico



Los lineamientos conceptuales y orientaciones metodológicas para la elaboración de EsIA de proyectos de aprovechamiento hidroeléctricos que se presentan en este capítulo, se apoyan y deben ser complementados con las buenas prácticas publicadas en la [Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental](#) (SAyDS, 2019a).

Asimismo, los criterios y buenas prácticas aquí expuestos corresponde que sean considerados y ajustados en función de cada proyecto específico según sus características particulares, lugar de emplazamiento, condiciones ambientales y magnitud de los potenciales impactos a evaluar.

1. Consideraciones previas para la planificación del estudio

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 31).

Como en todo proyecto, la adecuada planificación del desarrollo del EsIA de un aprovechamiento hidroeléctrico, es condicionante para sus resultados. Para esta tipología de proyectos en particular, y a los fines de la planificación del EsIA, los estudios ambientales antecedentes, que suelen formar parte del ciclo de proyecto, son un insumo de gran importancia, conforme fueron descriptos en el capítulo anterior. Estos estudios antecedentes permiten definir con mayor precisión el alcance de los componentes, los aspectos clave y el enfoque del EsIA. En este sentido, el trabajo interdisciplinario es central para determinar adecuadamente el alcance del estudio.

Teniendo en cuenta la complejidad de los proyectos de aprovechamiento hidroeléctrico, la identificación y planificación de la consulta a actores clave resulta muy relevante, siendo crucial e indispensable en aquellos proyectos que impliquen reasentamiento de población.



2. Resumen ejecutivo y documento de divulgación

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 35).

El resumen ejecutivo debe presentar en forma clara y concisa los objetivos y la justificación del proyecto hidroeléctrico, los alcances y contenidos generales del EsIA, y sus principales conclusiones. Se trata de un documento técnico que sintetiza los principales hallazgos del EsIA. Deberá estar enfocado en transmitir los aspectos más relevantes asociados típicamente a los proyectos hidroeléctricos como los cambios hidrológicos aguas abajo, procesos erosivos y de sedimentación, sostenimiento de caudales ecológicos, afectación de hábitats críticos, pérdida de biodiversidad, reasentamientos poblacionales, pérdida de

patrimonio cultural (IFC, 2015)³. Es importante que de cuenta de las principales medidas adoptadas para la mitigación de los impactos ambientales significativos.

Determinadas tipologías de proyectos que conllevan instancias de consulta y de participación ciudadana, es recomendable que cuenten también con un documento de divulgación para el público no especializado, que requiera términos más simples, ya que no están familiarizados con los aspectos técnicos específicos y que pueden ser actores clave en el marco del proyecto.

3. Presentación del EsIA

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 35).

En este apartado se presentan los objetivos y alcance del proyecto hidroeléctrico, especificando si se trata de un proyecto multipropósito o sólo hidroeléctrico. En términos de aprovechamiento hídrico, es relevante aclarar si está previsto que se cumpla con otros objetivos más allá de la generación de energía (abastecimiento de agua potable para consumo humano, regulación de los caudales; riego, etc.).

Asimismo, corresponde acotar el alcance del estudio, identificando las obras complementarias o vinculadas (ej. reasentamientos poblacionales, líneas de alta tensión, relocalización de infraestructura de transporte), que son objeto del mismo EsIA o bien, indicar si, conforme lo establecido por la autoridad ambiental competente, se realizarán otros estudios específicos para dichas obras.

Como para todo proyecto, este apartado debe presentar la ubicación y descripción general, así como los componentes y características del emplazamiento de manera sintética; la información sobre el proponente, el encuadre institucional y el equipo realizador del EsIA. Debe describirse la estructura del estudio.

Este capítulo inicial debe incluir la justificación o necesidad de realizar el proyecto, frente a la opción de no realizarlo y los criterios que permitieron la toma de decisión (más allá de que luego pueda ser desarrollada en el capítulo de descripción del proyecto).

El encuadre del proyecto debería especificar si fue evaluado mediante, por ejemplo, un programa de priorización de proyectos o la aplicación de alguna metodología de selección de alternativas. Cuando exista un marco de referencia en términos de política, plan o programa de desarrollo local, regional, energético, hídrico, entre otros, es aconsejable que se detalle e incluya sus objetivos.

Es importante que se presente el estado de avance del desarrollo del proyecto (factibilidad, proyecto ejecutivo, ingeniería de detalle) y los estudios técnicos y ambientales que se hayan realizado en etapas previas y sean insumo del EsIA.

Puede hacerse una mención a la inversión general del proyecto, pero en este punto, es importante conocer cuál es la previsión realizada para la gestión ambiental, incluyendo las medidas de compensación ambiental, en caso de corresponder.

³ IFC-WBG, Hydroelectric Power, A Guide for Developers and Investors, 2015.

4. Descripción del proyecto

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EslA](#) (SAyDS, 2019a, p. 38).

Este capítulo del EslA tiene como finalidad especificar en forma simplificada de qué se trata el proyecto, su localización, componentes, etapas, cronograma, metodología constructiva, cantidad y tipo de personal requerido en cada etapa, vida útil del proyecto, y todos aquellos aspectos que puedan ser de interés para la identificación y valoración de los impactos ambientales positivos y negativos.

Ubicación

Más allá de los aspectos generales que definen la ubicación del proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico; es relevante indicar si el río a intervenir se trata de un recurso compartido con otra jurisdicción o no. En particular, se deben indicar las coordenadas geográficas de el/los cierres, la localización de sus distintos componentes del proyecto (obras principales y complementarias), la superficie a ocupar y las áreas a ser inundadas por los futuros embalses (definido por la cota de inundación y su remanso).

Asimismo, corresponde mencionar la ubicación relativa del proyecto respecto de los principales elementos estructurantes del territorio como rutas, ferrocarriles, aeropuertos, puertos, accidentes geográficos importantes relacionados, ciudades y centros poblados, así como una descripción de la cuenca hidrográfica a la que pertenece, el área o tramo comprometidos, el uso del suelo en la cuenca y en las inmediaciones del proyecto, áreas naturales protegidas, otros aprovechamientos hidroeléctricos en la cuenca existentes o proyectados, así como conexión a líneas transmisión.

Se debe presentar la ubicación en mapas de escala adecuada para lograr identificar todos los elementos de la región, en cartografía de escala mayor representar la delimitación del área del emprendimiento y su entorno inmediato, así como el área a ser inundada.

Descripción general del aprovechamiento hidroeléctrico

En este apartado se debe describir en forma sintética las características del aprovechamiento hidroeléctrico a construir, que permita tomar conocimiento de la magnitud del proyecto y sus potenciales impactos. Esta descripción general podría ser utilizada también para explicar el proyecto en el resumen ejecutivo del EslA. Para ello, es conveniente señalar:

- » Potencia total instalada.
- » Energía media anual a generar.
- » Modo de operación previsto para la central hidroeléctrica.
- » Objetivos / propósitos del aprovechamiento.
- » Descripción breve de los órganos de descarga y otro tipo de obras de toma que existan, dependiendo de los usos previstos.
- » Tipo, materiales y altura de la presa (cota de coronamiento - cota de fundación).
- » Cantidad, potencia unitaria y tipo de turbinas.
- » Nivel máximo de operación normal del embalse y nivel de restitución del río.
- » Volumen del embalse a nivel máximo normal.
- » Superficie a ocupar por el embalse a nivel de operación normal o nivel máximo normal.
- » Cantidad de población (urbana y rural) a reasentar, en caso que corresponda.
- » Régimen de caudal ecológico/ambiental previsto para las etapas de llenado y operación.
- » Sistemas de transferencia de peces y/o esclusas de navegación, en caso de corresponder.
- » Extensión de la línea de transmisión eléctrica y el nodo o punto de conexión a la red. Indicar si existen comunidades beneficiarias directamente con la provisión de energía eléctrica.
- » Cronograma simplificado con la duración de cada etapa del proyecto y del total de las obras.
- » Cantidad total de empleos previstos para cada etapa e histograma de mano de obra.

Es conveniente que se incluya una representación, en uno o más esquemas, planos o imágenes, de la disposición general de las obras principales y auxiliares incluyendo especialmente, zonas de obrador, campamento, villa de operarios, canteras y escombreras. Se sugiere presentar mapas donde se pueda visualizar la superficie de inundación en relación con la cuenca hidrográfica a la que pertenece y otros elementos o emprendimientos relacionados al aprovechamiento hidroeléctrico (presas existentes o proyectadas). Es adecuado en esta instancia también detallar los usos previstos o potenciales del embalse, propiciados por la existencia de una

nueva reserva de agua y/o su posibilidad de regulación, así como otros usos del río aguas abajo que pudieran verse afectados (tomas de agua de abastecimiento, áreas de riego, etc.).

Además, se deberán describir las características más relevantes de cada uno de los componentes de las obras. Es aconsejable que la descripción sea acompañada de fichas técnicas, que resultan útiles para acompañar la memoria técnica del proyecto. Para facilitar la comprensión del proyecto, es útil que la descripción siga el orden de pasada del flujo del agua.

Memoria técnica descriptiva en detalle. Descripción de las actividades del Proyecto por etapa (construcción, operación y cierre).

Esta descripción es una interpretación desde el punto de vista ambiental de la memoria técnica elaborada por el equipo proyectista, y debe contener la información relevante para entender de qué manera el proyecto se vincula con su ambiente receptor, su potencial de modificación y cómo el ambiente puede influir sobre el proyecto.

Dicha descripción deberá ser suficiente para que los integrantes del equipo profesional puedan identificar los potenciales impactos ambientales que conlleva cada etapa y su alcance e importancia, de forma tal de discriminar si se prevén impactos significativos y de ser así, incorporarlas en la evaluación.

Contenidos sugeridos para la descripción de los componentes

Presa: indicar el tipo de cierre, materiales, altura sobre el lecho del río, cota de coronamiento, cotas de operación (máxima extraordinaria, máxima normal, mínima normal y mínima extraordinaria), pendiente de taludes, ancho y longitud del coronamiento, volumen de presa y de cada uno de los materiales que la componen y su fundación. En caso que el aprovechamiento se componga de varios cierres (transversales, laterales) y tipos de presa, detallar las características de cada sector identificado. Señalar el origen de los materiales a utilizar para su construcción (muro y terraplén), ubicación y distancia de los yacimientos, modalidad de transporte, así como si el material deberá recibir algún tratamiento o procesamiento. Incluir otras características particulares del diseño, tales como si el coronamiento de la presa prevé conexión vial entre márgenes, si posee muro rompeolas y el tipo de estructuras para la iluminación externa. Se considera de utilidad brindar información sobre la instrumentación para auscultación de la presa, mencionando cantidad y tipo de dispositivos a instalar, su ubicación y finalidad.

Central hidroeléctrica: señalar si se encuentra emplazada a pie de presa, ya sea por fuera o en el cuerpo de la presa, o se trata de una central a distancia. Describir:

-*Obra de toma:* integrada al cuerpo de la presa o independiente. Cantidad de módulos, dimensiones, si posee rejas y el tipo de limpieza de las mismas. Dispositivos de interrupción del flujo, para realizar tareas de mantenimiento y para cierre de emergencia.

-*Sistema de conducción y tubería forzada:* especificar dimensiones, longitud y si son de superficie o excavados en túnel, existencia de chimenea de equilibrio u otro dispositivo para control de golpe de ariete.

-*Equipamiento de la central o casa de máquinas:* cantidad, tipo de turbinas y caudal nominal turbinado, el máximo y el mínimo de operación. Sobre los generadores, indicar la potencia unitaria e instalada, la energía generada; demás elementos que forman parte de la casa de máquinas, como los sistemas electrónicos de comando, los tableros de control, válvulas, compuertas y demás equipos hidro electromecánicos, equipos de monitoreo y auscultación. Aclarar si las turbinas poseen características amigables para el pasaje de peces o si se dispondrán pantallas o colectores y by pass para evitar pasaje de fauna por las turbinas.

Estación transformadora: indicar su ubicación y superficie, cantidad de transformadores, tensión de entrada y salida de la subestación. Instalaciones contra incendios, sistemas de drenaje, recolección y separación de aceites. Se sugiere incorporar una ficha técnica y representación espacial.

Línea de transmisión asociada: indicar los puntos de conexión (total o por tramos), jurisdicciones que atraviesa, traza y localización de las torres, longitud total (km), tensión nominal (kV), cantidad y tipo de torres, tipo de fundaciones y alturas de las torres (m), distancias medias entre torres (m), ancho de la faja de servidumbre (m), distancia mínima del cable al suelo (m) así como los caminos de acceso previstos. Informar el tiempo estimado de construcción y el personal afectado. Se recomienda presentar una ficha técnica de la línea eléctrica y cartografía identificando principales componentes del territorio, donde pueda visualizarse la proximidad con, por ejemplo, localidades y áreas protegidas.

El proyecto de la línea de transmisión suele ser objeto de procedimientos de evaluación de impacto ambiental independientes del aprovechamiento hidroeléctrico, según algunas normativas jurisdiccionales. Si bien suele definirse con posterioridad, si la alternativa de traza es conocida y forma parte del proyecto bajo análisis, constituye una buena práctica incluir la evaluación de este componente en el EsIA.

Vertedero: detallar la ubicación respecto a la presa (formando parte del cuerpo o independiente), el tipo, cantidad y dimensión de vanos, tipo de compuertas y pilas, cota de umbral, caudal máximo de diseño (m³/s), la conducción en canal o en túnel a

presión, y en qué punto y cómo será el sistema de restitución del caudal al curso del río, indicando los elementos de disipación de la energía (cuenco disipador, salto de esquí, entre otros).

Descargadores: indicar su ubicación, capacidad máxima unitaria de erogación y sistema de regulación de caudal. Describir los todos usos previstos (vaciar el embalse, evacuar los sedimentos acumulados, erogar el caudal ecológico durante la etapa de llenado y eventualmente en la de operación, etc). Incluir las características del canal de descarga y el sitio de restitución del caudal al río.

Sistemas de transferencia de peces: mencionar la función para la cual fue diseñada, la/las especies objetivo y los criterios ingenieriles definidos para permitir que los peces logren superar las barreras artificiales, a partir de sus características biológicas (velocidad de natación y/o capacidad natatoria, sitios de alimentación, descanso, desplazamiento y/o traslado, horario y/o época de migración, sitios y estrategias reproductivas, etc.). Describir el criterio de diseño adoptado. También se sugiere aclarar si se prevé el pasaje descendente a través de turbinas y/o

vertedero y qué adaptaciones poseen para minimizar mortandad, lesiones o enfermedades en los peces por sobresaturación de oxígeno. Asimismo, “(...) no se debería concebir a los futuros sistemas como únicos (ascensor, escala, esclusa, etc.) sino como un conjunto en el cual pueden complementarse aprovechando incluso afluentes naturales que pueden ser utilizados como sistemas naturales de by pass” (Baigún, 2001).

Debe considerarse que el diseño debe estar ajustado a las especies ictícolas objetivo, considerando no solo las que tengan valor para comunidades locales sino también aquellas de importancia para la conservación. En ese sentido, deben realizarse estudios que identifiquen las especies objetivo, y el diseño del sistema de transferencia debe basarse en robustos estudios de base de dichas especies que consideren, entre otros, hábitos de la especie, corredores migratorios. Estos estudios deben considerar también las corrientes, altura de la presa, estratificación térmica, y la capacidad de las especies en cuestión en localizar la entrada y salida de los pasos, entre otros aspectos.

Consideraciones para los estudios para el diseño de sistemas de transferencia de peces (extraído de Baigún, 2006):

- » Predecir la respuesta de las poblaciones de peces migradores a los cambios de hábitats aguas abajo con relación a modificaciones de la morfometría y los patrones de flujos.
- » Definir los períodos migratorios en relación con los ciclos reproductivos.
- » Establecer las rutas de migración que presentan los peces en la actualidad caracterizando las mismas en función de su hidrología y topografía.
- » Estimar los tamaños de los stocks migrantes.
- » Identificar las áreas de reproducción y cría en la cuenca.
- » Determinar las velocidades natatorias de las principales especies migratorias con el fin de determinar su adecuabilidad a las velocidades de corriente previstas aguas abajo de la represa, incluyendo aquellas que provendrían de canales colectores, turbinas y vertederos.
- » Determinar los ritmos diarios de desplazamiento durante la época de migración.
- » Evaluar el estado actual de las pesquerías con el fin de establecer los rendimientos, identificar las especies que conforman la base de las capturas comerciales y deportivas, determinar su valoración económica y analizar la adecuabilidad de la actual legislación a las condiciones de las pesquerías.
- » Evaluar la estructura de las comunidades de peces en los cauces principales y tributarios con el fin de identificar especies claves para la dinámica energética del ecosistema; predecir y modelar la evolución de la ictiocenosis; verificar la existencia de especies endémicas e identificar áreas que exhiban alto valor de conservación para ser preservadas como reserva.
- » Reconocer la importancia ecológica de los ambientes localizados aguas abajo de la represa (áreas de desove, cría, alimentación, etc.) y predecir cómo la represa puede determinar su modificación.
- » Evaluar las implicancias de la formación del embalse para el aprovechamiento pesquero potencial y de usos alternativos como piscicultura.
- » Recabar información sobre represas preexistentes acerca de las tasas de supervivencia de peces que atraviesan las turbinas y los vertederos.
- » Analizar los patrones de funcionamiento y eficiencia de los sistemas preexistentes en represas con características próximas.
- » Diseñar los sistemas de transferencia y llevar a cabo experimentos sobre su comportamiento hidráulico en un prototipo experimental.
- » Diseñar estructuras temporales de pasos para peces que deben operar durante la etapa de cierre y desvío del río.
- » Desarrollar modelos tridimensionales sobre los campos de flujo de agua sobresaturada aguas debajo de la represa.
- » Identificar y definir las áreas de veda que deben establecerse aguas arriba y debajo de la futura represa.
- » Diseñar la estación de piscicultura e identificar alternativas regionales para su aprovechamiento.

Esclusas de navegación: señalar particularmente la ubicación planialtimétrica en el cierre, dimensiones de la esclusa, diferencia de niveles entre aguas arriba y aguas abajo de la esclusa, tipo, determinación y diseño del sistema de llenado, tiempo de operación, demanda de tránsito y cargas que puede satisfacer y dimensiones de las embarcaciones que lo pueden utilizar (buque de diseño).

Embalse: describir sus características propias como superficie (ha), capacidad o volumen (Hm³) ambos a Nivel Máximo de Operación Normal, forma (línea de contorno), profundidad media y máxima (m), extensión sobre el río principal y tributarios (km), tiempo de residencia (h), cota o Nivel mínimo Extraordinario (NmE), mínimo Normal (NmN), máximo de operación normal (NAMO) y el nivel de agua máximo extraordinario (NAME); así como las características de aquello que quedará bajo la cota de inundación: área inundada (área total sin contar el cauce natural del río), estructuras asociadas a los usos actuales (urbanos, productivos, equipamiento, etc.), tipo y volumen de biomasa que quedaría bajo agua.

Etapa constructiva

La descripción de las acciones durante la etapa constructiva es fundamental para la identificación y valoración de los impactos.

En el caso de los aprovechamientos hidroeléctricos, la etapa constructiva es generalmente prolongada respecto de otro tipo de proyectos, pudiendo diferenciarse hitos constructivos comunes de los de naturaleza particular a la tipología de proyecto como la ejecución de tareas de preparación del terreno, obras civiles en tierra y sobre el río, desvío del río, llenado de embalse, etapa de pruebas e inicio de la operación.

Incluir cronogramas de ejecución de cada fase, balance de materiales y diagramas de procesos; así como la instalación del equipamiento hidromecánico. Acompañar de esquemas explicativos de los distintos componentes de las obras (permanentes y temporarias). Incluir histograma de empleos y de calificación del personal requerido, discriminando cada una de las etapas previstas.

Identificar y cuantificar la demanda de insumos, materias primas, agua, energía, combustibles, espacios, y sus fuentes de abastecimiento, modos de transporte, almacenamiento. Describir las operaciones a realizar durante los procesos de transformación de materiales, la generación de residuos y efluentes líquidos y gaseoso (tipos, características de peligrosidad, volúmenes y tratamientos previstos, disposición transitoria y final).

Es importante indicar las épocas en que se prevén realizar las actividades o sus restricciones técnicas y/o de seguridad. De esta manera, el equipo evaluador podrá relacionar el cronograma previsto para las actividades de obras y su duración con los procesos físicos y/o biológicos estacionales en el área de influencia.

Subetapas de la construcción

Dentro de la secuencia constructiva, es recomendable presentar esquemáticamente las fases de implantación y describir las principales actividades a ser desarrolladas entre los hitos de obra.

Entre las **tareas previas** o preparación del sitio, se encuentra la liberación del área de obras y del futuro embalse. Esto cobra importancia en relación a la evaluación de impactos dado que puede implicar expropiaciones, prospecciones y rescates de patrimonio cultural y natural, desmantelamiento de construcciones y estructuras, desmonte y retiro de vegetación y capa orgánica del suelo, rescate de fauna construcción de caminos, nivelación de terrenos e impermeabilización, entre otros.

Es necesario que en este capítulo se cuantifique el área a inundar, el área a expropiar, la cantidad de personas y familias estimadas a ser reasentadas y actividades económicas a ser afectadas y dimensionar las áreas a desmontar para que posteriormente se realice el análisis de los impactos y la previsión de las correspondientes medidas de gestión ambiental.

También, se debe incluir la descripción de la construcción de las instalaciones auxiliares como obradores, campamentos, villas de operarios temporales o permanentes (nuevos barrios o pueblos), instalación de servicios y equipamiento para abastecimiento de obradores, áreas de depósitos y acopio temporal de materiales y residuos, plantas de tratamiento y disposición final de efluentes y residuos.

Para describir la **implantación de las obras principales**, se debe incluir el flujo de materiales, la estimación de las cantidades y procedencias de los principales materiales e insumos de construcción de la presa, materiales de relleno, y hormigones, tratamiento de terreno, productos y equipos a ser traídos a la obra y allí manipulados, utilizados y/o procesados. Indicar la ubicación de las plantas de tratamiento de áridos, planta de hormigón en caso de ser necesaria, sistemas previstos para el suministro de agua potable, combustible, energía eléctrica, gas y comunicaciones. Se sugiere acompañar la descripción con esquemas, planos o cartografía. Asimismo, es importante incluir la definición de canteras y/o de áreas de préstamo y escombreras, así como la capacidad y los criterios adoptados para su selección.

Detallar esquemáticamente la programación de las **obras de desvío del río**, cuyo propósito es generar la zona libre de agua para poder llevar a cabo la construcción de las estructuras, mediante presas rudimentarias denominadas ataguías, túneles, canales, entre otros. Si el proyecto posee vertederos u obras de toma en túnel, los mismos suelen ser aprovechados dentro del plan de desvío.

La construcción de los canales y túneles de desvío requiere la utilización de maquinarias de gran porte para el manejo de importantes volúmenes del material de excavación, movimientos de suelo y generación de escombreras. Por lo tanto, en este apartado es



Indicar la frecuencia y/o temporadas previstas para las tareas de mantenimiento, especialmente para las que signifiquen cambios de los caudales a erogar aguas abajo y la utilización de los descargadores de fondo. La continuidad o periodicidad del funcionamiento de los órganos de desagüe dependerá de la utilización para generación de energía de base o en punta y la variabilidad de los caudales naturales y capacidad y objetivos de regulación.

Presentar el caudal ecológico a sostener una vez alcanzado el nivel de operación normal y los criterios y metodologías utilizadas para su definición. De corresponder, indicar los caudales de atracción para sistemas de transferencia de peces (con su ubicación relativa respecto de los órganos de desagüe).

Indicar los sistemas de observación, auscultación y medición estructural previstos de la presa y demás estructuras, así como los de vigilancia y mantenimiento de los elementos mecánicos, hidráulicos y eléctricos. Indicar los procedimientos y sistemas de comunicaciones y de abastecimiento de energía alternativos definidos para garantizar suministro en situaciones de emergencias.

Detallar si en el diseño del sistema de luminarias externas fueron consideradas adaptaciones para minimizar posibles impactos lumínicos sobre la fauna.

Las normas de operación deben prever el uso de los sistemas de información hidrológica y contemplar la gradualidad suficiente para la apertura de vertederos con el doble objetivo de permitir la evacuación de caudales y de dar alerta adecuada a la población ante crecidas. Prever acciones de control de ocupación indebida del cauce y la generación de mapas de inundación ante eventos de diferente magnitud.

Se deben indicar las actividades vinculadas al acondicionamiento de las estructuras y actualización del equipamiento, así como las previstas al cumplimiento de la vida útil de las presas.

En relación al empleo de mano de obra durante esta etapa, incluir la estimación de la cantidad, jerarquías y procedencia del personal.

Es importante, asimismo, identificar las acciones de la operación del proyecto para cumplir su/s propósitos, que dan lugar a la evaluación de los impactos positivos de la realización del aprovechamiento hidroeléctrico, como la generación de energía, el aumento de la capacidad de la red, entre otros.

Etapa de cierre o abandono

Para la descripción de la etapa de cierre o abandono es importante consignar la vida útil estimada para el proyecto y las alternativas previstas para el uso del recurso a su término.

Describir el diseño previsto para el abandono (demolición total de la presa, retiro de compuertas, funcionamiento libre del vertedero, etc.) y los controles definidos para esa etapa.

5. Evaluación de alternativas

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 43).

El objetivo de este capítulo del EsIA es presentar las alternativas que fueron consideradas para el proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico en las etapas preliminares, identificando los criterios de selección y los ajustes realizados al proyecto como consecuencia de la evaluación ambiental realizada.

Este capítulo debe poder dar cuenta de todas las alternativas analizadas durante las distintas etapas del ciclo del proyecto, y dar cuenta de que en su desarrollo fueron evaluadas suficientemente las opciones que respondan a evitar, minimizar, restaurar y compensar los impactos ambientales que produciría el proyecto.

El análisis de alternativas, independientemente de la etapa en que fuera realizado, debe contener información que permita la comparación de los impactos entre las distintas alternativas de diseño del proyecto.

El análisis de alternativas consiste en ponderar su importancia relativa en función de costos y beneficios técnicos, económicos y ambientales.

Las metodologías para el análisis de alternativas suelen incluir instancias participativas o de consulta, como las basadas en paneles de expertos, mesas redondas, seminarios y otros involucramientos de partes interesadas, lo que permite asignar niveles de peso a las distintas alternativas y ordenarlas en función de su prioridad.

Herramientas metodológicas

Las metodologías de evaluación de alternativas suelen seguir una serie de pasos sistemáticos. El primero suele ser establecer la necesidad y objetivos que debe satisfacer el proyecto.

Para cada objetivo habrá más de una opción que permita su cumplimiento. Por ejemplo, si un objetivo macro es alcanzar el aseguramiento energético, las distintas opciones podrían ser aumentar la producción de energía, mejorar la distribución energética, aumentar la eficiencia de los servicios energéticos, entre otros. Para el caso específico de aumentar la generación de energía, se pueden considerar distintos tipos de fuentes de energía y distintas técnicas de generación.

Posibles aspectos a considerar en la evaluación de alternativas (incluyendo aquellas que aplican a fases tempranas del ciclo de proyecto hidroeléctrico):

- » “no realización del proyecto”
- » fuentes de generación de energía
- » ubicación del proyecto
- » ubicación de cierres o de sistemas de aprovechamientos del salto, energía media generada, cota de embalse, capacidad instalada
- » tecnológicas (tipos de presa, tipo de turbinas, tipo de compuertas, conducciones, etc.)
- » layout del proyecto
- » modificaciones de un proyecto seleccionado
- » constructivas (de desvío del río, túneles, etc.)
- » resiliencia del proyecto al cambio climático.
- » cronogramas, secuencias constructivas, fechas de escenarios de llenado (años ricos/pobres).
- » caudales ecológicos /hidrogramas ambientales. Escenarios de llenado y de normas de operación.
- » insumos y combustibles.
- » tipología de maquinaria.
- » alturas de taludes, profundidad de excavaciones.
- » construcción, operación y desmantelamiento.
- » específicas de gestión y monitoreo de impactos.
- » existencia de sistemas ecológicos y hábitats para la conservación en el emplazamiento o área de influencia del proyecto.
- » existencia de áreas protegidas en la ubicación del proyecto y su área de influencia.
- » existencia de patrimonio cultural en el sitio de emplazamiento.
- » presencia de especies en peligro, raras y/o amenazadas que podrían estar en riesgo si el proyecto se implementa.

Una vez seleccionados los objetivos, se deben considerar los criterios de evaluación (principio o estándar por el cual se emitirá juicio), y el indicador de desempeño (variable a partir de la cual se infiere el estatus del criterio considerado).

Cuanto más exhaustiva y temprana sea la incorporación de la variable ambiental en el proceso de evaluación de alternativas, mayores posibilidades habrá de evitar impactos adversos del proyecto, y de potenciar sus aspectos benéficos; y menores serán los costos emergentes de la gestión de impactos no evitables.

En general, las evaluaciones se basan en una multiplicidad de criterios que consideran también impactos durante el ciclo de vida útil en término de emisiones de gases de efecto invernadero; consumo y eficiencia de recursos; factores de resiliencia, consideraciones de las partes interesadas; tecnología disponible y sus costos; compromisos asumidos a nivel regional e internacional; costos de la gestión de mitigación de impactos, entre otros aspectos ambientales.

A continuación, se hace un resumen breve de las metodologías más comunes para la categorización de las opciones y su respectiva valoración.

Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Considera la valoración de las alternativas de proyectos, en base a su desempeño ambiental a través de su vida útil. La ventaja de este análisis es que permite estimar el desempeño considerando un amplio rango de aspectos ambientales, a través de una serie de etapas.

Es muy común la utilización del ACV para estimaciones de gases efecto invernadero de distintos procesos, pero para ello es importante contar con acuerdo en cuanto a factores de emisión estandarizados para los distintos procesos. La Secretaría de Gobierno de Energía publica los factores de emisión de la red, por lo que se puede utilizar el valor más actualizado disponible⁴, los cuales remiten a algoritmos desarrollados en el marco de Mecanismo para un Desarrollo Limpio del IPCC (ej. Metodología consolidada "ACM0002: Grid-connected electricity generation from renewable sources"; "TOOL07: Tool to calculate the emission factor for an electricity system" aprobada por la Junta Ejecutiva del Mecanismo para un Desarrollo Limpio⁵).

Protocolo de evaluación de sostenibilidad hidroeléctrica de la Asociación Internacional de la Hidroelectricidad (IHA)

Este protocolo de la IHA permite evaluar la sostenibilidad de proyectos hidroeléctricos, a través de la generación de un perfil de un proyecto, en base al rendimiento en distintos temas de sostenibilidad. Considera principios de sustentabilidad,

compromisos internacionales en la materia, principios de transparencia y rendición de cuentas, y de responsabilidad social. Es aplicable a todas las etapas del ciclo del proyecto, las que denomina: etapas tempranas, preparación, implementación, y operación; y la evaluación se realiza analizando el nivel de aplicación de buenas prácticas, probadas internacionalmente en un conjunto de temas relevantes para asegurar la sostenibilidad del proyecto, definidos según la etapa de desarrollo en la que se encuentra (ver tabla 4.1).

La estructura de análisis que prevé dicho Protocolo resulta una buena guía al momento de proponer y/o analizar alternativas para cada uno de los ejes definidos, tanto en las etapas tempranas como para identificar áreas de optimización del proyecto durante la elaboración del EsIA, e incluso para identificar oportunidades de mejora durante la gestión adaptativa.



Figura 4.1. Comparación de etapas típicas de un proyecto hidroeléctrico (columna izquierda) con las propuestas en el Protocolo de la IHA (columna derecha). Fuente: elaboración propia.

⁴ Visitar: <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>

⁵ <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/VJI9AX539D9MLOPXN2AY9URIN4IYGD>

PP - Primeros pasos	P - Preparación	I - Implementación	O - Operación
PP-1 Necesidad demostrada	P-1 Comunicaciones y consultas	I-1 Comunicaciones y consultas	O-1 Comunicaciones y consultas
PP-2 Evaluación de opciones	P-2 Gobernanza	I-2 Gobernanza	O-2 Gobernanza
PP-3 Políticas y planes	P-3 Necesidad demostrada y ajuste energético		
PP-4 Riesgos políticos	P-4 Emplazamiento y diseño		
PP-5 Capacidad institucional	P-5 Evaluación y gestión del impacto social y medioambiental	I-3 Gestión de cuestiones sociales y medioambientales	O-3 Gestión de cuestiones sociales y medioambientales
PP-6 Cuestiones y riesgos técnicos	P-6 Gestión integral del proyecto	I-4 Gestión integral del proyecto	
PP-7 Cuestiones y riesgos sociales	P-7 Recursos hidrológicos		O-4 Recursos hidrológicos
PP-8 Cuestiones y riesgos medioambientales			O-5 Fiabilidad y eficiencia de activos
PP-9 Cuestiones y riesgos económicos y financieros	P-8 Seguridad de la infraestructura	I-5 Seguridad de la infraestructura	O-6 Seguridad de la infraestructura
	P-9 Viabilidad financiera	I-6 Viabilidad financiera	O-7 Viabilidad financiera
	P-10 Beneficios del proyecto	I-7 Beneficios del proyecto	O-8 Beneficios del proyecto
	P-11 Viabilidad económica		
	P-12 Adquisición	I-8 Adquisición	
	P-13 Comunidades y medios de sustento afectados por el proyecto	I-9 Comunidades y medios de sustento afectados por el proyecto	O-9 Comunidades y medios de sustento afectados por el proyecto
	P-14 Reasentamiento	I-10 Reasentamiento	O-10 Reasentamiento
	P-15 Población indígena	I-11 Población indígena	O-11 Población indígena
	P-16 Condiciones laborales y de trabajo	I-12 Condiciones laborales y de trabajo	O-12 Condiciones laborales y de trabajo
	P-17 Patrimonio cultural	I-13 Patrimonio cultural	O-13 Patrimonio cultural
	P-18 Salud pública	I-14 Salud pública	O-14 Salud pública
	P-19 Biodiversidad y especies invasoras	I-15 Biodiversidad y especies invasoras	O-15 Biodiversidad y especies invasoras
	P-20 Erosión y sedimentación	I-16 Erosión y sedimentación	O-16 Erosión y sedimentación
	P-21 Calidad del agua	I-17 Calidad del agua	O-17 Calidad del agua
		I-18 Residuos, ruido y calidad del aire	
	P-22 Planificación del embalse	I-19 Preparación y llenado del embalse	O-18 Gestión del embalse
	P-23 Regímenes de flujo aguas abajo	I-20 Regímenes de flujo aguas abajo	O-19 Regímenes de flujo aguas abajo

Tabla 4.1. Temas relevantes considerados en el Protocolo de evaluación de sostenibilidad hidroeléctrica de la IHA. Fuente: IHA, 2011.

Análisis financiero y económico

El análisis financiero permite evaluar el proyecto en términos de precios de mercado, haciendo hincapié en costos y beneficios directos relevantes para los inversores considerando la construcción, la operación, el mantenimiento y el futuro desmantelamiento, incluyendo los costos de implementar medidas de mitigación de impactos ambientales y sociales. Este análisis requiere que se incluyan las externalidades del proyecto, beneficios o costos tales como el empleo o los impactos a los sistemas ecológicos. Mientras que, el análisis económico se utiliza para determinar el valor del proyecto, en un contexto económico más amplio. Se busca identificar y valorar tanto los beneficios y costos visibles del proyecto como los no visibles. La premisa básica de este análisis, en relación con el anterior, es que el mercado a menudo no refleja el verdadero valor para la sociedad, incluyendo el de los ecosistemas impactados y las externalidades sociales y ambientales. Estas externalidades refieren a impactos indirectos, no siempre contabilizados y consecuentemente no suficientemente compensados a nivel social y ambiental.

Análisis multicriterio (AMC)

Esta metodología es aplicada tanto para la valoración y caracterización, como para ordenar jerárquicamente las opciones. Es uno de los análisis más utilizados por los ecólogos, para la priorización de alternativas que deben valorar la complejidad de los ecosistemas. La filosofía de la metodología considera que no existe una única solución óptima, y que es necesario acordar criterios a través de instancias participativas.

La aplicación de AMC se realiza, generalmente, a nivel de decisión de proyecto. En la "Guía para la elaboración de una Evaluación Ambiental Estratégica" (SAyDS, 2019b, p.37⁶) se dan algunas pautas sobre esta tipo de análisis.

Posibles criterios socio-ambientales a considerar en la evaluación de alternativas de ubicación de un proyecto hidroeléctrico:

- » área de superficie del embalse
- » tiempo de retención de agua en el embalse
- » biomasa inundada
- » longitud del río embalsado
- » longitud del curso mantenido seco
- » cantidad de tributarios aguas abajo
- » probabilidad de estratificación del embalse
- » vida útil del embalse
- » caminos de acceso a través del bosque
- » cantidad de personas que requieren reasentamiento
- » afectación de hábitats naturales críticos
- » diversidad de especies de peces y endemismos
- » afectación de patrimonio cultural

Fuente: Ledec *et al*, 2003.

⁶ Aprobada por Resolución SAyDS N° 337/19.

La evaluación de alternativas basadas en la resiliencia del proyecto al cambio climático

Por lo general, los proyectos hidroeléctricos están diseñados teniendo en cuenta las condiciones climáticas; dado que dependen de dichas condiciones y están sometidos a factores de riesgo consecuentes del cambio climático (cambios regionales en tormentas, nivología, disponibilidad de agua, entre otros vinculados a cambios en los regímenes climáticos históricos). La creciente frecuencia e importancia de estos cambios, genera que los proyectos deban planificarse considerando distintas opciones de diseño en búsqueda de la resiliencia, considerando la planificación adaptativa, con flexibilidad suficiente para que se puedan introducir cambios posteriores, más allá de la etapa constructiva, en etapas de operación y en gestión adaptativa de los impactos del cambio climático. En ese contexto, la selección de opciones que aseguren una mayor resiliencia es un aspecto de importancia.

En los análisis de la resiliencia se consideran, entre otros aspectos, diferentes escalas, capacidades instaladas, emplazamientos,

flexibilidad y adaptación, etapas de proyecto, configuraciones de una sola central o en cascada, factores climáticos, incluidas las herramientas predictivas de proyección de escenarios.

En este contexto, resulta fundamental la estimación de caudales extremos que influirán en el desempeño del proyecto. Por lo general, las presas se diseñan para enfrentar caudales pico de 1.000 o 10.000 años de recurrencia. No obstante, y en base a la estimación de aumento de frecuencia de los eventos extremos, se pueden generar repercusiones tanto en las condiciones hidrológicas del recurso, como el aumento de los sedimentos o caudal sólido. En el análisis de las opciones más resilientes se suelen utilizar modelos tanto hidrológicos como climáticos (ej. Water Evaluation and Planning System -WEAP; Coupled Model Intercomparison Project -CMIP5, entre otros), que, más allá de la instancia de evaluación de alternativas, se corren periódicamente para revisar los escenarios e introducir mejoras operativas y de gestión de seguridad y respuesta.

Evaluación de alternativas en función de la resiliencia al cambio climático:

- » Seleccionar los modelos disponibles que mejor reflejen los cambios hidrológicos que causan los efectos climáticos en diferentes series temporales.
- » Identificar umbrales climáticos, a partir de los cuales el proyecto no cumpliría los objetivos cuantitativos de desempeño.
- » Validar estos umbrales con los peores casos registrados en las observaciones en campo.
- » Calcular la capacidad de cada combinación de opciones de diseño para cumplir con los objetivos cuantitativos de desempeño, para diferentes proyecciones climáticas.
- » Identificar medidas estructurales para aumentar la resiliencia, y otras medidas no-estructurales vinculadas a la planificación, disposición de unidades principales y complementarias y gestión adaptativa.
- » Considerar la importancia de las alternativas de ubicación vinculadas a la resiliencia del medio receptor.
- » Identificar los requerimientos de sistemas de respuesta a emergencias de cambio climático, los costos y la disponibilidad de recursos.
- » Aplicar técnicas de costo-beneficio para evaluar los costos de la implementación de las medidas en el marco de las jerarquías de mitigaciones, y comparar con los costos de daños por fallas en la resiliencia.
- » Considerar la armonía e interdependencia del proyecto hidroeléctrico con otros proyectos en el emplazamiento en términos de resiliencia al cambio climático.

6. Marco normativo e institucional

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 44).

El marco normativo ambiental en proyectos hidroeléctricos

En este capítulo del EsIA se presenta el marco normativo ambiental aplicable al proyecto en todas sus etapas, así como el marco institucional.

Es recomendable que se presente una matriz legal ambiental con identificación en detalle de toda la normativa ambiental aplicable y los requisitos asociados. A su vez, es necesario que se presente el análisis de otros marcos normativos vinculados a la gestión ambiental, como los sectoriales y los normativos asociados a los impactos identificados, en pos de una visión integrada de la gestión.

Además, se deben analizar las normas ambientales que se toman de referencia y las normas vinculadas a estándares y salvaguardas de organismos de financiamiento internacional, en caso que apliquen al proyecto.

Para ello, es recomendable que el marco normativo abarque el tratamiento y análisis de las distintas exigencias previstas en las diversas categorías de normas previstas en la tabla 4.2.

Marco institucional

Es aconsejable que se identifiquen todos los organismos involucrados en las diferentes etapas del proyecto, señalando jurisdicción a la que pertenecen (nacional, provincial, municipal, etc.) y normas que establecen sus competencias (breve descripción).

Un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico requiere la participación coordinada de los diferentes organismos competentes con el fin de promover la gestión de forma integrada.

Para el logro de esa articulación institucional, el modelo más difundido por su pertinencia y efectividad vinculada con la gestión del espacio geográfico es el de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH), el cual surge como un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico, pero de manera equitativa, y sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (GIRH, 2011).

Operativamente, el enfoque de GIRH involucra la aplicación de conocimiento de diferentes disciplinas, así como las perspectivas de diversos factores para elaborar e implementar soluciones eficientes, equitativas y sostenibles a los problemas hídricos y de desarrollo en el territorio desde una visión holística. La GIRH es una herramienta para el desarrollo y la gestión del agua de forma que hace un balance de las necesidades económicas y sociales, y asegura la protección de ecosistemas para generaciones futuras.

Por su parte, la Ley N° 25688 de Presupuestos Mínimos Ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional, establece que las cuencas hídricas son una unidad ambiental de gestión del recurso hídrico y se consideran indivisibles.

Las definiciones sobre el ordenamiento territorial les corresponden a los diferentes organismos gubernamentales pertinentes (por ejemplo, aquellas autoridades de aplicación en materia ambiental y/o planificación del territorio), y/o gobiernos locales, con injerencia en el territorio en el que se va a emplazar el proyecto hidroeléctrico.

Este contexto ha dado lugar a la generación de un esquema institucional eficaz para implementar formas de gestión que se apoyan en el concepto de "organismos de cuenca", evidenciando la necesidad de implementar una gestión de cuencas que involucre, no solamente una mirada integral en la gestión del recurso hídrico sino, además, a diferentes jurisdicciones a nivel provincial e interprovincial, con un marco legal específico.

A esos fines, es una buena práctica que el proponente del proyecto presente adecuadamente los roles y funciones de las autoridades de aplicación locales, organismos de cuenca, autoridades de cuenca, comités de cuenca, que intervendrán en el proyecto; así como la articulación con organizaciones de la sociedad civil, organizaciones no gubernamentales (ONG), academia, organizaciones de pueblos originarios y sus comunidades, entre otros.

En ese sentido, se deberán implementar compromisos plasmados mediante convenios o acuerdos, la creación de institucionalidades específicas y de mecanismos de integración de fondos que aseguren la implementación del plan de gestión ambiental (PGA), en un marco de desarrollo regional sostenible. Estos deberán describirse en el presente capítulo del EsIA.

Marco	Tema	Subtemas	
Marco regulatorio ambiental	Ambiental general	Marco constitucional (e internacional) Normas de presupuestos mínimos	Bloque de constitucionalidad y convenios internacionales Leyes de presupuestos mínimos
		Procedimiento de EIA y PGA	Evaluación de impacto ambiental, renovación, Seguro Ambiental
		Medio físico y natural	Aire, agua, suelo, biodiversidad, sustancias peligrosas y residuos, acústica
		Cambio climático	Mitigación, adaptación
		Eficiencia energética	Energías renovables
		Medio socioeconómico	Participación pública, consulta o audiencia, información pública, acceso a la justicia, amparo ambiental, género, reasentamiento - relocalización, patrimonio cultural, arqueológico y paleontológico, caminos de trashumancia
	Ambiente sectorial	Pueblos originarios y comunidades	Participación (consulta previa) Restitución de restos
		Generación y transmisión de energía	Régimen de la energía Sistema de Gestión Ambiental
		Régimen de cuenca	Planes de gestión Acuerdos y reglamentos de manejo y participación
		Transporte Explotación minera	Red vial y ferroviaria Canteras
Marco regulatorio vinculado	Seguridad de presas	Diseño y construcción, operación, mantenimiento y control, emergencia	
	Expropiaciones y gestión de servidumbres	Expropiaciones, servidumbres	
	Seguridad de instalaciones	Tanques de hidrocarburos, Transporte por ductos	
	Seguridad e Higiene laboral	S&H ocupacional, S&H en la construcción, S&H para la actividad minera, salud ocupacional	
	Seguridad en el transporte	Transporte y logística	
	Riesgo	Protección civil, riesgos y desastres	
	Régimen de la actividad - calidad de procesos	Régimen de la actividad eléctrica, Transporte y logística	
Normativa técnica de referencia	Derecho comparado	Provincial, internacional regional	
	Normas de certificación	ISO, OHSAS, IRAM	
	Normas internas de la empresa	Reglamentos, procedimientos, protocolos	
Salvaguardas y estándares de organismos de financiación internacional	Política de Medio Ambiente (actualización de la Política Operativa del BID OP.703) y cumplimiento de directivas de salvaguardas		
	Estándares ambientales y sociales (EAS)		
	Políticas de salvaguardas ambientales y sociales		
	Normas de desempeño		

Tabla 4.2. Lineamientos para el abordaje del marco normativo en el EsIA de un proyecto hidroeléctrico. Fuente: Elaboración propia.

7. Definición del área de estudio y áreas de influencia

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 47).

El área de estudio y el área de influencia (AI) son dos conceptos diferentes en el marco de un EsIA. El área de estudio se define en forma previa al desarrollo de la línea de base. Es un insumo de planificación temprana que permite focalizar sobre aquellos componentes clave a relevar, mejorando la asignación de recursos y generando información adecuada para el análisis de los posibles impactos.

El AI se define en función de los potenciales impactos, y representa uno de los principales resultados del EsIA. Es aquella área donde se manifiestan los impactos generados por el proyecto y sobre las cuales el proponente prevé las medidas de mitigación y el Plan de Gestión Ambiental.

La definición del AI es sitio específica, es decir que dependerá del sitio de emplazamiento del proyecto, de las características geográficas, ecosistémicas, socioeconómicas, históricas y culturales, no pudiendo establecerse generalidades que resulten adecuadas de manera universal.

Las AI se definen por componente o proceso de los medios físico, biótico y social. El área de influencia por componente⁶, grupos de componentes o medios debe ser planteada en función de unidades de análisis tales como: cuencas hidrográficas, hidrogeológicas, ecosistemas, unidades de paisaje, límites políticos territoriales, etc. A su vez, cada una de ellas debería contar con una unidad mínima de análisis (escala, nivel de análisis, etc.) a considerar en los estudios ambientales, la cual debe ser debidamente justificada en el EsIA (ANLA, 2018).

En el EsIA se deberán presentar las AI del proyecto hidroeléctrico, la metodología y los criterios usados para determinar la extensión de cada una de ellas, así como incluir cartografía adecuada, que permita una adecuada comprensión territorial. Puesto que la definición del AI conforma una herramienta de importancia clave para la orientación de los estudios y de la gestión operativa, el AI deberá ser definida por especialistas temáticos, con una metodología que sea presentada y justificada en el EsIA.

Si bien la determinación de las AI se efectuará luego de realizados los estudios ambientales, es recomendable incluir su descripción

general y cartografía en instancias tempranas de definición del alcance del estudio, con el objetivo de ordenar la lectura y posibilitar la revisión.

Área operativa, de influencia directa e indirecta

El área operativa (AO) de un proyecto hidroeléctrico queda definida por el espacio que ocupan sus obras/actividades principales y auxiliares (presa, embalse, villas temporarias, caminos, etc.), comprendiendo también aquellas obras/actividades complementarias (reasentamientos, conexión con línea de transmisión eléctrica, etc.) que, no obstante, integran el proyecto en su totalidad.

El AO forma parte del área que será impactada directamente por el proyecto y requiere, por lo tanto, de la realización de exhaustivos relevamientos de línea de base, análisis de impactos para la definición de las medidas de prevención y mitigación a implementar, especialmente de compensación ambiental de aquellos impactos negativos residuales no evitables o mitigables.

El área de influencia directa (AID) es aquella donde se manifiestan los impactos directos sobre cada componente del medio. Incluye al AO del proyecto e incorpora las áreas donde se manifiestan impactos directos, sobre los cuales se deberán elaborar diagnósticos de línea de base de mayor profundidad y estudios especiales de evaluación de impactos. Las áreas de manifestación de impactos directos, son determinadas luego de realizados los estudios ambientales de cada componente del medio, su alcance territorial estará vinculado a las características ambientales sitio específicas.

El área de influencia indirecta (AII) se establece en función de aquellos impactos que trascienden el área de ocupación del proyecto, su infraestructura asociada y el ámbito territorial de afectación directa. La definición del área de influencia indirecta debe tener en cuenta los impactos indirectos de mayor significatividad.

⁶ Aspectos ambientales que constituyen un medio (físico, biótico o socio-económico) como por ejemplo, componente atmosférico, hidrológico, fauna, demográfico, entre otros.

Las áreas afectadas por los impactos acumulativos pueden extenderse mucho más allá del AAI del proyecto y deben ser consideradas en un apartado especial.

Si el proyecto requiere medidas de compensación ambiental, por ejemplo, por pérdida de biodiversidad, o compensaciones sociales como reasentamientos de población, aunque los sitios se emplacen a grandes distancias, es importante considerarlos en el AI del EsIA (BID, 2015).



Áreas de influencia: medio físico

El alcance definido para los impactos del medio físico en proyectos hidroeléctricos, deberá estar asociado a estudios específicos por componente, como la simulación de las condiciones actuales y prospectivas a través de herramientas de modelación (atmosféricas, hidrológicas e hidrogeológicas, entre otros). La determinación de impactos deberá considerar los umbrales, que pueden surgir de la normativa ambiental vigente, para cada componente relacionado con las actividades a ejecutar, de manera de poder determinar la significatividad de impactos.

Una vez establecidos los umbrales, se define el área haciendo uso de herramientas técnicas, por ejemplo: modelaciones, ensayos, y/o criterios físicos como divisorias de aguas, elevaciones y depresiones topográficas, entre otros, que permitan delimitar cada área en función de los procesos determinantes para cada componente.

En la tabla 4.3 se resumen los criterios generales para la determinación del AI de los componentes del medio físico en relación a un proyecto hidroeléctrico.

Componente	Criterios para la determinación del AI
Atmósfera	<p>Afectación al microclima local, por ejemplo, por variación en las precipitaciones.</p> <p>Impactos atmosféricos, lumínicos, acústicos, sobre receptores sensibles como población, biodiversidad, glaciares, etc.</p> <p>La modelación de dispersión de las emisiones generadas por las fuentes asociadas al proyecto en sus diferentes fases se debe determinar a partir de una isolínea de emisiones de las fuentes a ser emplazadas, que considere las concentraciones establecidas en la normativa local vigente, así como los valores establecidos por la OMS, y la ubicación de receptores sensibles a esta tipología de impactos.</p>
Geología	Amenazas naturales como remoción en masa y sismicidad. Identificación de fallas.
Suelos	Afectación del suelo: sitios donde se emplacen actividades extractivas y de asentamiento humano, entre otros.
Hidrología superficial	Cuenca, microcuenca, según resulte de la evaluación de impactos, como el alcance de efectos de procesos erosivos, aguas claras o afectación de regímenes de caudales ecológicos.
Hidrogeología	Variaciones de nivel de agua subterránea en la cuenca.
Calidad de agua y limnología	Afectaciones a la calidad de agua y componentes limnológicos tanto en el área del embalse como en la cuenca.

Tabla 4.3. Criterios para la determinación del AI por componente del medio físico. Fuente: Elaboración propia.

Áreas de influencia: medio biótico

La definición del AI de los componentes del medio biótico, comienza, en primer lugar, por evaluar el AO, donde los impactos se evidencian de modo inmediato. Por ejemplo, en lo que respecta a la afectación de ecosistemas, el impacto generado por la pérdida de cobertura puede restringirse en primera instancia al área puntual afectada; no obstante, las afectaciones de procesos ecológicos generados por la fragmentación de hábitats y cambios en la distribución de poblaciones, se pueden extender a toda el área de distribución de una especie endémica. Por lo tanto, el AI contiene la totalidad del alcance de la afectación sobre el componente intervenido, para lo cual se deberá recurrir a estudios especializados de los procesos ecológicos de cada componente específico del ecosistema afectado, con especial interés en características sensibles de los componentes del medio biótico.

Para la identificación y valoración de los impactos significativos relacionados con conectividad y fragmentación, se debe contar con sólida información de línea de base y la predicción de impactos mediante el uso de modelos, incorporando las tendencias (sin y con proyecto), y considerando otras amenazas de base sobre la biodiversidad y ecosistemas, así como los impactos acumulativos.

Los estudios efectuados para el medio físico son de utilidad con la finalidad de evaluar, por ejemplo, efectos del ruido o de la luz sobre la fauna silvestre, o de regulaciones de caudales sobre determinadas especies sensibles.

En el área de estudio debe considerarse toda la cuenca, y fundamentarse adecuadamente su consideración o exclusión en el AI.

Componente	Criterios para la determinación del AI
Áreas protegidas, hábitats críticos y de importancia para la conservación	<p>Afectación de áreas de conservación⁸ (áreas protegidas legalmente o prioritarias para protección legal, entre otras), hábitats críticos (importantes para la cría, alimentación y refugio) y de importancia para la conservación de la biodiversidad, así como para sus valores ecosistémicos. Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Impactos por cambios de uso de suelo. » Impactos de los cambios hidrodinámicos e hidro sedimentológicos aguas abajo y agua arriba. » Impactos por cambios de calidad de agua. » Impactos por cambios de temperatura local. » Impactos acumulativos e indirectos especialmente en áreas o flujos previamente impactados, donde la capacidad de sustentabilidad del ecosistema pueda estar reducido.
Especies de flora y fauna: ictiofauna, avifauna acuática, fauna terrestre.	<p>Pérdida y afectación de especies (acuáticas y terrestres), especialmente endémicas y/o con alguna categoría de amenaza, debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Impactos por cambios de uso de suelo. » Alteración de las dinámicas poblacionales y de los patrones de distribución y abundancia con especial atención a especies clave (raras, endémicas, en peligro de extinción, etc.), aguas arriba y aguas abajo. » Impactos del efecto barrera u obstáculos para las especies migratorias tanto acuáticas como terrestres por obras principales (como el cierre de la presa, el embalse, entre otros) y complementarias (como las líneas de alta tensión, relocalización de rutas, entre otros). » Impactos por otras interferencias en el vuelo de especies (luminarias de obra, electrocución en línea de alta tensión, cambio en el microclima local provocada por el embalse, entre otros). » Impactos por afectación de cadenas tróficas. » Impactos por introducción y dispersión de especies exóticas invasoras según actividad e introducción accidental. » Impactos asociados por presión de uso: pesca, caza, comercio. » Impactos sobre la fauna asociados con el aumento del tránsito vehicular e incremento poblacional (atropellamientos, caza y comercio furtivo). » Sinergia con amenazas actuales y potenciales sobre las diferentes especies. Impactos acumulativos

Tabla 4.4. Criterios para la determinación del AI por componente del medio biótico. Fuente: elaboración propia.

⁸ Se entiende por áreas de conservación a las categorías establecidas en la Estrategia Nacional sobre la Biodiversidad - Plan de acción 2016-2020. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/biodiversidad/estrategianacional>.

Área de influencia: medio socioeconómico

Comprende las áreas geográficas donde se manifiestan los impactos generados por las actividades del proyecto hidroeléctrico sobre la población y los componentes del medio socioeconómico, incluyendo el patrimonio cultural⁹. Comprende también el territorio ocupado por pueblos originarios, así como los distintos espacios de desarrollo (incluyendo medios de subsistencia¹⁰, lugares sagrados u otros vinculados a su identidad cultural).

Dentro del AID de los componentes sociales, deben considerarse aquellas áreas que implican cambios de uso de suelo y zonificación, así como áreas de rescate arqueológico, paleontológico, geológico y demás elementos del patrimonio natural y cultural.

Como criterios para la delimitación del AID se debe considerar que es necesario determinar en casos de reasentamientos de población, la zona de recepción de la población desplazada, que será considerada dentro del AID.

Por otro lado, en casos de desplazamiento de actividades económicas, incluyendo alteración de los modos de subsistencia y/o acceso a recursos naturales, estas zonas deben ser entendidas como parte del AID, ya que se verán afectadas de manera directa por las actividades vinculadas al proyecto. Por ejemplo, afectación de cultivos u otras actividades agropecuarias, afectación de la pesca durante el llenado del embalse, interrupción de rutas de ganadería trashumante o de transporte. En un análisis más amplio, se deberán determinar los impactos indirectos de dichas afectaciones y su correspondiente AII.

Dentro del AID se considera de especial relevancia el área de ocupación de pueblos originarios y comunidades, incluyendo también cementerios y/o enterratorios indígenas (para este aspecto, ver el apartado específico sobre pueblos originarios y comunidades).

Para la delimitación del AII, se analizan los impactos que impliquen una modificación de las dinámicas sociales y económicas a una escala más amplia, que puede abarcar el o los departamentos cercanos, la provincia o la región, dependiendo del caso. Por ejemplo, aquellos impactos que repercuten en los flujos comerciales y sociales, en particular los pueblos y ciudades cercanas (y/o con mejor comunicación vial con la zona de obras) que verán afectado su mercado inmobiliario, oferta y demanda mano de obra y especialmente el comercio relacionado con la provisión de insumos y servicios para el desarrollo del aprovechamiento hidroeléctrico, especialmente en el periodo de obra.

Para el AII se debe considerar la población que hace uso del recurso hídrico y que pueda verse afectada, la cual puede o no habitar en la cuenca y utilizar el agua y los servicios ecosistémicos del río para consumo humano, pecuario, riego y/o actividades recreativas.

También se deberá considerar la regulación de caudales, y luego definir su carácter: si bien la regulación de caudales suele ser presentada como un beneficio asociado al control de inundaciones, esto se determinará mediante consultas específicas a los actores sociales involucrados, donde se valore si el impacto es positivo o negativo.



⁹ Conforme Ley N° 25743 el patrimonio cultural de la nación incluye al patrimonio arqueológico y paleontológico.

¹⁰ "Medios de subsistencia se refiere a toda la variedad de medios que los individuos, las familias y las comunidades utilizan para sustentarse, como ingresos salariales, agricultura, pesca, pastoreo, otros medios de subsistencia basados en los recursos naturales, comercio pequeño y trueque" (BM, 2017.p. 105)

Componente	Criterios para la determinación del AI
Población y dinámica poblacional	<p>Población susceptible de reasentamientos. Nuevo sitio de recepción de la población relocalizada. Considerar la población residente en la cuenca hidrográfica del proyecto y aquella población que hace uso del recurso hídrico.</p> <p>Afectación de la dinámica poblacional local por llegada de trabajadores (mano de obra temporaria) vinculada a la construcción.</p>
Condiciones de vida	<p>Afectación de medios de subsistencia y/o dinámicas económicas. Alteración del acceso a recursos (por ejemplo: disminución poblacional de una especie ictícola explotada localmente, caminos de trashumancia ganadera potencialmente inundables).</p>
Servicios públicos	<p>Alteración de la oferta, demanda, disponibilidad, distribución, calidad, y tarifas de los servicios públicos (energía eléctrica, agua potable, saneamiento, recolección de residuos, gas, entre otros).</p> <p>El movimiento de tierra por uso de maquinarias, aumento del tránsito y demás acciones involucradas en la etapa de construcción, puede generar ruidos y dispersión de material particulado, afectando de manera temporal a la población local.</p>
Educación	<p>Afectación de la oferta, demanda y niveles de acceso a los servicios de educación locales públicos y privados. Demanda de capacitación técnica y profesional en relación a los perfiles laborales requeridos por el proyecto hidroeléctrico.</p>
Salud	<p>Afectación del perfil epidemiológico de la población local. Se deben analizar sinergias y conflictos potenciales, en relación al componente servicios públicos y condiciones de vida.</p> <p>Afectación de la oferta, demanda y niveles de acceso a los servicios de salud.</p> <p>Afectación en la salud sexual y reproductiva, incremento de casos de violencia de género, en particular asociados a la afluencia de trabajadores temporarios.</p>
Transporte y vías de acceso	<p>Rutas y caminos afectados dentro del área operativa del proyecto. Rutas y caminos a relocalizar. Modificación de las dinámicas y vías de acceso.</p> <p>El aumento de la circulación vehicular y uso de maquinarias puede afectar las actividades de la población: restringir o dificultar el acceso a sitios de interés social o uso comunitario, demorar tiempos de recorrido, afectar a usuarios de vehículos o transporte público.</p>
Pueblos originarios	<p>Afectación del territorio donde habitan pueblos o comunidades originarias, sus medios de subsistencia, espacios o bienes culturales o sagrados, afectación de enterratorios, acceso a recursos, entre otros.</p>
Patrimonio cultural (histórico, arqueológico, arquitectónico)	<p>Afectación del espacio geográfico o sitio donde se emplazan los elementos del patrimonio cultural.</p>

Tabla 4.5. Criterios para la determinación del AI por componente del medio socioeconómico. Fuente: elaboración propia.

8. Línea de base o diagnóstico ambiental

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EslA](#) (SAyDS, 2019a, p. 50).

Introducción y consideraciones generales

La planificación temprana de estudios permite generar información clave sobre los elementos que serán necesarios disponer en la evaluación de impactos (SAyDS, 2019a).

La información tanto del medio físico, biótico y socio-económico que se genere durante las etapas de prefactibilidad y factibilidad (donde se realiza la evaluación de alternativas, fundamentalmente en lo que respecta al diseño y ubicación del proyecto), brinda criterios para la definición del área de estudio y las especificaciones técnicas, que permiten establecer el alcance de los estudios de línea de base. Un diagnóstico enfocado en los temas sustanciales permitirá definir adecuadamente los potenciales impactos y las medidas de mitigación correspondientes, evitando generar información enciclopédica, que devenga en costos mal direccionados.

Si bien los componentes a estudiar en la línea de base se compartimentan en medio físico, biótico y socioeconómico, a modo de delimitar el alcance de los estudios a las disciplinas correspondientes, se debe tener en cuenta que, al momento de realizar el diagnóstico del área y de analizar los impactos, es necesario contar con un análisis integral de las asociaciones intrínsecas de estos componentes y de los valores que allí emergen.

Los componentes biofísicos, sociales y económicos están relacionados y estos vínculos no pueden escapar a la evaluación de los impactos del proyecto. En este sentido, emerge el concepto de enfoque de servicios ecosistémicos que reconoce las complejas relaciones entre los diferentes medios; y que permite una evaluación integrada de los usos e impactos del proyecto sobre los beneficios que brindan los ecosistemas (EPA, 2011).

La presente guía no pretende redundar sobre las consideraciones metodológicas básicas para los estudios de línea de base o diagnóstico ambiental comunes a cualquier proyecto, sino más bien focalizar en aquellos aspectos o procesos clave propios de los proyectos hidroeléctricos.

En este sentido, el capítulo presenta contenidos mínimos que se esperan en una línea de base ambiental para este tipo de proyectos, de forma a brindar herramientas para seleccionar el enfoque más adecuado de acuerdo al contexto de la obra, especialmente su medio de implantación.

Medio físico

Al igual que para otro tipo de proyectos, en la realización de EslA para proyectos hidroeléctricos, la caracterización y descripción detallada de todos los componentes que conforman el medio físico juega un rol sumamente relevante. Dentro de los múltiples componentes desarrollados en este capítulo cabe señalar la importancia de la geomorfología, geología y aquellos elementos relacionados directa e indirectamente con las aguas superficiales y subterráneas.

Clima

Las características climáticas regionales y locales constituyen una variable fundamental en la toma de decisión en relación a la instalación de un proyecto hidroeléctrico. La determinación de las variables debe efectuarse a partir de robustos análisis estadísticos. En los proyectos hidroeléctricos, las variables climáticas tienen una gran importancia, fundamentalmente por los riesgos asociados a fenómenos naturales extremos que pueden afectar el proyecto. Ejemplos de esto pueden ser, el impedimento del llenado en el tiempo previsto debido a una disminución en las precipitaciones.

El Reglamento Técnico de la OMM (OMM-Nº 49), define las normales climatológicas reglamentarias como medias de los datos climatológicos, calculadas para períodos consecutivos de 30 años (OMM, 2011). La información relativa a estadísticas climáticas de largo plazo (período 1981-2010) puede ser consultada en el sitio web del Servicio Meteorológico Nacional¹¹ o en otras fuentes de información oficial.

Asimismo, debe considerarse la cantidad suficiente de estaciones meteorológicas cercanas, los parámetros de los cuales se cuenta con datos, la frecuencia del monitoreo, la calibración de los equipos, y la metodología analítica de obtención de datos.

¹¹ <https://www.smn.gov.ar/caracterizacion-estadisticas-de-largo-plazo>

“A priori, es difícil evaluar cuán largas deben ser las series de datos debido a que el número de años necesarios para captar las características de variabilidad y cambio pueden variar según el elemento climático. En general, se considera que se necesitan por lo menos 10 años de observaciones diarias para elaborar los parámetros estadísticos de referencia pertinentes para la mayoría de los elementos y al menos 30 años para la precipitación.” (OMM, 2011).

Para la presentación de la información climática se deben identificar los diferentes dominios climáticos¹², para los que se puede considerar la clasificación climática de Koeppen (1948)¹³, que se basa fundamentalmente en las variaciones de la temperatura y la precipitación (elementos meteorológicos fácilmente disponibles), sus variaciones estacionales y sus efectos sobre la vegetación natural.

Las estaciones meteorológicas, pueden formar parte de una red única que incluya también medición de caudales y otras variables ambientales. En cuanto al diseño de estas redes y su importancia en el balance hídrico se realizan con mayor detalle en el apartado correspondiente.

En cuanto a las estaciones meteorológicas, debe tenerse en cuenta que su calibración se realice de acuerdo a estándares y puedan ser homologadas a las del SMN e integradas a los sistemas de alerta temprana vigentes.

En relación a la información cartográfica se recomienda el uso de la plataforma SIMARCC para los aspectos vinculados a riesgo climático para distintos escenarios. Considerando los objetivos del relevamiento de información, que no son estrictamente de finalidad científica, se debe justificar adecuadamente la representatividad y trazabilidad de la información utilizada para la determinación de las variables climáticas que serán el input de otros estudios ambientales.

Análisis de variables climáticas. Red de monitoreo.

El análisis de las variables climáticas (temperatura, precipitaciones, lluvias y nevadas, nubosidad, heladas, dirección e intensidad del viento, presión atmosférica), debe incluir un análisis a nivel

regional y local, considerando la continuidad del monitoreo durante todo el ciclo del proyecto mediante la configuración de una red de estaciones. La misma consiste en varias estaciones del mismo tipo que se administran como un grupo y se basan en la recopilación y análisis estadísticos tanto temporales como espaciales de series de datos.

En primera instancia, se debe evaluar la cantidad de estaciones instaladas en el entorno regional y la cuenca, así como el tipo y ubicación de estaciones de medición sobre un área de interés dado, con la finalidad de obtener un registro de datos climáticos que puedan caracterizar los fenómenos atmosféricos en una secuencia espacial y temporal.

En base a los relevamientos de información existente, se debe determinar la necesidad de instalar equipos permanentes de monitoreo de información meteorológica. En relación a las estaciones meteorológicas que se instalen para el proyecto hidroeléctrico, debe justificarse la cantidad, ubicación, características, etc.

Los criterios para evaluar la suficiencia de información deben considerar una óptima representación de los procesos atmosféricos, que abarcan desde la mesoescala a la climatología, y la diversidad climática de la cuenca de emplazamiento del proyecto.

El relevamiento y análisis de información climática debe partir de una clara definición de los objetivos del relevamiento de los datos, en los cuales debe considerarse la información relevante para el EsIA (dispersión de contaminantes atmosféricos, balance hídrico, prioridad de uso del recurso hídrico, etc.) y aquella que fue determinante a instancias anteriores del diseño del proyecto.

En este sentido, es deseable incorporar información utilizada y/o elaborada en etapas anteriores para estudios técnicos de prefactibilidad o factibilidad, como aquellos criterios que afectan directamente el caudal y el potencial eléctrico, como la pluviometría y acumulación de nieve en los casos de cuencas con regímenes nivales, entre otros.

También se deben tener en cuenta los fenómenos meteorológicos extremos, como por ejemplo el Niño-Oscilación Sur (ENOS), precipitaciones intensas, periodos de sequías y sus efectos sobre caudales en el área de estudio, considerando series históricas y tendencias¹⁴.

Mediante estos relevamientos de información, se deben poder concluir las posibles implicancias de fenómenos climáticos

¹² Los dominios climáticos son consecuencia del movimiento de las masas de aire sobre las grandes unidades morfológicas, cuyo distanciamiento, altura y posición determinan los matices regionales y locales.

¹³ Se consideran cinco Grupos Climáticos principales (primera letra) y Subgrupos (segunda y tercera letras): A) Climas tropicales lluviosos, B) Climas Secos, C) Templados lluviosos, D) Climas fríos de los bosques nevados, E) Climas Polares, H) Climas polares de altura.

¹⁴ Descarga de datos históricos - Alertas meteorológicas <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>

sobre los caudales del río, el aprovechamiento hidroeléctrico y potenciales impactos en el tiempo de llenado del embalse.

A instancias de la evaluación de impactos por variaciones en el microclima local, se debe contar con información más detallada en la zona del embalse, previendo la continuidad de la generación de datos para validación de los modelos climáticos en la etapa de construcción y operación del proyecto. El análisis de información climática debe garantizar, además, su continuidad en la implementación de un programa específico sobre monitoreo de variables hidroclimáticas en el Plan de Gestión Ambiental.

Es muy importante que se considere, entre los objetivos de los estudios de línea de base de clima de un proyecto hidroeléctrico, los aspectos sociales vinculados al uso del agua en la cuenca, como los sistemas de observación, vigilancia y alerta de eventos extremos y/o anómalos.

Cambio climático: modelos climáticos

Frente a los riesgos del proyecto en relación a la variabilidad climática, el proyecto debe ser evaluado en el contexto de escenarios y proyecciones asociados al cambio climático¹⁵. Los modelos climáticos representan una herramienta útil que permite analizar distintos escenarios de forzamiento antrópico, por ejemplo, de crecimiento poblacional y desarrollo tecnológico, y su implicancia sobre variables climáticas. Son sistemas informáticos complejos que simulan las interacciones entre atmósfera, nieve, océanos, hielo, superficie terrestre, ecosistema global y una variedad de procesos químicos y biológicos (IPCC, 2013).

Dado que cada modelo tiene fortalezas y debilidades propias, es recomendable trabajar con un conjunto de modelos, debido a que no existe uno que sea totalmente fiable y se adapte bien para todas las variables y regiones.

La Tercera Comunicación Nacional de Argentina sobre el Cambio Climático (SAyDS, 2015) contiene un análisis realizado por el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) sobre los modelos climáticos actuales, globales (MCG) y regionales (MCR). A partir de dicha validación, se desprende que existen modelos globales que representan mejor a cada región de nuestro país (ver tabla 4.6).

Calidad de aire y ruido

Conforme a la tipología del proyecto hidroeléctrico, los potenciales impactos sobre la calidad del aire no constituyen un aspecto crítico en relación a otros componentes ambientales. Los estudios de calidad de aire en la línea de base son aquellos asociados a los impactos de la construcción, circulación de maquinarias, movimientos de suelos. Deberán realizarse estudios particulares de dispersión de material particulado en caso de que el proyecto requiera el uso de explosivos.

A partir del relevamiento de información antecedente se debe planificar detalladamente el muestreo: cantidad, frecuencia, ubicación de estaciones y parámetros a considerar. Previamente, y en consonancia con lo anterior, es necesario identificar otras fuentes de emisión, ajenas al proyecto.

Región	Modelos seleccionados
Húmeda (1)	CCSM4 (NCAR, Estados Unidos), MRI/JMA (MRI, Japón), CMCC-CM (<i>Centro Euro-Mediterráneo per I Cambiamenti Climatici</i> , Italia) y Nor ESM1 - M (<i>Norwegian Climate Centre</i> , Noruega), todos MCGs.
Centro (2)	CNRM-CM5 (<i>Centre National de Recherches Metereologiques</i> , Francia), CMCC-CM (<i>Centro Euro-Mediterráneo per I Cambiamenti Climatici</i> , Italia), CSIRO-Mk3-6-0 (CSIRO, Australia) y MRI/CGM3 (MRI, Japón), todos MCGs.
Andes (3)	IPSL-CM5A-MR (<i>Institut Pierre Simon Laplace</i> , Francia) ETA-HadCM3 (<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i> , Brasil), MRI/JMA (MRI, Japón) y MPI-ESM-LR (<i>Max Plank Institute for Meteorology</i> , Alemania). Todos MCGs, a excepción de ETA-HadCM3 (MCRs).
Patagonia (4)	REMO-ECHAMS (<i>Max Plank Institute for Meteorology</i> , Alemania), MM5-Had CM3 (CIMA, Argentina), CSIRO- Mk3-6-0 (CSIRO, Australia), GFDL-ESM2G (NOAA-GFDL, Estados Unidos). Los dos primeros son MCRs y los otros dos son MCGs.

Tabla 4.6. Modelos climáticos seleccionados por región. Fuente: adaptado de SAyDS, 2015.

¹⁵ Escenarios IPCC (RCP2,6; RCP4,5; RCP6,0; RCP8,5), y otros escenarios y proyecciones regionales

Por otro lado, en cuanto a ruido y vibraciones, se deben identificar las fuentes emisoras de potenciales contaminantes acústicos de diversa índole y los receptores sensibles.

Se debe presentar la información de base necesaria para poder estudiar los efectos producidos por las tareas de construcción, especialmente aquellas que impliquen uso de explosivos, y el movimiento de maquinaria pesada, así como el funcionamiento de turbinas y el tendido eléctrico de alta tensión durante la etapa operativa.

Geología y geomorfología

La caracterización de la geología es de gran importancia en un proyecto hidroeléctrico ya que el desarrollo del mismo modifica sustancialmente las características geológicas del medio. Asimismo, la configuración geológica y, fundamentalmente, geomorfológica del área condiciona la puesta en marcha, desarrollo y posterior funcionamiento del proyecto hidroeléctrico. En particular, el llenado y manejo del embalse cambiarán las condiciones de saturación de agua normales del suelo y subsuelo del área, provocando que exista una zona que se encuentre permanentemente saturada, y por ende se modifiquen sustancialmente las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales. Por lo tanto, un adecuado diagnóstico ambiental aporta un mayor conocimiento del área, permitiendo adelantarse a posibles eventos que puedan causar daños en el medio natural y/o antrópico y signifiquen grandes costos económicos posteriormente.

La caracterización geológica a escala regional debe involucrar toda la cuenca de implantación del proyecto. A su vez, se debe realizar una descripción detallada del área de implantación de las obras y parte del embalse, la cual se debe adecuar a cada proyecto en particular (figura 4.2). El análisis en ambas escalas, debe incluir estudios sobre la estratigrafía, estructuras, geomorfología, hidrogeología, hidrología y peligrosidad presente en la zona, y se debe acompañar con material cartográfico que muestre de una manera sencilla y adecuada la información antes mencionada. Para cada uno de los análisis se deberá justificar las fuentes de información utilizada (mapas geológicos, hojas geológicas, imágenes satelitales, Modelos de Elevación Digital, análisis de

antecedentes, entre otros). En el estudio a escala de detalle (zona de implantación de obras y parte del embalse) resulta pertinente la realización de relevamientos de campo, con el objetivo de verificar la información previamente analizada en gabinete.

La descripción estratigráfica debe identificar las unidades litoestratigráficas presentes en el área de estudio, incluyendo una descripción de cada formación considerando la distribución areal, litología, paleontología, relaciones estratigráficas, edad, correlación y sus características geotécnicas,

Otro aspecto de gran importancia a incluir en la descripción geológica es la estructuración de la zona de análisis (figura 4.2). A nivel regional, se debe mencionar la configuración estructural del área, a partir de los procesos endógenos actuantes. Por otra parte, se deben identificar y describir las estructuras presentes (fallas, diaclasas, pliegues, corrimientos, etc.) en la zona de la cuenca y en el área donde se implementarán las obras y parte del embalse. Es en este último sector donde las mediciones y análisis de las estructuras geológicas debe ser exhaustivo y detallado.

El análisis de la geomorfología debe estudiar y describir los ambientes presentes en la zona de análisis e interpretar las dinámicas que presentan. A su vez, es necesario identificar y describir las unidades geomorfológicas, sus relaciones y comportamientos en el escenario actual y futuro. Posteriormente se debe analizar los posibles peligros derivados de los aspectos geomorfológicos.

El diagnóstico ambiental de los procesos morfológicos se debe realizar a escala de cuenca, donde se identifican y mapean las unidades geomorfológicas presentes y la dinámica geomorfológica actual. A efectos de facilitar el análisis, el área puede encontrarse subdividida conforme las características geomorfológicas identificadas.

La descripción de los aspectos geomorfológicos fluviales incluye los caudales líquidos (niveles hidrométricos máximos, mínimos y su amplitud), perfiles longitudinales del cauce, patrón morfológico (meandriforme, recto, etc.) y características (ancho, sinuosidad, entrelazamiento, multiplicidad de cauces, etc.) y la existencia o no de la planicie aluvional. Sobre el potencial erosivo, aparte de detallarse el estudio de los sedimentos (capacidad y

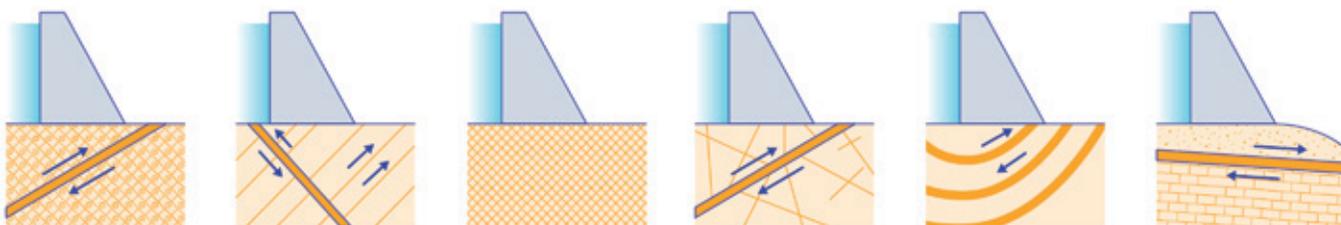


Figura 4.2. Caracterización geológica del área de implantación de la obra. Fuente: González de Vallejo, 2004.

competencia del transporte fluvial) el diagnóstico ambiental debe incorporar el análisis de otros factores modeladores del relieve (viento, glaciares, etc.).

Para este análisis pueden utilizarse técnicas indirectas como fotografías aéreas e imágenes satelitales y directas como relevamientos a campo. Si bien las fuentes secundarias de información son un insumo clave en la descripción de la geomorfología de la zona, es aconsejable fortalecer este punto con información primaria.

La identificación de la peligrosidad geológica, es decir, el producto resultante de la susceptibilidad (fragilidad natural) y la amenaza (ocurrencia o probabilidad), permite adelantarse a posibles eventos que pueden significar luego afectaciones que, a su vez, produzcan grandes costos para la obra. Los principales peligros que se deben estudiar son aquellos relacionados a los procesos endógenos como sismicidad y vulcanismo y a los procesos exógenos como de remoción en masa, entre otros. Como bibliografía de consulta se sugiere recurrir a las publicaciones cartográficas de peligrosidad geológica realizadas por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).

El análisis de la sismicidad incluye la descripción de las características tectónicas del área y el análisis de eventos pasados (identificación de fuentes sísmicas, intensidad, magnitud, réplicas producidas, entre otros). Este estudio es de gran importancia para definir la probabilidad de ocurrencia de un sismo (amenaza), ya que el mismo tiene el potencial de inducir la generación de movimientos de remoción en masa sobre pendientes potencialmente inestables, asentamientos, licuefacciones, etc. Por lo tanto, es necesario identificar los posibles procesos geológicos actuantes sobre el área de implantación de las obras para el grado de exposición.

Cuando, por la ubicación del proyecto hidroeléctrico, se releve actividad volcánica de injerencia en la zona (susceptibilidad) debe detallarse las erupciones históricas (recurrencia, magnitud, tipo) y su área afectada, en pos de evaluar y mapear aquellas áreas con peligrosidad potencial. Cabe resaltar, que generalmente la actividad volcánica está asociada a la actividad sísmica, por lo que también se debe tener en cuenta las indicaciones del párrafo anterior.

Los procesos de remoción en masa son un peligro latente en los aprovechamientos hidroeléctricos, no sólo por la relación directa que tienen con los otros procesos naturales endógenos ya mencionados (sismicidad y vulcanismo), sino porque hay una diversidad de este tipo de eventos (deslizamiento rotacional, expansión lateral, flujos de lodo y/o detritos, avalanchas, vuelcos y caída de bloques y rocas) que responden a diferentes causas (sismos, condiciones hidrológicas y de estabilidad de laderas, actividad antrópica, etc.). Se debe identificar, a escala de detalle, antiguos procesos de remoción en masa, siendo a su vez es necesario clasificarlos, describirlos y caracterizarlos. Junto con la información estratigráfica, estructural y geomorfológica, previamente analizada, se deben estudiar cada uno de los procesos y definir la probabilidad de su reactivación.

Lo vinculado a la caracterización sedimentológica se desarrolla en el apartado de hidrología superficial.

Suelos

En relación a este componente se deben detallar los suelos de la cuenca, realizando una clasificación taxonómica basada principalmente en bibliografía actualizada y antecedentes de estudios en la zona, en caso que hubiese. Las fuentes consultadas pueden ser complementadas con estudios a campo de verificación. Las unidades de suelo identificadas deben representarse cartográficamente.

Como referencia bibliográfica, se recomienda utilizar la clasificación de suelos realizada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la cual se basa principalmente en la elaborada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ("Soil Taxonomy" de la USDA).

Una adecuada descripción de los suelos en la cuenca (ubicación en el paisaje y porcentaje de ocupación, orden, suborden, limitantes, etc.) permite identificar los impactos asociados a las zonas más susceptibles desde el punto de vista edafológico (ej. potencial licuefacción de suelos, presencia de suelos kársticos, deslizamientos y hundimientos).

Hidrogeología

En este apartado se identifican las unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca y la dinámica existente con las aguas superficiales. Es decir, la relación estacional carga-descarga entre los acuíferos con el cauce a embalsar y otros afluentes de importancia, incluyendo, de existir, los humedales del área de estudio. Como mínimo, debe determinarse su ubicación, geometría, estado de confinamiento y profundidad, entre otras características de interés como, por ejemplo, el uso que se realice de ellos. Este análisis permite identificar el potencial impacto en el cuerpo subterráneo de agua y el régimen natural existente (volumétrico y temporal), particularmente importante en las etapas de desvío, llenado y operación normal de la presa.

Deben ubicarse los manantiales y pozos de extracción en el área de afectación, en caso de no contar con adecuada información antecedente, deben ser relevados a campo; siendo conveniente ubicarlos de forma georreferenciada en mapas de escala adecuada a la extensión de la cuenca. Se debe detallar su nivel, calidad de agua, caudal de extracción y rendimiento; así como también su finalidad. Esta información sirve para evaluar los potenciales impactos en la utilización consuntiva del recurso hídrico y para el posterior planteamiento de medidas de monitoreo y gestión en el PGA.

Además de ser parte de la línea de base, los estudios hidrogeológicos son esenciales para el desarrollo de la obra ingenieril como la construcción de los sistemas de impermeabilización, drenaje y consolidación de la estructura (figura 4.3)

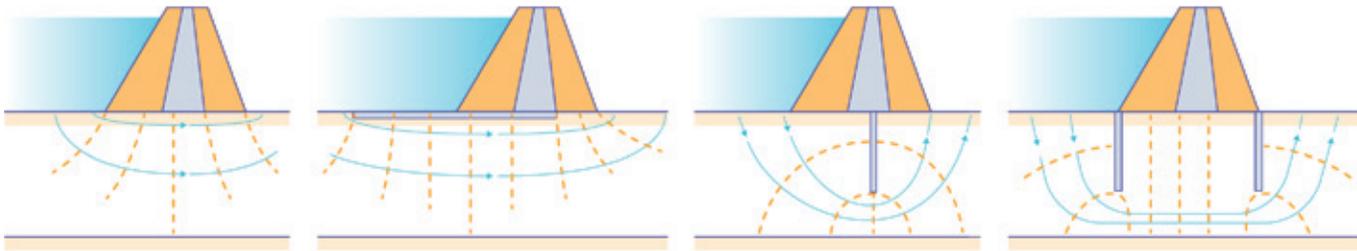


Figura 4.3. Caracterización hidrogeológica del área de implantación de la obra. Fuente: adaptada de Attewell y Farmer, 1976.

Glaciares

Se deben identificar todas las geoformas de origen glaciar o periglacial en el área de estudio, considerando aquellas pertenecientes a la cuenca de implantación de proyecto y otros que pudieran verse potencialmente afectados por el proyecto.

Se deben identificar, en primera instancia, la caracterización incluida en el Inventario Nacional de Glaciares¹⁶ y en el Atlas de Glaciares de Argentina¹⁷: cuenca hidrográfica a la que pertenece, ubicación, dimensiones de los glaciares detallando longitud, ancho, espesor, superficie y volumen, clasificación geomorfológica de los glaciares, geología específica del sitio de emplazamiento de los glaciares indicando estratigrafía, tectónica, sismología, vulcanismo, mineralogía y petrología.

Información de detalle para glaciares en el área de estudio:

- » Volumen de hielo, dinámica interna y general del cuerpo.
- » Estudios de balance de masa y/o balance energético y/o balance hidrológico (en lo posible, una combinación de ambos) de cada cuerpo.
- » Estudios de albedo, especialmente para glaciares descubiertos y manchones de nieve.
- » Análisis temporal y tendencial a través de imágenes satelitales (Landsat, Alos, Avnir, etc), fotografías aéreas, Lidar, etc.

En caso de identificarse una potencial afectación en glaciares o ambiente periglacial, deberá complementarse la información con estudios de mayor detalle, considerando la utilización de métodos geocientíficos para el estudio y caracterización de los glaciares y geoformas periglaciares, que incluyen, pero no están limitados a, métodos geológicos, geomorfológicos, geocriológicos e hidrológicos, tales como:

- » Métodos directos: perforaciones y perfiles en profundidad, calicatas superficiales y perforaciones testigo, observaciones directas de hielo) e
- » Métodos indirectos: geofísicos como GPR (Ground Penetrating Radar), sísmica de reflexión y refracción, geoelectrónica, perfiles de temperatura.

Hidrología superficial

Consideraciones generales

Es importante que la línea de base para la hidrología superficial de este tipo de proyectos considere la cuenca hidrográfica en forma integral como área inicial de estudio, sin perjuicio de las delimitaciones posteriores del área de influencia de los impactos. El enfoque de cuenca permite abordar y facilitar la descripción del cuerpo de agua superficial, facilitando la posterior evaluación de los diferentes receptores impactados por el proyecto en forma ecosistémica.

En primera instancia debe conocerse el balance hidrológico en la cuenca del proyecto (ver figura 4.4).

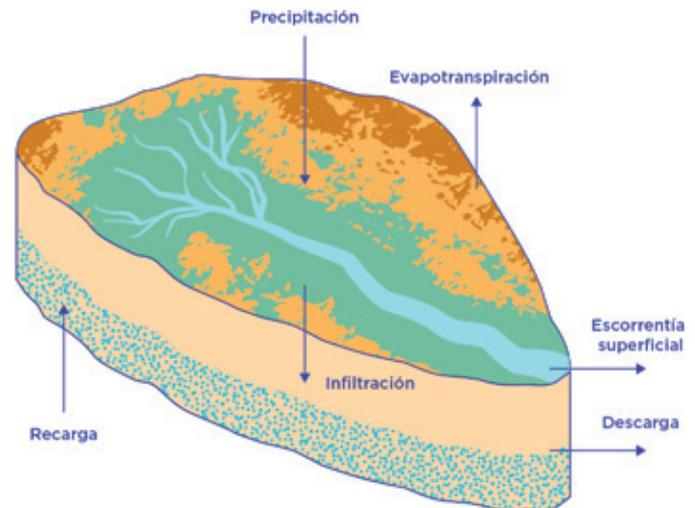


Figura 4.4. Balance hídrico de la cuenca. Fuente: adaptado de Dingman, 1994.

¹⁶ IANIGLA-Inventario Nacional de Glaciares. 2018. Resumen ejecutivo de los resultados del Inventario Nacional de Glaciares. IANIGLA-CONICET, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

¹⁷ Atlas de Glaciares de la Argentina / compilado por Leandro García Silva ... [et al.]. 1ra edición. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2019. Visitar: http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/atlas_glaciares_argentina.pdf

Para dicho balance es necesario disponer de datos sobre divisorias de aguas, frontera del sistema, superficies de la sección de cuenca según los límites de contorno establecidos para el balance, variaciones de volúmenes de agua acumulada, precipitación y aportes niveles, escorrentías, infiltración, evapotranspiración, drenaje, absorción por suelo y vegetación, transferencias fluviales en la red, cubierta impermeable, captación y vertidos, entre otros aspectos.

En cuanto a los regímenes hidrológicos naturales, estos dependen del tamaño del río y su cuenca, las variaciones geográficas del clima, la geología, la topografía y la cubierta vegetal.

Cabe aclarar que la mayoría de la información hidrológica necesaria para el análisis ambiental proviene de las series históricas de datos relevada para el desarrollo de la ingeniería del proyecto, debiendo tomar los datos relevantes para la identificación y valoración de los posibles impactos.

Los componentes críticos del régimen de caudales que regulan los procesos ecológicos de los ecosistemas fluviales son: la magnitud, la frecuencia, la duración, la estacionalidad, y tasa de cambio (Poff et al. 1997) (ver tabla 4.7). Estas variaciones, junto con otras variables vinculadas al sustrato, características limnológicas y variaciones en la morfología del cauce inciden sobre el ecosistema acuático.

Componentes críticos del régimen de caudales	
Magnitud	Cantidad de agua que se mueve a través de una sección en la unidad de tiempo. La magnitud se puede referir tanto a caudales absolutos como relativos, p.ej. la cantidad de agua que inunda la llanura de inundación o el caudal máximo o mínimo que pasa por un punto. Las magnitudes de caudal varían con el clima y el tamaño de la cuenca.
Frecuencia	Estima cuántas veces tiene lugar un caudal por encima de una magnitud dada en un intervalo de tiempo específico. La frecuencia está relacionada inversamente con la magnitud. Por ejemplo, el caudal de 100 años es igualado o superado una vez cada 100 años, esto es, hay una probabilidad de 0,01 de que ocurra en cada año.
Duración	Es el período de tiempo asociado a una condición de caudal específica. La duración se puede referir a un evento particular, p.ej. una llanura de inundación se inundará un número específico de días para la inundación de los 10 años, o se puede expresar sobre un período de tiempo específico, p.ej. el número de días al año en los que un caudal dado supera un valor dado.
Estacionalidad	Se refiere a la regularidad de dicho caudal. Esta regularidad se puede definir formal o informalmente y con referencia a distintas escalas de tiempo. Por ejemplo, los caudales punta anuales pueden ocurrir con una previsibilidad estacional baja o alta.
Tasa de cambio	Indica con qué rapidez cambia un caudal de una magnitud a otra. Los arroyos efímeros tienen tasas de cambio rápidas, mientras aquellos estables tienen tasas de cambio lentas.

Tabla 4.7. Componentes críticos del régimen de caudales. Fuente: Poff et al, 1997.

La información debe representarse en mapas topográficos que incluyan todos los recursos de agua superficial y las llanuras de inundación de la cuenca del proyecto, incluyendo todas las estaciones de monitoreo y puntos de descarga. Se debe caracterizar el patrón de drenaje y escorrentías de la cuenca, identificar los ríos, arroyos, humedales, lagos y otras masas de agua en el área de estudio.

Es importante indicar si la cuenca posee restricciones de proyectos anteriores o en curso, así como incluir otras infraestructuras en el AI (ej. azudes, canalizaciones, embalses, entre otras obras de infraestructura principalmente hidráulica). De igual modo se deben relevar los usos consuntivos del recurso, con datos cuantitativos.



Información básica que debe contener la línea de base hidrológica

- » Delimitación de las cuencas hidrográficas y el patrón de drenaje de agua en el área de influencia usando catastro/fotos aéreas/ imágenes de satélite (mapa). La escorrentía característica de las cuencas hidrográficas.
- » Identificación de todos los arroyos, ríos, humedales, lagos y embalses en la zona de influencia.
- » Designación de puntos de referencia para la toma y descarga del proyecto.
- » Área de la cuenca cubierta por la presa en kilómetros cuadrados (km²) y el área cubierta por la descarga en las mismas unidades.
- » Pendiente del cauce del río directamente afectado por el proyecto, inclusive por cruces de desvío del flujo.
- » Geometría del cauce: perfiles longitudinales y transversales de sectores del cauce.
- » Caracterización hidrográfica de la cuenca, régimen hidrológico y sedimentológico. Los forzantes clima hidrología en la cuenca.
- » Análisis de las características de la zona de captación y descarga, las características de flujo, los patrones de drenaje y las características de las escorrentías en las cuencas y subcuencas.
- » Caracterización de dinámicas específicas del corredor fluvial
- » Régimen de caudales naturales en distintos tramos de la cuenca, en términos estacionales y el de pulsos de caudales en términos de amplitud y desfase temporal que inciden en la dinámica y sustentación de hábitats naturales en corredor fluvial (pulsos de potamofase y limnofase).
- » Mínimo, promedio y máximo caudal mensual registrado en m³/s del río al punto de desvío o en la toma de casas de máquinas existentes o proyectadas, específicamente cualquier ajuste necesario por evaporación, fugas en la presa, liberaciones mínimas del flujo, u otras reducciones en el flujo disponible.
- » Fluctuaciones estacionales en el área y el volumen de los humedales, lagos y embalses.
- » Curva de duración de caudal mensual (ej., curva de caudal en exceso) indicando el período registrado y la ubicación de las estaciones de aforo donde la información fue recolectada para derivar las curvas.
- » Para cualquier proyecto propuesto o existente de reservorio o lago, el área de la superficie, el volumen, la máxima profundidad, la profundidad media, la tasa de limpieza, la longitud de costa, la composición del lecho.
- » inventarios de los usos consuntivos y no consuntivos, especialmente los que están en la llanura de inundación entre los puntos de entrada y descarga y corriente debajo de la descarga.
- » Usos existentes por tipo y volumen.
- » Capacidad.
- » Espacio máximo ocupado por el río en condiciones naturales para caudales de crecida de distintas recurrencias (ej. 5-10-20 años).

Caracterización hidromorfológica y dinámica fluvial

Los ríos son considerados sistemas de transporte de agua, sedimentos, nutrientes y seres vivos, que se ajustan y se autorregulan, con eficiencia energética, erosionando o sedimentando. Conocer su diversidad respecto a la geomorfología es importante para poder evaluar a posteriori los efectos del proyecto sobre ésta y sistemas relacionados.

La caracterización de la calidad hidromorfológica incluye la evaluación de la geomorfología y estructura física (cauce, llanura de inundación, fondo de valle, conexión con laderas, etc.), así como el régimen de caudales asociados a los ecosistemas fluviales.

Los elementos a considerar son:

- » régimen hidrológico
- » cuantificación y dinámica del caudal
- » conexión con masas de aguas subterráneas
- » continuidad fluvial
- » conectividad fluvial, que implica evaluar barreras a la conectividad preexistentes al proyecto
- » condiciones morfológicas
- » variación de la anchura y profundidad del canal
- » estructura y sustrato del cauce
- » estructura de la zona de rivera

Forma del transporte de sedimento	M %	Estable	Estabilidad del cauce Con depósito	Estabilidad del cauce Con erosión
En suspensión del 85 al 100 % Fondo: 0-15 %	30-100	F < 7 P > 2.1 S baja	El principal depósito ocurre en las márgenes que origina el estrechamiento del cauce. El depósito en el fondo es menor.	Predomina la erosión del fondo. Poca ampliación de márgenes.
En suspensión del 65 % al 85 % y en el fondo del 15 % al 35 %	8-30	7 < F < 25 1.5 < P < 2.1 S moderada	Es importante el depósito tanto en las márgenes como en el fondo.	Es importante la erosión en el fondo y la ampliación de las márgenes.
De fondo del 35 % al 70 % En suspensión: 30-65 %	< 8	F > 25 1 < P < 1.5 S alta	Depósito en el fondo y formación de islas.	La erosión del fondo es baja, pero la ampliación del cauce es muy importante.

Donde M: Porcentaje de sedimentos transportados menores a 0.074 mm (apertura de malla 200). /// F:B/d B: Ancho de la superficie libre del curso de agua d: tirante medio de la corriente /// P: Sinuosidad (relación entre la long. Thalweg y long. del valle) /// S: Pendiente longitudinal del fondo.

Tabla 4.8. Clasificación de cauces. Fuente: Schumm, 1963.

Puntos de muestreo

Se deben establecer por tramos del curso fluvial que sean representativos de la morfología del canal, los usos del suelo, la geología o la masa de agua del curso. Se deben evaluar los tramos tanto en trabajo de campo previamente analizados y definidos mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El muestreo de campo debe incluir un relevamiento a lo largo del curso fluvial, a ambos lados del cauce, ya sea por vía terrestre, o en embarcación según el curso fluvial. Agregar al muestro el material fotográfico que se considere necesario.

El caudal natural se puede obtener, como mínimo, a través de datos mensuales durante un año hidrológico, tomados a partir de las estaciones de aforo o, en caso de no poseer, a través de mediciones en una sección representativa del tramo fluvial, escogiendo de ser posible tramos rectilíneos, de ancho, velocidad y pendiente uniformes, que permitan el paso de todo el río, con mínimas turbulencias.

Algunas consideraciones para las mediciones de caudales

- » Selección de sección representativa, en lo posible de características uniformes.
- » Profundidad mínima de 0,10m
- » Ausencia de plantas acuáticas, nieve o hielo.
- » Velocidad del agua y el área de la selección, subdividida en subsecciones, de ancho máx de 20 % del total del río, preferiblemente no superior a 2 metros.
- » Medición puntual de la velocidad del agua, a aproximadamente 1/3 de la distancia entre el fondo y la superficie y la profundidad.
- » Caudal de sub-sección: $Q_j = V_i \cdot A_i$.
- » Caudal total: $Q_t = \sum EQ_i$

Red de monitoreo. Redes hidrometeorológicas

La red de monitoreo hidrometeorológico y/o ambiental tiene el objetivo de obtener un registro de datos que permitan caracterizar los fenómenos atmosféricos, e hidrológicos tanto espacial como temporalmente (ej. mediciones horarias continuas de nivel y pluviometría en una estación georeferenciada).

Una estación hidrológica, ambiental, meteorológica, o un medidor específico pueden estar incluidos en más de una red, si sus datos se utilizan para más de un objetivo, como ocurre en la mayoría de los casos. Asimismo, una red única puede consistir en varios tipos de estaciones o medidores, que contribuyen con información útil para el objetivo propuesto (ej. una red de alerta de crecidas, puede estar constituida de estaciones con pluviómetros y aforos de caudales).

La adquisición de datos puede incluir parámetros sedimentológicos, limnológicos y de calidad de agua, por ello también se habla de redes hidroambientales.

La información puede adquirirse a través de estaciones automáticas, que leen las informaciones de los sensores y las transmiten a la central de datos, vía satélite e Internet (sistema de telemetría hidrometeorológica), o bien a través de comunicación por teléfono o radios con los operadores de las estaciones. También se pueden utilizar datos de sistemas meteorológicos, como imágenes de radar de sistemas meteorológicos específicos o sistemas de cuencas equivalentes.

El diseño de la red debe ser óptimo en términos de escala del fenómeno a determinar y el uso final de los datos. Es por ello que, en primera instancia, además del objetivo, se debe plantear:

ubicación, frecuencia, duración y precisión de las observaciones. Los datos que se generan por las actividades sobre el terreno tienen poco o ningún valor si los usuarios potenciales no pueden acceder a ellos de manera rápida y segura. El sistema de información operativo debe comprender una base conceptual que asegure que la información esté disponible en forma correcta, en el lugar y momento adecuados.

En teoría, un diseño de red debe estar basado en una optimización del costo-beneficio de los datos que serán recogidos. Muchas veces al tomar decisión sobre los datos a obtener no se consideran los beneficios económicos de contar con datos hidrometeorológicos y ambientales en tiempo y forma, y las decisiones se terminan basando en los datos disponibles. No obstante, se recomienda ampliar progresivamente la red, tratando de seguir la lógica del ciclo hidrológico, en cuanto a su continuidad e interconexiones, para optimizar la transferencia de información (por ejemplo, registros de precipitación en una cuenca de drenaje o en sus proximidades pueden permitir la reconstrucción de registros de flujo fluvial en algún período donde los aforos de caudales no registraron correctamente, si la precipitación-escorrentía fue previamente bien calibrada).

Como orientación general al diseño, la OMM recomienda como criterio mínimo la densidad de red (ver tabla 4.9), con estaciones estimadas para diferentes zonas climáticas y geográficas. Un primer criterio de selección de ubicación es la variación estacional y espacial de las precipitaciones. La densidad de población puede ser un criterio a considerar según el objeto de la evaluación, y la facilidad de operación de las estaciones. Para zonas poco habitadas, generalmente con climas y condiciones extremas, se recomienda el uso de equipamiento que requiera poco mantenimiento y asistencia al lugar. Para decidir la densidad mínima de estaciones se suelen tipificar 6 ó 7 regiones fisiográficas (zonas costeras, zonas montañosas, llanuras interiores, zonas escarpadas/ondulantes, islas de menos de 500 km², zonas polares y áridas, y a veces zonas urbanas).

Representaciones gráficas: hidrogramas

Es importante incluir representaciones gráficas como **hidrogramas** en escalas que sean de utilidad al correspondiente estudio. Asimismo, se considera relevante contar con hidrogramas de crecida, que pueden calcularse a partir de modelos específicos de mayor o menor complejidad en función de los datos disponibles y de la incertidumbre que exista sobre el comportamiento de la cuenca (ej. HEC-HMS que permite calcular el caudal en una cuenca, con una serie de datos hidrometeorológicos).

Para calcular la escorrentía que se va a generar si se produce una precipitación determinada, es necesario contar con datos de hidrogramas vinculados a hietogramas. A partir de los cálculos generados por precipitaciones reales o mediante una tormenta de

diseño, se puede calcular un hidrograma de diseño¹⁶. Una represa puede diseñarse sobre caudales teóricos que se producen por precipitaciones teóricas, con determinada recurrencia y duración (ej. una vez cada 100 años ó en un período más prolongado). Hoy en día se utiliza también el criterio de la precipitación más probable.

Asimismo, con la geometría del cauce en una zona concreta, se puede calcular la altura que alcanzará el agua, y, por tanto, las áreas que quedarán inundadas cuando el hidrograma calculado en los pasos anteriores pase por allí. Se pueden realizar cálculos aproximados de la sección inundable, pero para un cálculo fiable es necesario utilizar un programa ej. HEC-RAS o aproximación con ecuación de Manning. Si bien estos análisis predictivos son parte de la evaluación de impactos, los parámetros necesarios para la aplicación del modelo se deben presentar en la línea de base.

Para caracterizar el **régimen hidrosedimentológico** se debe contar con suficiente información de base que permitan establecer un modelo conceptual de los factores que inciden en el transporte natural de sedimentos.

Se entiende por sedimento a todas las partículas que son desprendidas, arrastradas y transportadas por la energía de una corriente de agua. El sedimento, según su comportamiento al ser transportado por el flujo, se puede diferenciar en dos grupos: de fondo y de lavado o suspensión. En un tramo de río bajo estudio, el primer grupo se asocia al material que forma el fondo y orillas del cauce, principalmente constituido por arenas y gravas; el segundo es el resto de material formado por partículas muy finas (limos y arcillas) que el flujo transporta en suspensión; comúnmente distinguidos los dos grupos por el diámetro límite 0.062 mm (Aguilar M. et al, 2018).

La caracterización requiere entonces, de varios tipos de estudios:

- » Hidromorfológicos fluviales
- » Estabilidad de tramos de márgenes susceptibles de erosión
- » Sedimentación
- » Procesos de erosión ribereños presentes y pasados
- » Estudios topobatimétricos del curso fluvial

A estos se deben agregar los estudios de los perfiles granulométricos de los procesos fluviales y del fondo del cauce, su composición físico-química en términos de sólidos totales, fracción sedimentable, en suspensión, sólidos coloidales y sólidos disueltos, nutrientes, composición orgánica, y otros parámetros limnológicos que se señalan en el apartado correspondiente. Es importante que se estimen las correspondientes tasas de sedimentación/aporte, en sectores sensibles de la cuenca, cuyos impactos serán determinantes en los hábitats y biota asociada.

¹⁶ Tormenta de diseño: Es una tormenta característica de un patrón de precipitación basado en información histórica de un sitio, o estimada utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes.

Unidad fisiográfica	Densidad mínima estaciones pluviométricas (superficie en km ² por estación)		Densidad mínima de estaciones de evaporación	Densidad mínima de estaciones hidrométricas	Densidad mínimas para estaciones de sedimentos
	Sin registro (lectura diaria)	Con registro (intensidad, distribución y duración de precipitaciones ó totalizadores con lectura mensual o estacional)	Superficie en km ² por estación	Estaciones de flujo fluvial Superficie km ² por estación	Superficie km ² por estación
Zonas costeras	900	9000	50000	2750	18300
Zonas montañosas	250	2500	50000	1000	6 700
Llanuras interiores	575	5750	50000	1875	12 500
Zonas escarpadas/ondulantes	575	5750	50000	1875	12 500
Pequeñas islas	25	250	50000	300	2 000
Zonas urbanas		10 a 20			
Zonas polares y áridas	10000	100 000	100000	20000	200000
	Se recomienda ubicar los pluviómetros en relación con las estaciones de aforos de caudal para garantizar que la información se complemente en los análisis hidrológicos (en general cerca de la estación de aforo y aguas arriba)		El número y la distribución de estaciones de evaporación están determinados en base al área y a la configuración de los lagos y de la región o regiones climáticas en que se encuentran.	Ubicadas a lo largo de las ramificaciones principales de las grandes corrientes, según condiciones topográficas y climáticas. Si la diferencia en el flujo entre dos puntos en el mismo río no es mayor que el límite de error de medición en la estación, entonces no se justifica una estación adicional. Las estaciones básicas deberían estar localizadas en corrientes de agua con regímenes naturales	Los datos de transporte de sedimento pueden complementarse con mediciones de sedimentos acumulados en lagos o embalses. Para ello son útiles los dispositivos de ecosonda.

Tabla 4.9. Densidades mínimas para estaciones pluviométricas, de evaporación, hidrométricas y de sedimentos. Fuente: OMM, 1994.

La modelación hidrológica es necesaria para comprender la hidrología de las cuencas que involucra una compleja interacción de procesos fisicoquímicos (ver figura 4.5). Los modelos permiten simular la hidrología del río y su morfología (cargas de sedimentos y cambios morfológicos) en tiempo y espacio; así como estimar los niveles extremos de agua y propagación de flujos.

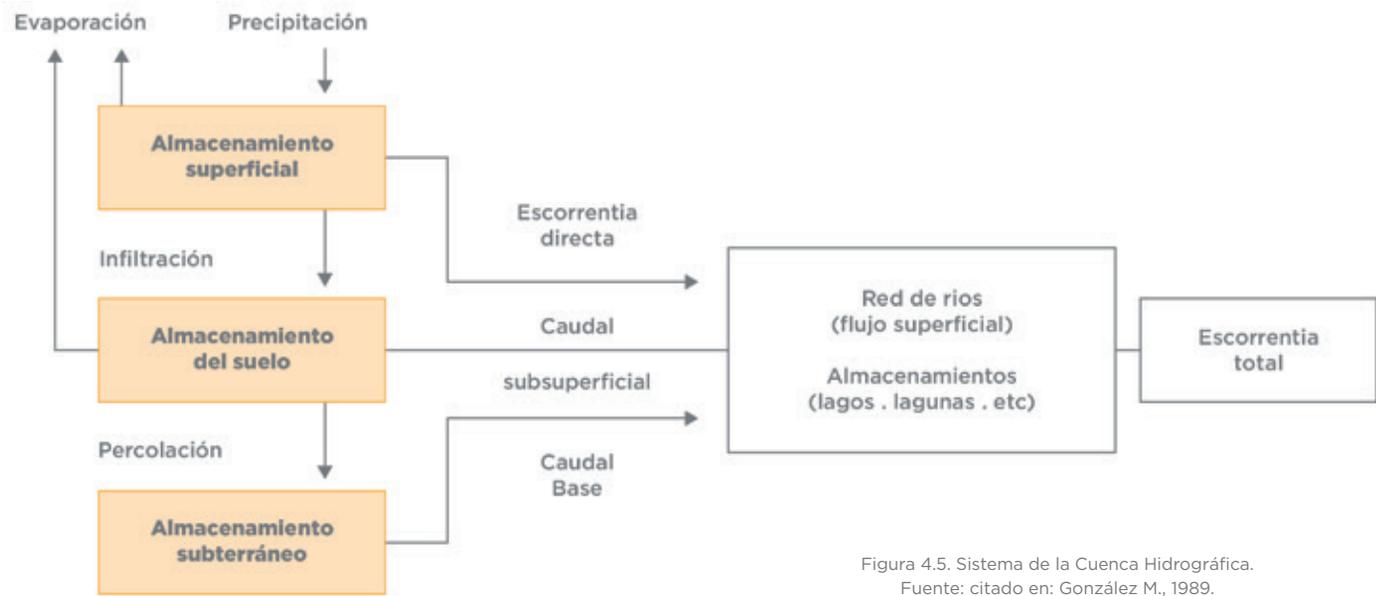


Figura 4.5. Sistema de la Cuenca Hidrográfica.
Fuente: citado en: González M., 1989.

Para las simulaciones, se requiere la recopilación de datos sobre caudales, niveles de agua, carga de sedimentos, las secciones transversales, la composición del lecho y el patrón de vegetación.

Una vez recopilada la información y seleccionado el modelo que en la hipótesis conceptual representaría la interacción de fuerzas que caracterizan el equilibrio dinámico del sistema, es necesario calibrar dicho modelo a través de las series temporales de datos monitoreados; y validar su utilidad en el sistema bajo análisis. Sobre la base de las simulaciones de línea de base que permiten una mayor comprensión del sistema fluvial, se evalúan los impactos sobre los cambios morfológicos en el curso fluvial.

Independientemente del modelo que se decida utilizar, la elección debe ser justificada en el EsIA, en cuanto a su utilidad para representar la realidad, la disponibilidad de datos de entrada en tiempo y forma, la posibilidad de calibración y validación; así como otros aspectos vinculados a la disponibilidad tecnológica, costo, efectividad y facilidad de comprensión y aplicación. La calibración del modelo consiste en la mejora selectiva de los parámetros iniciales del modelo de manera que este aproxime con mayor verosimilitud (sea más realista) los resultados estimados de la simulación. La validación comprende la comprobación, una vez calibrado y por medio de simulaciones, de que el modelo funciona correctamente y conforme a los fines para los que ha sido desarrollado y

seleccionado. Los modelos hidrológicos que se utilizan pueden ser estocásticos o determinísticos (según consideren o no la aleatoriedad de los fenómenos bajo análisis). Según el enfoque matemático, y planteo de los procesos hidrológicos analizados, pueden ser de base física (basados en leyes de la física), de base empírica (basados en series de datos relevados) o conceptuales (en base a leyes físicas y datos empíricos en forma conjunta).

Hay muchos modelos informáticos denominados de "llave libre" (de dominio público), desarrollados por la academia, organismos gubernamentales y no gubernamentales, que son muy utilizados en el campo de la hidrología. A continuación, se describen brevemente algunos de los modelos de dominio público más utilizados.

Todos los modelos necesitan de la incorporación de la situación inicial de la cuenca, sobre todo cuando se modela un evento. Sin embargo, en caso de cuencas de drenaje en las que se dispone de escasas mediciones reales y, a veces, de pocas capacidades para obtenerlas, puede ser conveniente recurrir a modelos que evolucionan en el tiempo con el agregado de nuevos componentes como dinámica de flujos en suelos y circulación del agua en capas profundas, entre otros aspectos. Ese es el caso de modelos como el HEC-HMS, el cual ha ido evolucionando a partir de modelos más simples.



Otro modelo muy empleado es el HEC-RAS. Es un modelo unidimensional, que permite realizar análisis de flujo permanente, flujos impermanentes, con posibilidad de introducir versiones cuasi-dimensionales, cálculos de flujo en una y dos dimensiones, transporte de sedimentos, y modelaciones de temperatura y calidad de agua. Es muy utilizado en ingeniería hidráulica, con amplia aceptación por parte de la administración pública. Se basa en esquemas numéricos relativamente simples pero eficaces (ecuación de la conservación de la energía, ecuación de Manning, ecuación de la cantidad de movimiento), que pueden considerar cambios de régimen, cauces con geometrías complejas y con llanuras de inundación y singularidades tales como azudes, puentes, pasos bajo vía, etc. Posee cómodas interfaces gráficas para representar la geometría y ver los resultados, comparar con distintas hipótesis de funcionamiento; y para preparar los informes correspondientes. Así, cuando el movimiento que se desea simular tiene componentes relevantes en más de una dimensión, los resultados del modelo serán muy simplificados o erróneos.

La necesidad de estudiar fenómenos naturales más complejos, como pueden ser la inundación de una gran llanura, la confluencia de dos cauces, el cruce de dos corrientes de agua o el flujo en un cauce ancho e irregular, donde la hipótesis de unidimensionalidad se aleja demasiado de la realidad, conduce a la utilización de esquemas bidimensionales. Los esquemas cuasi-dimensionales, donde se

aplicaban ecuaciones unidimensionales y una serie de celdas de almacenaje, fueron los primeros intentos de modelar la inundación de una zona llana a partir de desbordamientos de cauces principales. Los modelos MIKE 11 (dominio privado), HEC-RAS y GISPLANA (de CEDEX) incorporan esta aproximación cuasi-dimensional.

Existen también otros modelos que permiten simular recargas de aguas subterráneas y plumas contaminantes como el MODFLOW desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Esta modelación numérica simula el flujo de agua subterránea en dos o tres dimensiones; los principales procesos físicos relacionados con el régimen de agua subterránea como recarga, evapotranspiración, bombeo, drenaje, etc. El MODFLOW puede acoplar un modelo de transporte de masa, tal es el caso del paquete MT3DMS. El código MT3DMS simula la advección, dispersión/difusión y las reacciones químicas de adsorción/absorción de los contaminantes en agua subterránea. En el modelo GSFLOW, se acopla la modelación de aguas superficiales y la de subterráneas.

En la tabla 4.10 se presentan algunos modelos de llave libre y su utilidad.

Denominación	Características	Objetivo	Datos necesarios	Ejemplos de visualización de resultados
<p>HEC-HMS Sistema de Modelación Hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica de USA</p>	<p>Es un modelo conceptual (de base física y empírica), con representación espacial por medio de la división de la cuenca en unidades menores de subcuencas.</p> <p>La licencia del modelo es de dominio público (de libre acceso), por lo que su descarga, así como una cantidad considerable de información, incluyendo los manuales de usuario de las distintas versiones, se puede realizar directamente desde su página web.</p>	<p>Simular procesos de precipitación: escorrentía en cuencas dendríticas, tanto en condiciones naturales como intervenidas.</p>	<p>Red de cursos en la cuenca y dimensiones.</p> <p>Modelo topográfico para delimitar la cuenca y subcuencas</p> <p>Cobertura del suelo, humedad del suelo, entre otras propiedades del suelo parametrizables.</p> <p>Datos climatológicos, series temporales (ej. precipitación, evapotranspiración, otros).</p> <p>Escala de tiempo de la simulación</p>	<p>Hidrogramas Pérdidas por infiltración. Transformación de exceso de precipitación en escurrimiento Ruteo de la onda de movimiento de la crecida.</p> <p>Propagación de la corriente. Flujos volumétricos https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/default.aspx</p>
<p>HEC-GeoHMS Extensión geoespacial del Modelo de Modelación Hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica de USA</p>	<p>Es una extensión geoespacial del anterior</p> <p>Dominio público. Se accede desde su página web.</p>	<p>Extraer información topográfica, topológica e hidrológica desde un modelo digital de elevaciones (MDE), para luego introducirla en HEC-HMS como ayuda en la elaboración del modelo de cuenca</p>	<p>Modelo Digital de Elevación (MDE o DEM en inglés) Resto de variables señaladas arriba</p>	<p>Modelo hidrológico de drenaje de la cuenca visualizado</p> <p>https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/</p>
<p>HEC-RAS Modelo de Sistema de Análisis de Ríos del Centro de Ingeniería Hidrológica de USA Versión HEC_RAS 5.0 . Se puede adaptar incorporando topograma y batimetría del cauce. Se puede generar generando en DEM en ArcGIS o AutoCAD para introducir la geometría del cauce</p>	<p>Este modelo numérico. Se interacciona a través de una interfase gráfica-</p> <p>Admite trabajar en flujo estacionario unidimensional, en flujo no estacionario uni y bidimensional. Dominio público. Se accede desde la página web del organismo desarrollador.</p>	<p>Modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.</p> <p>Simulación numérica de transporte de flujo, sedimentos, simulaciones de temperatura y calidad de agua.</p> <p>Simulación del régimen de flujo estacionario y no estacionarios en uno/dos dimensiones a través de una red completa de canales abiertos y llanuras aluviales. Se puede usar para calcular regímenes de flujo con distinta criticidad, saltos hidráulicos, puentes, desvíos, estaciones de bombeo, entre otras infraestructuras hidráulicas.</p> <p>En particular está diseñado para simular tendencias a largo plazo de erosión y deposición de sedimentos.</p> <p>Con datos de DEM se pueden hacer simulaciones dinámicas de inundación y realizar mapas de inundabilidad.</p>	<p>Datos del proyecto Estructuras hidráulicas Datos de flujo estacionario o no estacionario según el caso Datos de sedimentos Perfil de granulometría Datos de calidad Dimensiones Modelo de elevación digital para simular la hidrología del cauce. Hidrogramas ordinarios y/o de eventos extremos (del HEC HMS o de un programa similar) Topografía y batimetría Vegetación y rugosidad del cauce y zonas adyacentes inundables Geometría y ubicación de estructuras como puentes, alcantarillas y otras transversales a la dirección del flujo. Condiciones de borde (pendiente, caudal y/o tirante de salida e ingreso del modelo)</p>	<p>Presentación de parámetros de ingreso y salida, infogramas. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx</p>

Denominación	Características	Objetivo	Datos necesarios	Ejemplos de visualización de resultados
<p>iRIC Software</p> <p>Desarrollado por International River Interface Cooperative</p>	<p>Unidimensional, bidimensional y tridimensional. (multidimensional)</p> <p>Ensambla distintos modelos en Solver de Excel.</p> <p>Se puede acceder libremente desde la web.</p> <p>Se ofrecen seminarios de capacitación.</p>	<p>Simulación numérica de flujo y morfología de ríos.</p> <p>Permite realizar predicción de inundaciones , escorrentías, propagación de tsunamis, flujo de sedimentos, predicciones de hábitat (a través del Solver DHABSIM (Diversity based Habitat Simulation, entre otras adaptaciones.</p>	<p>Datos hidrometeorológicos</p> <p>Datos hidráulicos,</p> <p>Datos geográficos,</p> <p>Modelo Digital de Elevación</p> <p>Datos de calidad de agua</p> <p>Datos limnológicos.</p>	<p>https://i-ric.org/en/about/</p>
<p>GSFLOW</p> <p>Desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)</p>	<p>Modelo conceptual unidimensional, bidimensional y multidimensional. Basado en dos códigos numéricos, uno para aguas subterráneas y otro para agua superficial (modelos hidrológicos integrados)</p> <p>Usa celdas diferenciales discretas, a escala de paso diario transitorio, estable y en períodos de estrés.</p> <p>Es de dominio público.</p>	<p>Permite acoplar la simulación de aguas subterráneas a aguas superficiales. Integra precipitación-escorrentía en una o más cuencas.</p> <p>Se puede usar para evaluar los efectos de cambio de uso de suelo, variabilidad climática, y abstracciones de agua subterránea sobre el flujo superficial y subsuperficial en cuencas que van desde dimensiones de pocos km2 a miles de kilómetros y por períodos de tiempo que van desde meses a décadas.</p>	<p>Datos de agua superficial y topografía</p> <p>Usos del suelo</p> <p>Cobertura vegetal</p> <p>Flujos de agua sobre superficie</p> <p>Datos meteorológicos</p> <p>Series climatológicas temporales</p> <p>Zonas subsuperficiales saturadas y no saturadas</p>	<p>https://www.usgs.gov/software/coupled-ground-water-and-surface-water-flow-model-gsflow</p>
<p>SPARROW (Spatially Referenced Regressions On Watershed attributes).</p> <p>Desarrollado por USGS y muy popular en USA para gestión predictiva.</p>	<p>Es una técnica de modelación predictiva de plataforma estadística y capas de datos georreferenciados.</p> <p>Es de dominio público.</p> <p>Es un modelo dinámico que admite diferentes escalas temporales de almacenamiento de contaminantes.</p> <p>El corazón del modelo es la aplicación de una ecuación de regresión no lineal que describe transporte no conservativo (volumen y forma cambiantes) de contaminantes de fuentes puntuales y difusas, en ríos y suelo, a través de la red fluvial.</p> <p>Admite métodos estadísticos bayesianos para refinar la calibración.</p>	<p>Es una técnica de modelación que permite relacionar calidad con las características de las cuencas. Permite Simular la cantidad de un contaminante transportado entre y desde cuencas internas a mayores cuerpos de agua superficial vinculando datos de monitoreo con información sobre las características de la cuenca y las fuentes contaminantes.</p> <p>Permite relacionar estos transportes y los procesos naturales y actividades humanas usando mapas interactivos, y observar las tendencias a largo plazo.</p> <p>Es predictivo, permite observar efectos de cargas contaminantes y nutrientes y establecer medidas de gestión.</p> <p>Permite observaciones estacionales.</p>	<p>Se necesitan datos estadísticos, y georreferenciados de cargas contaminantes. (nutrientes, sólidos disueltos y sedimentables, agroquímicos y otros).</p> <p>Deposición atmosférica</p> <p>Datos climatológicos</p> <p>Datos geológicos</p> <p>Usos del suelo</p> <p>Datos hidrológicos a nivel de cuencas.</p> <p>Población servida</p> <p>Usos consuntivos.</p>	<p>Ej. mapeo de ingreso de nutrientes</p> <p>https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/sparrow-modeling-estimating-nutrient-sediment-and-dissolved?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects</p>

Tabla 4.10. Modelos hidrológicos. Fuente: Elaboración propia.

Calidad del agua superficial. Limnología.

La línea de base de las aguas superficiales de los tramos del cauce fluvial bajo influencia del proyecto, debe considerar el estado ecológico del mismo, y las presiones antrópicas y naturales existentes, como requisito necesario para poder predecir los potenciales que el proyecto tendrá sobre dicho sistema.

Los procesos internos del ecosistema contribuyen al equilibrio dinámico del mismo. La estructura del sistema acuático es la que da sostén a la cadena trófica, que comprende: el ingreso de nutrientes (fósforo, nitrógeno, silicatos, dióxido de carbono) y energía (radiación solar); los productores primarios (micrófitas y macrófitas) que producen biomasa y oxígeno por medio de fotosíntesis y consumo de nutrientes y luz solar; los consumidores primarios del segundo nivel trófico (ej. zooplancton) que consumen la biomasa generada por los productores primarios; los niveles tróficos superiores; y los detritívoros que reinician el ciclo consumiendo los nutrientes aportados por el detritus.

La composición de estas poblaciones depende estrechamente de las características del cauce, tales como velocidad de la corriente y profundidad, la temperatura, oxigenación y la composición química del agua; la naturaleza de fondo, las características hidromorfológicas, la vegetación ribereña, las condiciones atmosféricas, entre otras. En contraposición, la composición química del agua se ve constantemente modificada por las especies presentes en el ecosistema, especialmente el contenido mineral y de oxígeno disuelto. Por esta estrecha interdependencia entre las especies y su medio, los múltiples intercambios de energía y materia constituyen un balance delicado que debe ser diagnosticado en la descripción de línea de base.

En este sentido, el diagnóstico requiere conocer el estado de situación de determinados parámetros:

- » hidromorfológicos (analizados en el apartado de hidrología superficial)
- » químicos, fisicoquímicos (analizados en el apartado de hidrología superficial)
- » biológicos (la biota limnológica se aborda en este capítulo, los otros componentes se desarrollan en la línea de base del medio biótico).

Planificación de los estudios a realizar

La realización del diagnóstico requiere de un abordaje sistemático y ordenado, que permita a la posterior evaluación de impactos y definición de las medidas de gestión. La planificación de cualquier monitoreo debe registrar el uso del suelo, e inventariar posibles fuentes de contaminación o impactos preexistentes a la instalación del proyecto (ej. obras de infraestructura en el curso, fuentes de contaminación puntual o difusa, entre otros).

Planificación de los estudios de línea de base que permiten el diagnóstico de calidad de agua:

- » establecer objetivos claros en función de lo que se requiere diagnosticar, para la realización posterior de la determinación de impactos y su gestión;
- » considerar el uso asignado al recurso por la autoridad competente, y, en ausencia de tal determinación, asumir la protección de la vida acuática por defecto;
- » inventariar los usos consuntivos y puntos de vertidos de efluentes, según corresponda. Estimar el volumen de dichos usos y vertido;
- » inventariar las actividades en la cuenca y sus alcances en términos de influencia territorial;
- » recopilar antecedentes de programas de monitoreo realizados o en curso.

Características y componentes limnológicas basales:

- » caracterizar la estructura y dinámica de las comunidades bentónicas (fitobentos y zoobentos) y planctónicas (fitoplancton y zooplancton); trama trófica, productividad biológica;
- » identificar especial algales invasoras (presencia, densidad superficial, porcentaje de cobertura).

Parámetros fisicoquímicos de medición in situ:

- » profundidad del curso en el punto de monitoreo
- » transparencia con disco de Secchi
- » temperatura del agua
- » conductividad
- » pH
- » oxígeno disuelto

Parámetros hidroquímicos y microbiológicos:

Sólidos Totales Suspendidos Dureza (SM 2340-B)	Metales Disueltos	D.B.O.5 (*)
Calcio	Cloruros por Potenciometría	D.Q.O.
Magnesio	Fosfatos	Clorofila a
Sodio	Fósforo Total (Colorímetros de Ácido ascórbico)	Escherichia Coli
Potasio	Nitratos	Streptococcus fecales
Turbidez	Amoniaco	Bacterias Coliformes Fecales
Bicarbonatos	Nitritos	Bacterias Coliformes Totales
pH	Sulfatos	Pseudomonas aeruginosa
Conductividad Específica	Hidrocarburos Totales en Agua	
Potencial Redox	BTEX	

Para la evaluación de calidad de agua, se deben tener en cuenta los valores estándares para vida acuática, agua para consumo humano y otros usos que hayan sido establecidos por la autoridad competente de la jurisdicción y los valores del Código Alimentario. En caso de ausencia de estándares para todos o algunos de los parámetros según los usos, se utilizarán niveles guía de referencias: Niveles Guía del Decreto 831/93, Niveles Guía de Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina, Niveles de Guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS), otros de normativa comparada (Concilio Canadiense de Ministros Ambientales (CCME) de Canadá y Normas estadounidenses-EPA).

Caracterización del estado trófico basal del cuerpo de agua. Causas de eutrofización.

Las acciones para prevenir y controlar los fenómenos de eutrofización en los embalses deben comenzar a considerarse en la propia concepción del proyecto de construcción de la presa que formará el embalse. La primera cuestión a estudiar es la "vocación trófica" que tendrá el futuro embalse (Palau Ibars, 2003). Para ello es necesario contar con una línea de base sólida que dé cuenta de las características del estado basal trófico del recurso relevando los indicadores y parámetros de las variables que inciden en el proceso de eutrofización. En la figura 4.6, se señalan los factores claves del proceso.

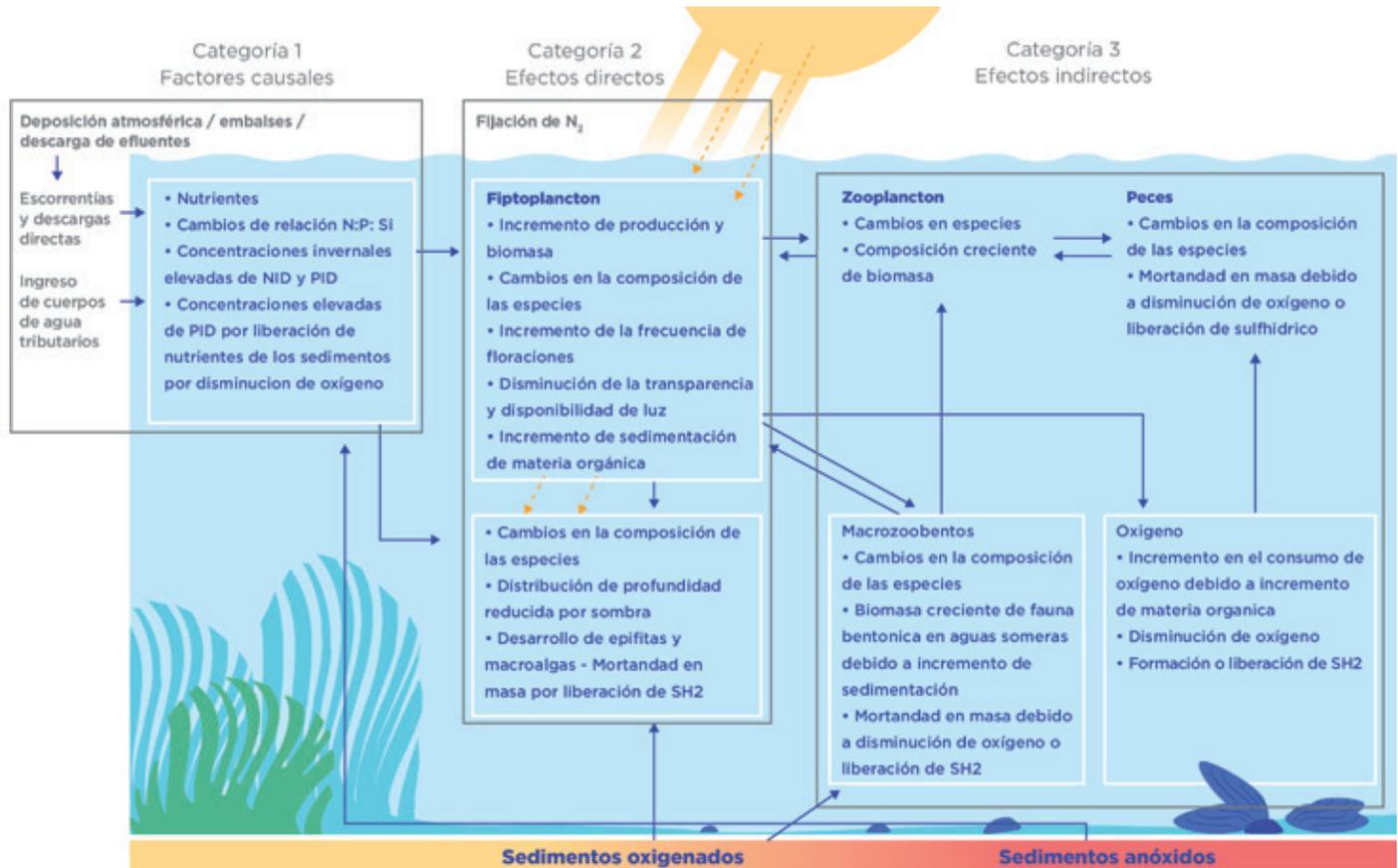


Figura 4.6. Procesos de eutrofización. Fuente: adaptado de HELCOM, 2006.

La eutrofia no se manifiesta por igual en cualquier ecosistema acuático, siendo los más afectados los de tipo léntico. No obstante, tanto en lénticos como lóticos, un mismo aporte de nutrientes puede tener efectos muy distintos según algunas características del ecosistema acuático receptor.

A partir de alternativas de localización geográfica del lugar donde se proyecta el embalse y de su diseño, se puede relevar el origen y la carga de nutrientes y/o de materia orgánica que recibirá el embalse, la dureza del agua y su contenido habitual en oxígeno disuelto o bien el tiempo medio de residencia del agua embalsada y su circulación por el vaso de embalse. También se podrá determinar el tipo de ciclo térmico anual del embalse y su estabilidad térmica,

relacionándolo con la disponibilidad y el comportamiento de nutrientes. De esta forma, se puede evaluar el potencial de eutrofización y consecuentemente establecer medidas preventivas. Para ello, interesa, además de la profundidad de la toma (o tomas) de agua desde el embalse, conocer las características de la incorporación de esas aguas al río y fundamentalmente el estatus basal del cuerpo receptor.

Se han desarrollado diversos criterios para categorizar niveles de trofismo que pueden tomarse de referencia en caso de ser necesario. En la figura 4.7 se presenta una lista de chequeo propuesta por la Unión Europea para poder evaluar las condiciones limnológicas basales de un río, y las posibles fuentes de introducción de nutrientes.

Lista de chequeo para la evaluación de las condiciones limnológicas basales de un río y posibles fuentes de introducción de nutrientes

Para evaluar las condiciones limnológicas basales considerar

- » Grado de enriquecimiento de nutrientes, en relación con: nitrógeno inorgánico/orgánico; fósforo inorgánico/orgánico.
- » Fuentes (diferenciando entre antropogénica y fuentes naturales).
- » Tendencias de incremento en la concentración.
- » Concentraciones de cambio elevadas en las relaciones N/P.
- » Flujos y ciclos de nutrientes existentes (incluida la carga interna de nutrientes, ingresos directos y atmosféricos).
- » Cambios en hidromorfología.
- » Factores ambientales:
 - Disponibilidad de luz (irradiación, carga en suspensión, turbidez, sombra).
 - Hidromorfología (ej. profundidad de agua, velocidad, frecuencia de inundaciones, tipo de sustrato y movilidad, estratificación, sedimentación).
 - Condiciones climáticas (régimen pluvial, temperaturas).
 - Estatus químico (uso de pesticidas, ej. eliminación de algas por biocidas).

Efectos directos de enriquecimiento de nutrientes/eutrofización

- i. Fitoplancton
 - » Incremento de biomasa (ej. Clorofila a, carbono orgánico y volumen o número celular).
 - » Aumento de la frecuencia y duración de las floraciones.
 - » Aumento en la producción primaria anual.
 - » Modificación en la composición de las especies (ej. de diatomeas a algas verdes o cianobacterias, que pueden ser especies invasoras, oportunistas, tóxicas, etc.).
- ii. Macrófitas
 - » Incremento de biomasa.
 - » Modificaciones en la composición de las especies.
 - » Distribución de la reducción de profundidad.
- iii. Fitobentos
 - » Incremento de biomasa.
 - » Incremento de cobertura superficial sobre el sustrato.
 - » Cambios en la composición de las especies (ej. de diatomeas a algas verdes o cianobacterias).

Efectos indirectos de enriquecimiento de nutrientes/eutrofización

- i. Carbono orgánico/materia orgánica
 - » Incremento de concentración de materia orgánica particulada/disuelta.
 - » Ocurrencia de espuma y/o fango.
 - » Incremento de la concentración de carbono orgánico en sedimentos (debido al incremento de la tasa de sedimentación).
- ii. Oxígeno
 - » Decrecimiento de concentración y en el porcentaje de saturación.
 - » Frecuencia incrementada de concentraciones bajas de oxígeno.
 - » Más variación diurna extrema.
 - » Ocurrencia de zonas anóxicas en la superficie del sedimento ("manchas negras").
- iii. Peces
 - » Mortandad consecuente de concentraciones bajas de oxígeno.
 - » Cambios en la composición de las especies.
 - » Cambios en abundancia.
 - » Disrupción de movimiento o migración.
- iv. Comunidad de invertebrados bentónicos
 - » Cambios en la abundancia.
 - » Cambios en la composición de las especies.
 - » Cambios en la biomasa.
- v. Incremento de crecimiento y biomasa de organismos bentónicos heterótrofos, tales como hongos y bacterias.
- vi. Otros posibles efectos de enriquecimiento de nutrientes
 - » Toxinas de algas (aún bajo investigación, incrementos recientes de eventos tóxicos pueden vincularse a fenómenos de eutrofización).
 - » Servicios valiosos comprometidos ej. bloqueo de desagües y filtros, acumulación de depósitos de hierro debido a bajo OD, valor recreativo del río.

Figura 4.7. Lista de chequeo de evaluación holística para ríos. Fuente: Adaptado de European Commission (2009).

Consideraciones específicas para el monitoreo limnológico

Se deben realizar monitoreos, que se utilizan como base también para los programas de seguimiento de los impactos sobre la calidad limnológica del recurso, a lo largo de la vida del proyecto. La planificación del monitoreo deberá considerar:

- » Elección de especialistas y laboratorios (muestreadores, técnicas analíticas, certificaciones, calibraciones, aseguramiento de la calidad -QA y QC-, entre otros).
- » Tipo de muestreo (puntos estadísticamente representativos, frecuencia, estaciones de monitoreo, tipo de muestra, preservación, logística, cadena de custodia, otros).
- » Aspectos analíticos (metodología analítica, instrumental, sensores, análisis in situ, otros)
- » Recopilación y almacenamiento de datos (plataformas de datos, registros automáticos, seguimiento online de estaciones fijas, otros);
- » Procesamiento e interpretación de resultados (análisis de datos, comparación con bases de datos históricas, aplicación de modelos, tendencias, identificación de vacíos de información e incertidumbres, otros).
- » Comunicación de datos, resultados e información (presentación de los datos, plataformas de acceso público, cartografía, histogramas y otros gráficos, índices de calidad, cartografía, observatorios, otros).

Modelos para caudales e hidrogramas ecológicos

Para mantener el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, así como permitir la protección de los ecosistemas riparios, ecosistemas acuáticos terrestres y costeros, es necesario que se garantice el régimen de caudal ecológico en los cursos de agua.

Todo proyecto que conlleve la derivación de agua de cauces hídricos naturales, debe, por tanto, considerar la conservación del caudal ecológico aguas abajo de las obras, para evitar la alteración de los corredores ecológicos constituidos por estos cauces hídricos. La falla en el manejo de los caudales ha conducido al deterioro en la estructura y función (salud) de muchos ríos del mundo (citado en: Poff et al, 1997).

En la literatura especializada existen diversas definiciones de caudal ecológico o ambientales.

Según la WWF (2010) el caudal ecológico se define como aquel que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando valores ecológicos como el hábitat natural y las funciones ambientales tales como purificación de aguas, amortiguación de extremos hidrológicos mínimos, recreación y pesca.

Otra definición muy reconocida es la presentada en la Declaración de Brisbane que establece que el caudal ecológico es *"la cantidad, calidad y régimen de flujo necesario para sostener los ecosistemas dulceacuícolas, además de los componentes, procesos y funciones ecológicas de los que depende la sociedad humana"*.

Por su parte Poff *et al.* (1997) reconocen que el establecimiento arbitrario de un caudal mínimo es inadecuado, ya que la estructura y la función de un ecosistema ribereño y las adaptaciones de su biota son generadas por patrones de variación temporal en los caudales fluviales (el paradigma de régimen de caudales naturales). Otros autores han señalado al respecto que para proteger la biodiversidad de los ecosistemas fluviales y mantener las condiciones esenciales de salud y servicios que proveen los ríos, se requiere imitar la variabilidad natural de los componentes esenciales de caudales, considerando la magnitud, frecuencia, periodicidad, duración y grado de cambio de los eventos de flujo en los ríos (citado en: Poff *et al.*, 1997).

A veces se consideran otras definiciones para referirse a caudales que permiten la conservación y gestión del ecosistema fluvial, como caudales de sostenimiento de caudales naturales o hidrogramas ecológicos. En el primer caso, se debe tener cuidado en cómo se interpreta el "sostenimiento del caudal natural", en el sentido de que es el ecosistema fluvial el que debe sostenerse a través de los caudales adecuados antes, y durante toda la vida del proyecto. En el caso de hidrogramas ecológicos, se entiende como tales los hidrogramas (ver capítulo de hidrología superficial) que permiten el sostenimiento del ecosistema fluvial, por ello dichos hidrogramas deben comprender las variables ambientales que permiten dicho sostenimiento.

A los efectos de esta guía se considera que los caudales ecológicos constituyen regímenes fluviales (ej. hidrogramas) que deben asegurarse en secciones de la cuenca bajo influencia del proyecto y durante toda la vida de éste para sostener la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados (preexistentes); y mantener las condiciones esenciales de salud y servicios que provee dicho sistema hidrográfico.

Tipos de modelos para determinar los caudales ecológicos

Para comprender la lógica de los modelos utilizados para la determinación de caudales ecológicos, es importante conocer cómo interactúan las variables de la dinámica del ecosistema (ver figura 4.8).

¹⁹ 10º Simposio Internacional de Ríos y en la Conferencia Internacional de Caudales Ecológicos, celebrados en Brisbane, Australia, del 3 al 6 de septiembre de 2007.

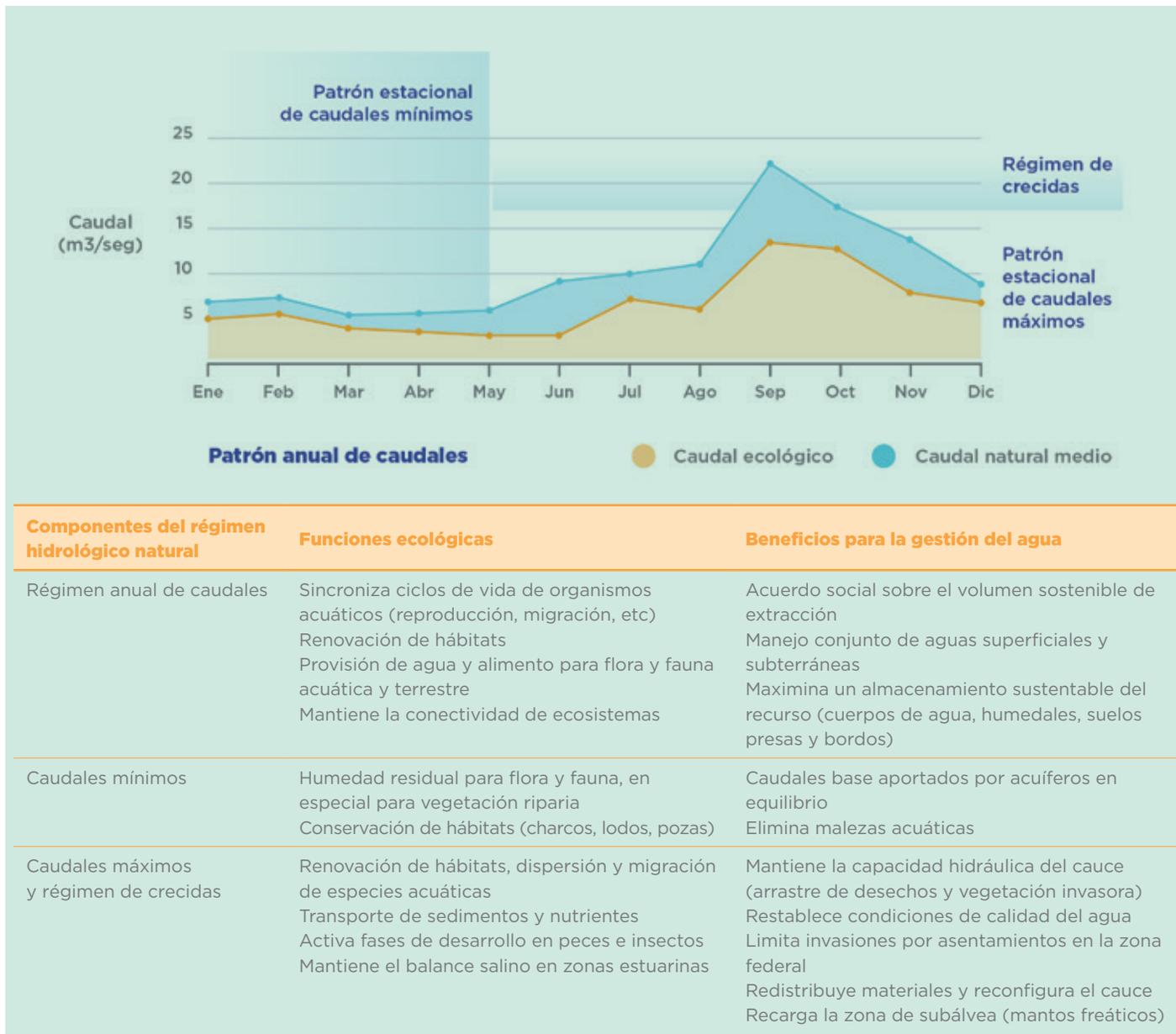


Figura 4.8. Régimen de caudal ecológico para un objetivo de manejo dado a partir del caudal natural medio interanual (RHN) y las funciones ecológicas que desempeñan sus componentes. Fuente: WWF, 2010.

Las metodologías para cumplir los objetivos del caudal ecológico, deben comprender el significado ecológico de cada componente del régimen natural y generar propuestas funcionales para

su conservación o resiliencia. Asimismo, debe aceptarse la capacidad del ecosistema acuático en modificar sus servicios como respuesta al aumento de los niveles de estrés.



Figura 4.9. Interrelación entre geomorfología, hidrología y ecología. Fuente: adaptado de Comisión Europea, 2015.

Los métodos hidrológicos representan el abordaje más simple y económico, y son ampliamente utilizados por dichas razones. Se basan en el análisis de series temporales de los caudales de un curso de agua, registrados históricamente a través de estaciones de aforo, o a través de modelación numérica hidrológica, entre otras. Algunas de las metodologías hidrológicas tan sólo establecen un único valor de caudal ambiental para un período de tiempo; mientras que otras establecen un régimen completo de caudales ambientales o ecológicos. Estos últimos proporcionan valores para los componentes magnitud, frecuencia, duración, momento y tasas de cambio de los diferentes caudales, que ya se definieron en el apartado de aguas superficiales.

Otros métodos, como los hidráulicos que se utilizan en varias obras de infraestructura, se basan en parámetros como la velocidad, perímetro mojado, nivel de agua, batimetría, entre otros

Los métodos hidrológicos o los hidráulicos pueden combinarse con estudios de simulación de hábitat integrando estudios hidrodinámicos del tramo bajo estudio y preferencia de hábitat de las especies que caracterizan el sistema fluvial. Incluso, en estudios más completos se puede tener en cuenta la integridad de toda la comunidad biológica del sitio y el sostenimiento de dicha integridad trófica. Para el abordaje

de este tipo de modelos se requiere información ecológica de las comunidades y sus especies, información limnológica y topográfica. Este método es trabajado conjuntamente por ingenieros y biólogos. Un ejemplo de este modelo es el IFIM + modelo de hábitat PHABSIM “Physical Habitat Simulation System”, que se desarrolla en mayor detalle al final de este apartado.

Los métodos más avanzados son de naturaleza integral. Estos modelos, también denominados holísticos, permiten determinar regímenes hidrológicos para sostenimiento del sistema en forma integral y a la vez considerar usos productivos y usos requeridos por la sociedad. Se basan en factores biológicos, abióticos, socioeconómicos, culturales, hidrológicos, e incluyen la variabilidad espacio temporal.

Cabe señalar que todos los procesos de modelación de caudales ecológicos conllevan la aplicación de gestiones adaptativas para su implementación. Los modelos deben ajustarse permanentemente con nueva información, y asumirse el compromiso de evaluar y monitorear continuamente para mejorar la aplicación de los modelos y las decisiones que se tomen a partir de ellos que pueden variar en el transcurso del tiempo. En la tabla 4.11 se presenta un listado de algunos modelos característicos de las tipologías señaladas.

MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

	Denominación y características	Indicador	Datos necesarios
<p>Métodos hidrológicos Organismos de las comunidades adaptados a variaciones estacionales propias del régimen hídrico que inciden en el comportamiento, ciclo biológico y producción poblacional</p>	<p>Curva de permanencia. Curva que representa rangos de caudales en un tiempo determinado y su relación con el % de tiempo en que esos rangos se igualan o exceden.</p>	<p>5 %, 10 %, ... n % de Q_{90} (ej. porcentaje de caudal que se excede en un 90% tiempo de observación) (Benetti et al., 2003).</p>	<p>Series temporales de caudales (diarios, mensuales, anuales).</p>
	<p>Caudal mínimo de 7 días con recurrencia de 10 años. Caudal mínimo estadístico en un período de recurrencia, ej. valor mínimo de 7 días, con recurrencia de 10 años. A valores menores se puede generar estrés ecológico.</p>	<p>$7Q_{10}$ Otros indicadores similares estadísticos: $7Q_2, 10Q_5$ (Benetti <i>et al.</i>, 2003).</p>	<p>Registros de caudales diarios en el período considerado de recurrencia.</p>
	<p>Tennant Relación entre el caudal y la disponibilidad de hábitat para biota acuática, expresados en caudal medio anual de años secos y lluviosos. El hábitat se degrada cuando el flujo es menor del 10 % del medio anual, asociado a una velocidad media de 0,25 m/s y profundidad media de 0,3 m.</p>	<p>% CAM (% Caudal Medio Anual) (por encima de 10% sostenimiento de hábitat) (Tennant, 1976 citado en Bragg <i>et al.</i>, 1999).</p>	<p>Caudales medios anuales de años secos y lluviosos.</p>
	<p>Aproximación por Rangos de Variabilidad Viabilidad hidrológica antes de instalada una represa. Descripción del flujo a través de 32 parámetros de Ritcher que definen el funcionamiento del ecosistema. Se establece un rango de variación de dichos parámetros y se fijan objetivos anuales para emular los flujos naturales luego de instalada la represa.</p>	<p>RVA (Range of Variability Approach). Los parámetros consideran registros de caudales diarios del período que considere las condiciones naturales, variaciones interanuales, máximos de variación, tendencias, dispersión).</p>	<p>Requiere datos de caudales diarios en el período considerado (ej. 20 años) y vinculados a los parámetros, de monitoreo continuo para la redefinición de objetivos.</p>
	<p>QBM. Caudal básico y de mantenimiento Se define como el caudal mínimo a mantener el cauce, siempre que este sea mayor al caudal natural que debería circular en ese momento.</p>	<p>Se basa en el caudal mínimo necesario para que se conserve la estructura y función del ecosistema acuático afectado. Se define un caudal de acondicionamiento, que se suma al mínimo en función de la demanda del recurso. El caudal de mantenimiento (suma del mínimo más el de acondicionamiento) se caracteriza por un mínimo para cada mes, y sigue la tendencia temporal del hidrograma natural del río.</p>	<p>Registros históricos de series de caudales medios diarios Q_{ij}, donde $j = n^\circ$ de años considerados, como mínimo se recomienda 10 años. $i = n^\circ$ días del año considerados (de 1 a 365). Se trabaja con matrices de 365×10 de caudales medios diarios.</p>

MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

	Denominación y características	Indicador	Datos necesarios
Métodos hidráulicos Considera que las variables hidráulicas simples son factores limitantes para la biota. Se basan en secciones transversales del cuerpo fluvial, y se relaciona la descarga con la profundidad de cauce, velocidad, perímetro mojado	Perímetro mojado. Se asume que la integridad del hábitat está directamente relacionada con el área húmeda. Se construyen curvas que muestran la relación entre el caudal y el perímetro mojado para diferentes secciones del cauce. Se observa que hasta un cierto volumen de agua el perímetro crece rápidamente a medida que aumenta la descarga pero sobrepasado este volumen (inflexión o quiebre) el perímetro se tiende hacia una constante.	Volumen o caudal del punto de inflexión que se presume óptimo para el desove de peces o para producción de vertebrados bentónicos. Una reducción de caudal por debajo de ese valor.	Se requieren mediciones de caudales y perímetros mojados, para distintas secciones del cauce. Se requieren perfiles topo batimétricos de la profundidad del cauce. Selección de especies objetivo, considerando la sección del cauce crítica para la especie.
	Modelos hidráulicos. Utilizan modelos numéricos para la emulación de caudales naturales (ej. HEC-RAS) y asociarlos al sostenimiento de los caudales naturales que permiten el sostenimiento del ecosistema.	No tienen un indicador específico arrojan regímenes de caudales óptimos.	Las mismas variables identificadas para los modelos hidráulicos en el apartado de agua superficial. Complementan las otras metodologías.
Simulación de hábitat Considera que las especies de peces están mejor adaptadas a ciertas características hidráulicas, estructurales y geomorfológicas. Al conocer cómo afecta el caudal a estas características se puede predecir el caudal óptimo para mantener las poblaciones ictícolas.	IFIM (Instream Flow Incremental Methodology). Integra modelos analíticos hidráulicos junto con el estudio de la calidad de agua, sedimentos, estabilidad de cauces, temperatura y otras variables que afectan a la fauna ictícola. Contiene un modelo computarizado denominado PHABSIM desarrollado por Bob Milhous en USA, de dominio público, que relaciona el caudal con datos del hábitat físico. Otro software utilizado similar al anterior es el RHYHABSIM desarrollado por Jowett Ian G. en Nueva Zelanda, este último no es de dominio público.	Índices que muestran el grado de adaptación de las especies objetivo a la velocidad, la profundidad y las características geomorfológicas específicas. Se desarrolla en mayor detalle en un ítem de este capítulo.	Especies objetivo o comunidades de especies: especies de importancia para la conservación (ictícolas, ribereñas, terrestres). Tramos geográficos y épocas del año características del ciclo de vida de las especies. Curvas de preferencia de hábitat y cuantificación de cantidad y calidad de hábitats de las especies objetivo.

MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

	Denominación y características	Indicador	Datos necesarios
Holísticos Considera que si son identificadas las características esenciales del flujo hídrico que pueden generar un impacto ecológico y estas son incorporadas dentro de un régimen de flujo modificado, se mantendrá la biota y la integridad funcional del ecosistema.	<p>Método de <i>Building Block- Bottom-up</i>. Se realiza con grupos de trabajos multidisciplinarios, en base a trabajos de investigación ya realizados, modelos de respuesta caudal - características hidráulicas y juicios de expertos. La estimación de la importancia económica y social del área de estudio es un aspecto crítico de consideración, junto con la dependencia social y económica de los ecosistemas Ribereños.</p>	<p>Las descripciones de cada uno de los componentes del flujo son consideradas como los <i>building block</i>, conformando los Requerimientos de Flujo para una cuenca o río (<i>IFR, Intream Flow Requirements</i>).</p>	<p>IFR, caudal recomendado de <i>Bottom-up</i>, a partir de un flujo mínimo hacia otros más altos.</p>
	<p><i>Bechmarking-Aproximación Top-down</i> Se basa en principios similares al anterior, pero el caudal es determinado a partir de un flujo máximo aceptable hasta valores menores.</p>	<p>A través de modelos conceptuales y juicio de expertos se identifican indicadores hidrológicos ecológicamente relevantes. Con los indicadores se caracterizan los cauces de un río de referencia en los que no necesariamente se da un flujo natural sino una variabilidad de flujos. Posteriormente se relacionan a los impactos ecológicos.</p>	<p>La variabilidad admisible de los caudales sin que el ecosistema se degrade.</p>
	<p>Método de Eventos de Caudal (FEM), Respuesta Aguas Abajo a Transformaciones Impuestas al Caudal (DRIFT), Evaluación Comparativa (Rodríguez <i>et al.</i>, 2008) Es una metodología holística que predice en forma detallada, y transparente cómo el ecosistema cambiará como consecuencia de determinados escenarios del uso del recurso, y cómo los usuarios del ecosistema podrían verse afectados por dichos cambios. Es un modelo informático diseñado para evaluar impactos ambientales de un proyecto en una cuenca o sector específico del río, sobre el ecosistema y la dependencia de la biota y las comunidades, para identificar y evaluar estrategias de mitigación. Se utiliza mucho desde fases tempranas de la planificación y diseño del proyecto, y la toma de decisiones de gestión. Requiere del aporte de equipos técnicos especializados.</p>	<p>Los regímenes de caudales se dividen en elementos/ indicadores ecológicos y socialmente relevantes. Se establecen Curvas de respuesta, entre fuerzas impulsoras significativas ej. (duración de la estación seca.) y un indicador de respuesta. Las respuestas ecológicas se describen en base estacional (valores para las cuatro estaciones del año). Se buscan respuestas en términos estacionales, más que en rangos anuales.</p>	<p>Utiliza información de indicadores existentes relacionados, modelación hidrológica, de caudales, series climatológicas. Información de biodiversidad Usos consuntivos. Escenarios de desarrollo de proyecto. Información georeferencial del proyecto</p> <p>https://www.drift-eflows.com/resources/project-demo-file/</p>

Tabla 4.11. Modelos para la estimación de caudales ecológicos. Fuente: elaboración propia.

Estudio de caso: Aplicación de IFIM + modelo de hábitat PHABSIM “Physical Habitat Simulation System”

La metodología IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*) (Bovee, 1982; Stalnaker, *et al.*, 1995) fue desarrollada en el campo de la eco-hidráulica que estudia la interacción de los procesos físicos de los ecosistemas acuáticos, las modificaciones observadas en el hábitat y las respuestas biológicas de los organismos. El IFIM es un proceso que permite integrar distintas herramientas y es de naturaleza iterativa en cuanto a que permite incorporar resultados de nuevos estudios. A través de una estructura exhaustiva, relaciona los caudales necesarios para el sostenimiento de las especies ictícolas y de otras vinculadas a ecosistemas acuáticos, con las condiciones físico-químicas y la dinámica del cuerpo fluvial; considerando también otros intereses ambientales y no ambientales sobre el recurso acuático. Es una metodología muy utilizada, principalmente en Estados Unidos, para evaluar impactos de proyectos de desarrollo hidráulico, en particular cuando se involucran desvíos fluviales.

La metodología IFIM incorpora un modelo conceptual denominado PHABSIM “Sistema de Simulación de Hábitat Físico” “*Physical Habitat Simulation System*”, propuesto por Bovee (1982) para evaluar el efecto de una variación de caudal en la disponibilidad de hábitat físico en un tramo fluvial y fijar caudales aceptables. La simulación hidráulica es un componente básico del PHABSIM que proporciona las profundidades y velocidades medias en cada punto de una malla estructurada que conforma el sistema de representación del cauce. Las predicciones de esta simulación se integran con Índices de Idoneidad del Hábitat de organismos considerados objetivo de protección o conservación. El Índice de Idoneidad del Hábitat acuático puede ser valorado a través de una “superficie ponderada útil” (a veces denominada “hábitat potencial útil”).

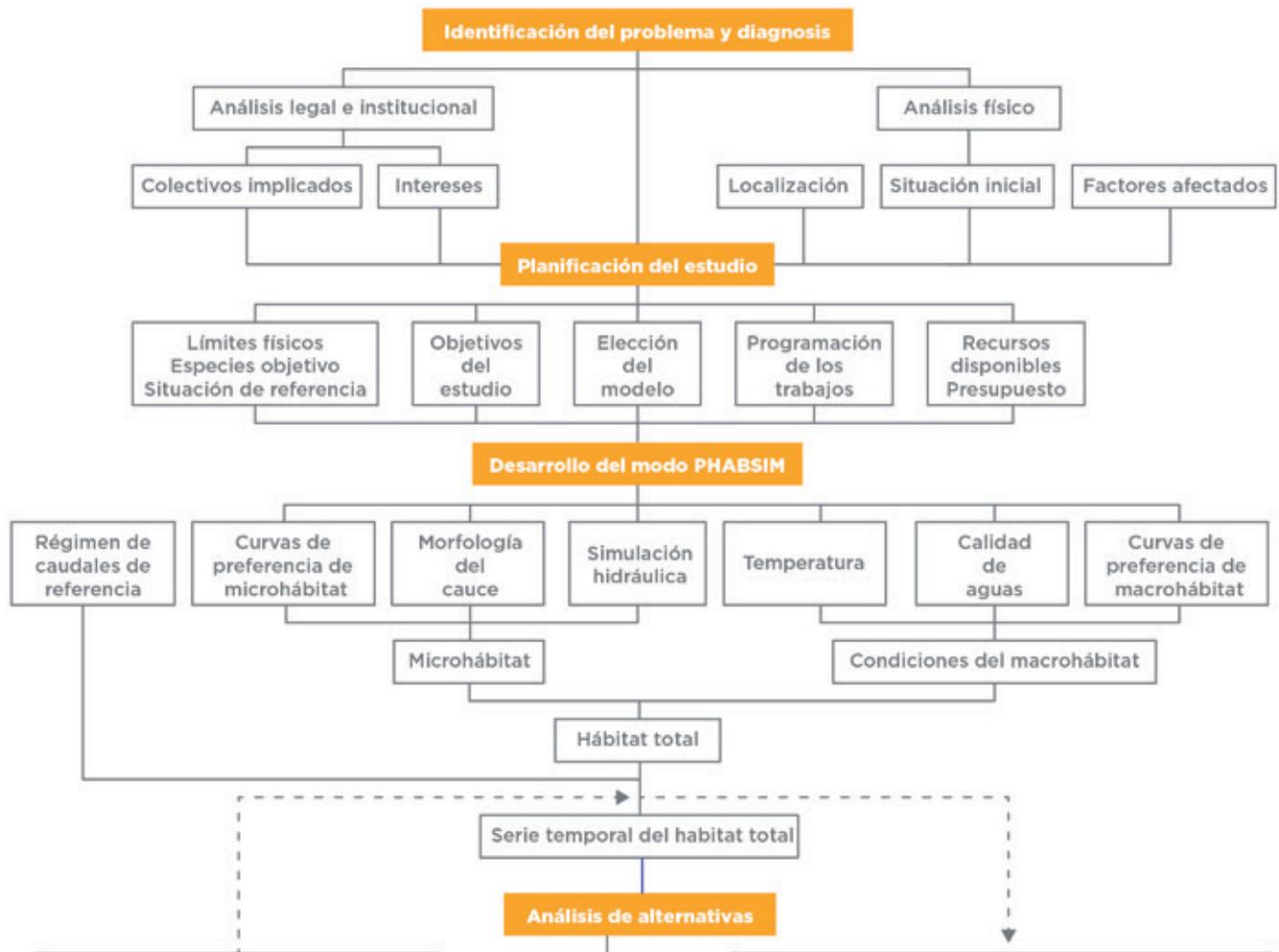


Figura 4.10. Esquema operativo de la metodología IFIM. Fuente: Universidad de Valladolid, 2017.

El modelo PHABSIM utiliza en general dos etapas en la recolección de los datos: 1) características físicas del canal (niveles del agua y velocidad de la corriente en las transectas del mismo; estudio de campo sobre la geometría del canal); 2) condiciones físicas del hábitat que son aceptables o no para la especie acuática.

El modelo permite ver cómo un hábitat puede variar sobre la base espacial y temporal con la ayuda de relaciones entre el hábitat físico potencial (área útil pesada WUA ó superficie ponderada) y el caudal en el río. El modelo se ha utilizado, por ejemplo, en los E.E.U.U., República Checa, Reino Unido, Canadá, Austria, Australia, Panamá, España y México.

En un enfoque clásico se simplifica la complejidad morfológica del cauce en secciones transversales constituidas por celdas en 1D, en la versión más simple o en más dimensiones. En

un esquema tradicional unidimensional (1D), cada hábitat se representa mediante alguna sección transversal, en la que se efectúan mediciones del sustrato, velocidad y profundidad, para diversos caudales. Estas celdas se van agregando en una malla de paralelogramos que abarcan la sección modelable del cauce.

La simulación hidráulica convencional de PHABSIM (Bovee *et al.*, 1998; Waddle, 2001) aplica métodos estadísticos simples y ecuaciones de flujo permanente seleccionables, para predecir secuencialmente las profundidades y las velocidades medias en cada celda, dentro de un intervalo de caudales delimitado. Los procesos biológicos se incorporan en PHABSIM mediante las "curvas de preferencia", funciones univariadas que cuantifican las idoneidades del hábitat para un organismo ligadas a las variables determinantes (profundidad, velocidad, material del lecho, etc.), mediante un coeficiente entre cero y uno.

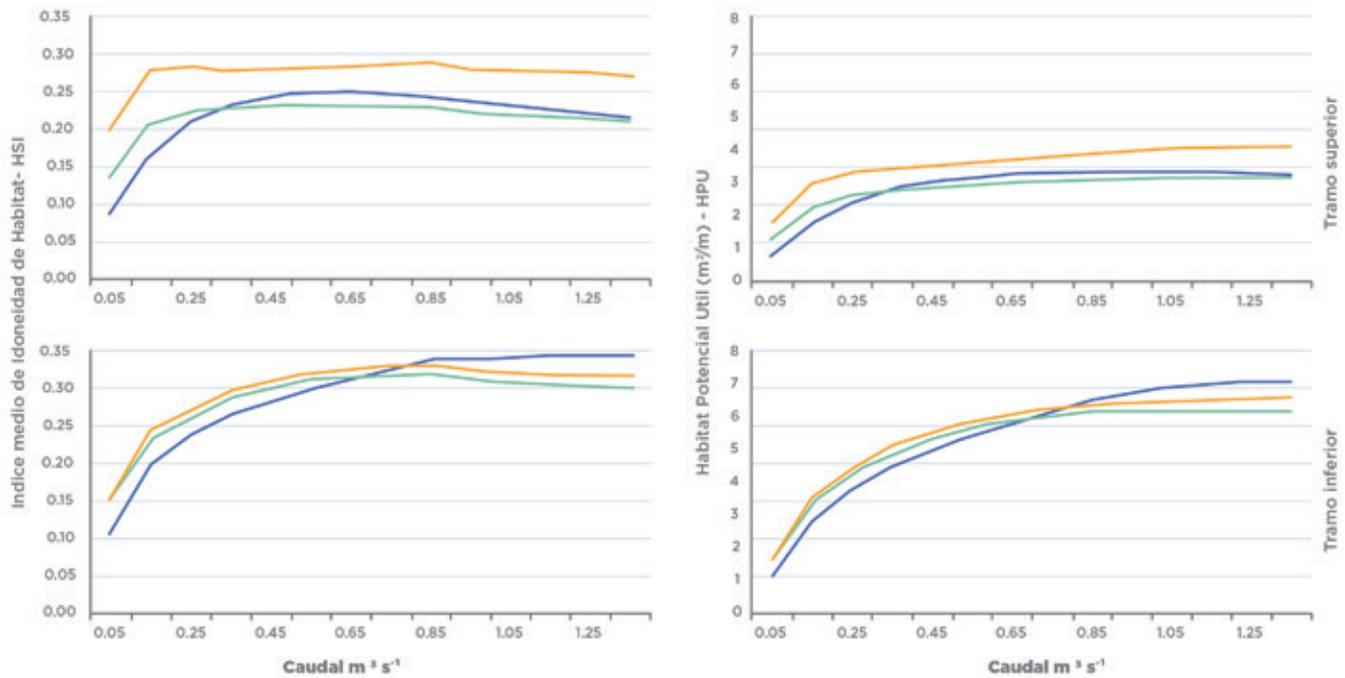


Figura 4.11. Índice medio de idoneidad de hábitat (HSI) (A) y hábitat potencial útil (HPU) (B) para tres especies de peces en los tramos superior e inferior del río São Pedro. Fuente: Da Costa, M.R. et al, 2015.

Existen colecciones de curvas de organismos (peces, macroinvertebrados, anfibios, reptiles, etc.) y funciones fluviales (pesca, deportes náuticos, paisajismo, etc.), que pueden ser referenciales en estudios de presupuesto limitado donde el desarrollo de modelos locales resulte inviable. La modelación del hábitat fluvial combina el microentorno hidráulico simulado a escala espacial y temporal con las curvas de preferencia fijadas, para desarrollar las relaciones funcionales clave entre el caudal y el Índice de Hábitat que evalúa la aptitud del mismo para cada organismo objetivo.

Un ejemplo de aplicación de esta metodología es la estimación de caudales ecológicos basada en simulación del hábitat físico en un pequeño río del sudeste de Brasil (Da Costa, M.R. *et al*, 2015), donde se consideraron como objetivo tres especies de peces tropicales de diferentes órdenes, *Bryconamericus ornaticeps*, *Ancistrus multispinis* y *Geophagus brasiliensis*, en dos tramos de un río en la zona de mata atlántica al sudeste de Brasil, durante el verano de 2013 (temporada de lluvias) e invierno de 2014 (época seca).

En el marco de este estudio se midieron características topográficas e hidráulicas por transectas. Todas las secciones presentan su perímetro mojado dividido en celdas de 0,5 x 0,5 m, para la medición de condiciones hidráulicas (calado, velocidad media, tipos de sustrato) y para el uso del microhábitat por los peces observados en forma directa bajo el agua (*snorkelling*). Se utilizó un modelo unidimensional. Se realizó un levantamiento topográfico y se determinó el caudal medio en cada campaña a partir de las secciones transversales y el nivel de agua, con los que calibró el modelo y calcularon las curvas (altura-caudal) en cada sección transversa. El software utilizado para modelación hidráulica y simulación de hábitat fue el RHYHABSIM (Payne *et al*, 2013) desarrollado en Nueva Zelanda, (similar al PHABSIM). Se elaboraron curvas de idoneidad de microhábitat para dichas especies, y se relacionaron dos indicadores, el HSI (índice medio de idoneidad en un tramo), y el HPU (Hábitat Potencial Útil) con el caudal del río (ver figura 4.11).

Como conclusión del estudio se identificó un caudal mínimo en época seca para la conservación del hábitat, y un rango óptimo para el hábitat de las especies mencionadas. Los resultados se consideraron como una primera propuesta de régimen ecológico de caudales, en el marco de un proceso de gestión adaptativa de los recursos hídricos, para conservar la salud del río São Pedro y los diversos servicios ecosistémicos que aporta a la sociedad.

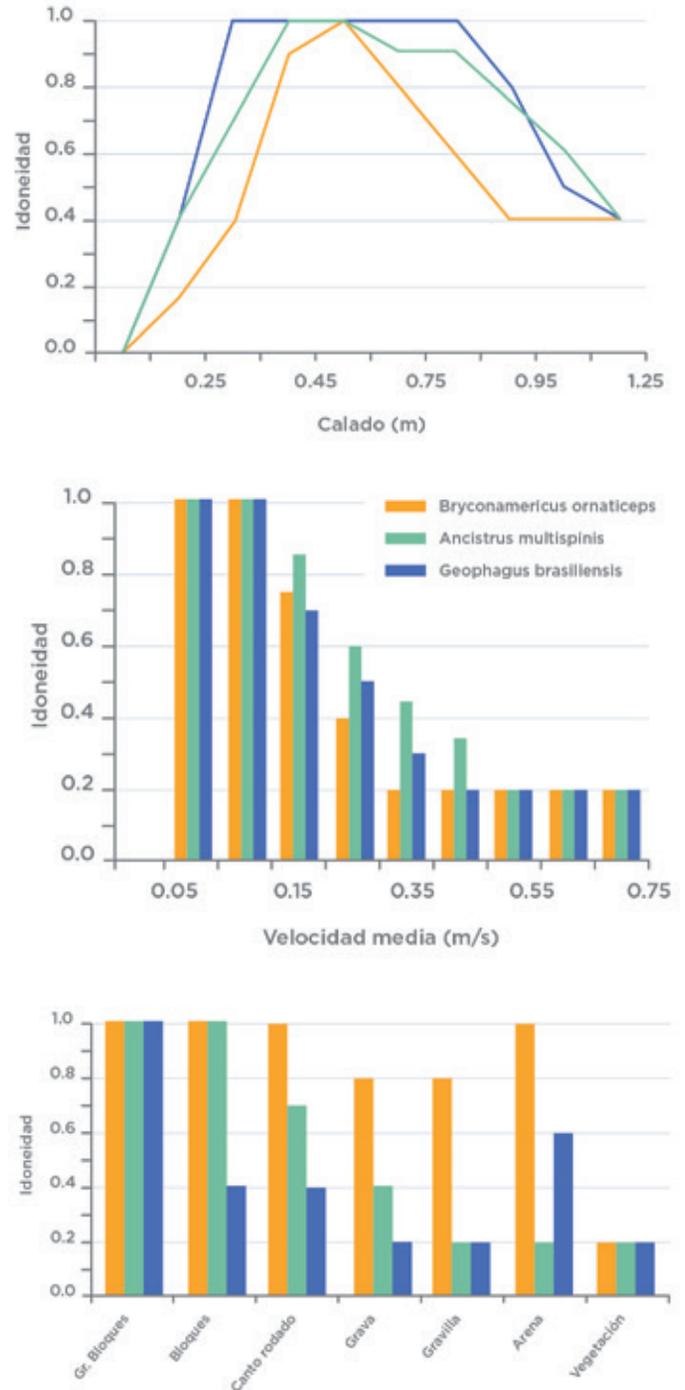


Figura 4.12. Curvas de idoneidad de microhábitat para calado (m), velocidad media (m s-1) y tipos de sustrato para las tres especies de peces del río San Pedro. Fuente: Da Costa, M.R. et al, 2015.

Medio biótico

La línea de base del medio biótico de los proyectos hidroeléctricos tendrán, *a priori*, un enfoque dirigido (Sánchez, 2013) hacia el ecosistema acuático y terrestre afectado, en los que se deberá realizar un estudio más exhaustivo en las áreas que se verán impactadas negativamente de forma irreversible, como ser, el área de inundación y el de las obras subsidiarias permanentes (rutas de acceso, tendido eléctrico, áreas de servidumbre, villas permanentes, entre otros).

Es importante incluir el estudio de especies de fauna y flora que podrían ser afectadas por el proyecto y podrán ser objeto de rescate y relocalización²⁰.

También se deben considerar ecosistemas y especies que dependan del nivel y la variabilidad del flujo hídrico afectado, tanto aguas arriba como aguas abajo, entre ellos, hábitats críticos para la conservación de la biodiversidad, con especial enfoque en humedales, rutas migratorias y corredores de biodiversidad.

Otro enfoque prioritario es el estudio de las rutas migratorias (acuáticas, aéreas y terrestres) que podrían verse afectadas por la fragmentación del hábitat ocasionada por el embalse, infraestructura, rutas de acceso y líneas de transmisión.

En el mismo sentido, el estudio debe focalizar en el análisis de especies endémicas con distribución restringida y/o en alguna categoría de amenaza (listas rojas nacionales²¹, provinciales e internacionales), así como contenidas en un plan de conservación bajo reglamentación específica. También son significativas las especies con valor socio-económico, tanto local como regional.

Se espera que el componente de áreas protegidas y hábitats críticos para la conservación haya sido estudiado y considerado de forma preliminar para el análisis de alternativas de localización del proyecto. Por ser un componente crítico, es necesario su análisis detallado y *a priori* conservador, con un alcance a nivel cuenca. Además, es importante relevar el estado de situación de la conservación y gestión²² de estas áreas tanto para el análisis de potenciales impactos, como posibles áreas de implementación de medidas compensatorias por pérdida de biodiversidad de impactos negativos residuales. Las compensaciones aquí referidas se enmarcan en la jerarquía de mitigación, teniendo en cuenta los principios de equivalencia ecológica, adicionalidad, sostenibilidad, ubicación, alcance y límites a la compensación²³.

Es útil incorporar el análisis de áreas degradadas potencialmente aptas para restauración, tanto con objetivos de conservación, como de desarrollo socioeconómico.

Asimismo, es importante analizar las variables preexistentes al proyecto que amenazan la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y que podrían influir en impactos acumulativos y en los resultados de las medidas de mitigación. Por ejemplo, desplazamientos de hábitats, presión de uso, especies exóticas invasoras que podrían proliferar con el proyecto, o el comportamiento de adaptación de la biodiversidad al cambio climático, variable que puede influenciar de forma significativa los escenarios proyectados en la fase de gestión adaptativa.

Paisaje

El estudio de paisaje debe estar vinculado a las escalas de caracterización de las propiedades emergentes, como análisis preliminar para el estudio de la biodiversidad.

En esta instancia se identifican y caracterizan las unidades de paisaje o paisajes fisiográficos con sus atributos. Para ello, se utilizan sistemas de teledetección, fotografías aéreas, representación cartográfica a diferentes escalas y reconocimiento a campo. Este relevamiento permite definir posteriormente las unidades de muestreo para el estudio de los diferentes componentes de la biota.

El reconocimiento del paisaje desde un enfoque ecológico, considera un sistema de análisis integrado (características abióticas y bióticas), que toma en cuenta escalas de caracterización, desde un nivel más amplio, ecorregional, a un nivel más específico, homogéneo de suelo y vegetación, como lo determina la clasificación de ambientes biofísicos de Argentina de Morello et al. (2012).

Los niveles propuestos²⁴ por Morello *et al.* (2012) para la caracterización de los ambientes permiten estructurar las escalas de análisis para los diversos componentes bióticos, abióticos y antrópicos. Este análisis integra por tanto información biofísica y social, que modela y regula la estructura y el funcionamiento del paisaje. En dicha publicación se encuentran caracterizados y mapeados los primeros niveles de análisis (desde 1:3.000.000 a 1:250.000) a nivel de ecorregión y complejos de ecosistemas²⁵. La caracterización del paisaje en niveles de mayor detalle (desde 1:250.000 a 1:10.000) depende de una serie de criterios específicos; no obstante, siguiendo la metodología propuesta

²⁰ El rescate y localización debe formar parte del Plan de Conservación a implementar en el PGA, el cual debe ser coordinado con las autoridades ambientales locales.

²¹ Especies categorizadas por normativa nacional: aves Res. N.º 795/17; mamíferos Res. N.º 1030/04; reptiles y anfibios Res. N.º 1055/2013; plantas endémicas Res. N.º 84/2010.

²² En el caso de los Sitios Ramsar, se considerarán los resultados de las evaluaciones de efectividad de manejo (R-METT) (actualmente en proceso de implementación)

²³ Ver principios en SAyDS, 2019a.

²⁴ "Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos de Argentina" (Morello et al, 2012). La publicación caracteriza al país en 115 complejos ecosistémicos, agrupados en 15 ecorregiones.

²⁵ Niveles de mayor detalle están aplicados a áreas de conservación del Sistema Federal de Áreas Protegidas de la Administración de Parques Nacionales.

²⁶ La importancia relativa de cada componente en cada nivel se puede analizar en la Tabla 1 de la página 22 de "Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos de Argentina" (Morello et al, 2012).

por Morello *et al.* (2012), está vinculada a la importancia relativa de diferentes componentes abióticos, bióticos y antrópicos en cada nivel²⁶, de los cuales, algunos deben ser valorados, como por ejemplo: vegetación (endemismos, especies amenazadas), fauna (composición, endemismos, especies amenazadas) e influencia antrópica (tipo de amenaza y severidad).

Áreas de importancia para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos

Áreas de conservación y hábitats críticos

Un componente a tener en cuenta a priori a nivel cuenca, es la identificación y caracterización de las áreas de conservación²⁷, que incluyen, entre otras, todas las áreas legalmente protegidas y las prioritarias para legalizar. Dicha caracterización debe considerar su estatus legal, estado de conservación y gestión, así como la proximidad al proyecto.

También se deberán contemplar las áreas alcanzadas por planes o proyectos de restauración en el marco de la Ley N° 26331, leyes complementarias provinciales u otras normas específicas.

Se debe realizar un estudio detallado de hábitats críticos o de importancia para la conservación incorporando la información relevada sobre los otros componentes de la biodiversidad que se detallan en este capítulo. Se debe considerar fundamentalmente sitios clave para la nidificación, alimentación y cría de especies endémicas, con distribución restringida y/o en alguna categoría de amenaza.

Para identificar áreas de importancia para la conservación con alto valor para la biodiversidad es importante considerar como objetos de conservación a un amplio espectro de grupos taxonómicos, escalas y niveles de organización biológica. Deben incluirse no sólo especies, sino también comunidades ecológicas y tipos de hábitat especiales o representativos. Es importante incluir relevamientos de los diversos componentes que integran el medio biótico (especies de fauna y flora, unidades de vegetación terrestre y ambientes acuáticos). Todos estos objetos de conservación, deben estar debidamente cartografiados a través de un SIG, para poder compararlos sobre la base de información histórica.

Para la identificación de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad y su planificación espacial se puede utilizar el programa de diseño Marxan. El programa es útil para clasificar las unidades de planificación en función del valor y costo de las áreas para conservar la biodiversidad. Es una herramienta soporte en la toma de decisiones para el diseño de sistemas de reservas, por lo que puede ser útil en la planificación de áreas compensatorias

por pérdida de biodiversidad, sin desmedro de otras que puedan ser adaptadas a las metas de conservación y al contexto de los ambientes de Argentina.

Humedales

Los humedales forman parte de los hábitats de importancia para la conservación de la biodiversidad y, a su vez, pueden estar bajo la tutela de alguna categoría de protección legal, como los incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar). Su singular estudio en la línea de base, responde a la frecuente presencia de estos ecosistemas asociados a los aspectos hidrogeomórficos que pueden ser afectados por el proyecto, así como también a su significatividad en la generación de funciones ecológicas y servicios ecosistémicos.

La identificación de humedales se realiza en paralelo a los estudios hidrogeológicos y geomorfológicos del área de estudio. A nivel nacional, se ha avanzado con la información relativa al inventario de humedales a nivel de regiones y subregiones de humedales (nivel 1 del Inventario Nacional de Humedales -INH). Para el estudio de escalas espaciales de mayor detalle se recomienda tomar como referencia los documentos desarrollados en el marco del proceso de planificación e implementación del INH publicados por la SAyDS. Este análisis permitirá relevar información sobre las características ecológicas de los humedales.

En líneas generales, la presencia de humedales depende de la existencia de aspectos geomorfológicos específicos (tales como relieve, litología, geomorfología), el régimen hidrológico (flujos de agua, balance hídrico climático) y factores térmicos que condicionan los aspectos bióticos y funciones ecológicas (Benzaquen *et al.*, 2017). Estas últimas, son sostén de importantes servicios ecosistémicos tales como aprovisionamiento de alimento y agua, regulación hídrica, protección costera, depuración, captura de carbono en biomasa, ciclo de nutrientes, servicios culturales, entre otros.

De esta forma, los humedales deben ser caracterizados de forma integral, considerando la caracterización física (clima, suelos, hidrología, régimen hídrico, calidad de agua), la biodiversidad asociada, estado de conservación, servicios ecosistémicos, beneficios y beneficiarios²⁸. La evaluación deberá además contemplar las afectaciones existentes, ya sean naturales o antrópicas que modifican la dinámica de los humedales (presión de uso, cambio climático, etc.). En este sentido, se debe determinar un sistema de indicadores para el monitoreo de las funciones ecológicas y servicios ecosistémicos de los humedales.

²⁷ Las categorías establecidas para las áreas de conservación se definen en la Estrategia Nacional de Biodiversidad.

²⁸ La ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) contiene una serie de requisitos de componentes a ser relevados que manifiestan la diversidad de valores, ecológicos y sociales, asociados a estos ambientes. <https://www.ramsar.org/es/documento/formato-fir-sin-conexion-en-blanco-para-nuevas-designaciones>

Sobre este último aspecto, existe una variedad de metodologías para la evaluación y valoración de los servicios ecosistémicos, que se podrán profundizar y ajustar en función del alcance y ubicación del proyecto.

Especies acuáticas

La caracterización del fitoplancton, zooplancton, invertebrados bentónicos, se analizan en el apartado de limnología, el cual deberá ser integrado a los componentes aquí citados.

Macrófitas

Deben identificarse las comunidades de macrófitas sujetas al sustrato (emergentes o sumergidas) y macrófitas flotantes, así como evaluar las interacciones entre las comunidades y los estudios limnológicos para la calidad de agua. Analizar probabilidades de propagación y aumento de vectores asociados y determinar la existencia presente o potencial de especies exóticas invasoras. Considerar el flujo principal del río, efluentes y afluentes aguas abajo y arriba al lugar del emplazamiento del proyecto, así como humedales y otros ambientes asociados permanentes o estacionales. Determinar especies indicadoras para el plan de monitoreo.

Ictiofauna

Este estudio debe asociarse y complementarse con la información de los estudios limnológicos, para establecer las categorías tróficas. También es necesario asociar los estudios de ictiofauna con los de caudal ecológico y determinar los caudales ecológicos estacionales por debajo del cual las especies de ictiofauna nativa se verían afectadas de forma irreversible.

Se debe caracterizar la estructura poblacional de las especies de peces presentes en la cuenca, la distribución estacional y abundancia.

Los estudios deben enfatizar en la diversidad y distribución de especies endémicas por ser objeto de conservación primaria, a las que se deben considerar de forma primordial aquellas en alguna categoría de amenaza, raras y reofilicas. Las especies exóticas pueden ser de interés por su valor de uso comercial y pesca deportiva, aunque hay que tener en cuenta que muchas de ellas están categorizadas como especies exóticas invasoras, como es el caso de los salmónidos, por lo que no son objeto de conservación en términos de valor ecosistémico. Su estudio debe estar enfocado en relación a las características de comportamiento invasivo y al impacto en la actividad económica.

En función de las características de la cuenca y emplazamiento del proyecto, se deben estudiar las posibles rutas migratorias estacionales, en ambos flujos, de especies diádromas, así como también la conectividad espacial y temporal de las poblaciones locales, que nivel cuenca garantizan el flujo génico y fortalecen las posibilidades de conservación de las especies.

Para los estudios de ictiofauna es importante identificar y zonificar macrohábitats en función de las características hidrológicas, así

como microhábitats críticos, por lo general ambientes someros de ribera, humedales y otros ambientes asociados, permanentes o estacionales, vinculados a la cuenca. Estos ambientes suelen ser los ecosistemas de mayor productividad, por su función como áreas de desove, reproducción, cría, refugio y alimentación.

Las curvas de preferencia de hábitat para las especies clave sirven de insumo para entender la afectación hidrodinámica en la biota acuática.

La caracterización de las especies, debe contener sus variables morfométricas y merísticas. En cuanto a los aspectos reproductivos, evaluar para toda la población el índice de intensidad reproductiva, el desarrollo gonadal, así como el estudio de huevos y larvas (ictioplancton). En relación al comportamiento alimentario, revisar las categorías tróficas, analizar la acumulación de grasa, el grado de repleción gástrica y contenido estomacal de las principales especies.

Es necesario considerar muestreos estacionales en zonas bentónicas, litorales, neríticas y pelágicas, según el alcance determinado en el área de estudio. Es apropiado establecer de forma estratégica las estaciones de monitoreo en los micro hábitats críticos, que pueden ser coincidentes con las estaciones limnológicas. Para el estudio de los desplazamientos migratorios y distribución de especies clave, podrá ser necesario el uso de radio telemetría.

El relevamiento de flujos alternativos para el pasaje de las especies objeto de conservación, es útil para considerar potenciales medidas de mitigación en relación a los flujos de conectividad.

Avifauna, herpetofauna y mastofauna acuática

La línea de base de avifauna, herpetofauna y mastofauna debe hacer foco en la diversidad y distribución de especies endémicas, amenazadas, raras, de interés económico, así como determinar la existencia presente o potencial de especies exóticas invasoras. Es necesario considerar estudios específicos para especies en peligro de extinción, teniendo en cuenta programas de conservación en desarrollo o por desarrollar.

Para analizar la línea de base de estos componentes, se debe considerar el cauce principal del río, así como tributarios, ambientes acuáticos asociados y ambientes de borde, para lo que es importante la identificación del uso estacional de hábitats para reproducción, alimentación, abrigo y rutas migratorias.

Es necesario mapear y monitorear las rutas migratorias de especies endémicas y/o amenazadas, que puedan ser potencialmente afectadas. En este caso, las técnicas de telemetría vía satelital o geolocalizadores son las opciones más efectivas. El estudio en esta fase debe estimar tendencias poblacionales a largo plazo, que servirán de base al plan de monitoreo y para determinar especies indicadoras. Para especies endémicas de distribución restringida es

necesario completar la línea de base sobre estructura poblacional con estudios genéticos (genómica poblacional). Al igual que para el componente anterior, de la línea de base relevada, se definirán las estaciones de muestreo y bioindicadores que monitorearán la biodiversidad a lo largo de la vida útil del proyecto.

Especies terrestres

Comunidades vegetales

La caracterización del paisaje incluye la información de las unidades de vegetación espontánea, dentro de las grandes unidades fitogeográficas del territorio. En este sentido, se deben tener en cuenta las actualizaciones de los mapas de unidades de vegetación que describen y mapean los rasgos fisonómico-florísticos de la vegetación espontánea²⁹. Esta información también resulta de suma utilidad para planificar estrategias y acciones de restauración y compensación con enfoque ecosistémico.

Para este componente se debe estimar la cobertura vegetal, abundancia, diversidad y riqueza de especies, para lo cual se propone el uso de unidades de muestreo adecuadas al tamaño, la densidad y distribución espacial de las especies. Para determinar tamaño y cantidad de unidades de muestreo se propone la utilización del criterio “área mínima de la comunidad”, que se relaciona con la homogeneidad florística y espacial, y surge del criterio que para toda comunidad vegetal existe una superficie por debajo de la cual no puede expresarse como tal (Matteucci y Colma, 1982).

Se deben mapear las comunidades vegetales y especies dominantes en el área de estudio e identificar especies endémicas, así como clasificar taxonómicamente las muestras de especies colectadas y preservarlas en herbario. Es importante contrastar los resultados obtenidos en campo con la base de datos de plantas endémicas argentinas PlanEAR³⁰.

Es útil estimar la biomasa que quedará total o parcialmente inundada, valor que sirve como insumo para modelar, junto a otras variables, diferentes escenarios de calidad de agua y evaluar porcentajes eficientes de remoción de la vegetación del área de embalse. También resulta relevante la identificación de áreas previamente degradadas que puedan ser vulnerables a impactos acumulativos o plausibles de admitir acciones de restauración. Determinar la existencia presente o potencial de especies invasoras, así como bioindicadores para el plan de monitoreo.

Macroinvertebrados, avifauna, herpetofauna, mastofauna

Para el componente de fauna terrestre, se debe relevar la línea de base de macroinvertebrados, avifauna, herpetofauna y mastofauna con énfasis en la diversidad y distribución de

especies endémicas, amenazadas, raras y de interés económico, para lo cual se debe determinar la riqueza, abundancia y diversidad de especies. Para estos estudios se deberá tener en cuenta la caracterización demográfica, la elaboración de un mapa de distribución y de amenazas preexistentes para poder evaluar los impactos acumulativos, realizar un análisis de viabilidad poblacional, caracterizar el uso de hábitat y evaluar el grado de especialización y determinar las rutas migratorias. Es importante el diseño de bioindicadores que sean útiles para el monitoreo de la línea de base, así como de los resultados de las medidas de mitigación.

Vectores y especies exóticas invasoras

Se deben realizar estudios específicos para presentes y potenciales especies vectores de enfermedades, así como identificar la presencia la existencia de especies invasoras y su potencial proliferación con los cambios físicos y químicos del cauce que devengan de la construcción de la presa.

Consideraciones metodológicas generales para el relevamiento de flora y fauna.

En relación a este punto es clave la representatividad de los datos muestreados, así como la fundamentación de las metodologías elegidas para las especies blanco. La representatividad de las muestras está determinada por los métodos que deben suministrar información representativa del atributo a medir, la consideración de la heterogeneidad de los hábitats, así como también de la variabilidad estacional y climática (ej. periodos de sequía o de inundaciones).

Es necesario que el plan de muestreo considere como mínimo un ciclo estacional anual completo, con muestras representativas por cada estación. El esfuerzo de muestreo también es otra variable de representatividad y debe estar demostrado. Para ello es apropiado el uso de curvas de acumulación de especies, método útil para determinar y justificar la finalización de los muestreos.

El relevamiento preliminar del área de estudio, tanto con información primaria como secundaria, es clave para el diseño e instalación de las estaciones de muestreo para completar la línea de base y posteriormente la implementación de los programas de monitoreo en la fase de construcción del proyecto. En este sentido es necesaria la planificación temprana de las estaciones de muestreo, lo que permitirá realizar a tiempo los ajustes necesarios para el adecuado diagnóstico base de la biodiversidad y de la calidad ambiental.

Las metodologías de muestreo deben apuntar a registrar la diversidad del sistema en su totalidad, para lo cual tienen que

²⁹ Ver “Unidades de Vegetación de la Argentina” (Oyarzabal et al, 2018) que representa la vegetación espontánea actual como la que fue reemplazada, en el marco de las grandes unidades fitogeográficas del país, con una resolución intermedia entre provincia fitogeográfica y comunidad. Al considerar únicamente la vegetación, esta caracterización puede presentar diferencias dentro de unidades descriptas en el mapa de ecorregiones y complejos ecosistémicos de Morello et al. (2012).

³⁰ Disponible en: <http://www.lista-planear.org/>

estar fundamentadas y ajustadas en relación a las características de los objetivos a muestrear y las posibilidades que permitan su implementación. En este sentido, y siempre que sea posible, es aconsejable considerar metodologías estandarizadas para asegurar su aplicación de forma semejante en diferentes sitios de interés, lo que permite comparar resultados. Como premisa se debe priorizar realizar muestreos con devolución para evitar mortalidad por muestreo.

La información a relevar debe estimar la riqueza de especies, la abundancia y densidad poblacional, la diversidad (alfa, beta y gamma) y la similitud. Siempre que sea posible, los individuos recolectados deberán ser identificados hasta el nivel de especie. Si existen especies de distribución restringida con información insuficiente, podrá ser necesario combinar el trabajo de campo con modelos de distribución de especies, para predecir su presencia en otros posibles hábitats no muestreados. Los relevamientos de campo se deben categorizar con las listas nacionales y provinciales de categorización de especies amenazadas, listas rojas de UICN y apéndices de CITES.

Los sitios de observación y datos de muestreo deben ser representados geográficamente, así como los datos recolectados sistematizados en base de datos y sistematizados en SIG.

Al finalizar la etapa de relevamiento y sistematización de los datos de línea de base, se pueden seleccionar y presentar parámetros que sean útiles en el desarrollo de bioindicadores para el monitoreo de las comunidades.



Sitios de consulta para los estudios de biodiversidad:

- » Apéndices I y II de la Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres (CMS) <https://www.cms.int/es/species>
- » Apéndices I, II y III de CITES <https://www.cites.org/esp/app/index.php>
- » Base de datos de plantas argentinas <http://www.lista-planear.org/>
- » Instituto de Botanica Darwinion <http://www.darwin.edu.ar/>
- » Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente <https://inibioma.conicet.gov.ar/>
- » Resoluciones en relación a la fauna: <http://normativa.ambiente.gob.ar/normativa/fauna-resoluciones/index.html>
- » Listas Rojas UICN America del Sur www.iucn.org/es/regiones/américa-del-sur/nuestro-trabajo/políticas-de-biodiversidad/lista-roja-de-uicn
- » Mapa de suelos de Argentina <http://visor.geointa.inta.gob.ar/?p=889>
- » Mapas Ambiente - Bosques <http://mapas.ambiente.gob.ar/?idarticulo=12857>
- » Mapas Ambiente - Biodiversidad <http://mapas.ambiente.gob.ar/?idarticulo=12868>
- » Mapas Ambiente - Evaluacion de impacto ambiental <http://mapas.ambiente.gob.ar/?idarticulo=14737>
- » Portal de Datos de Biodiversidad de Argentina <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/sact/datos-biologicos>
- » Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica <http://www.eco-ser.com.ar>
- » Red Interamericana de Información sobre Biodiversidad <http://www.oas.org/es/sedi/dsd/iabin/default.asp>
- » Secretaria de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable <http://ambiente.gob.ar/>
- » Sistema de Información de Biodiversidad <https://sib.gob.ar/>
- » Sistema Nacional de información sobre especies exóticas invasoras <http://www.inbiar.uns.edu.ar/>

Medio socioeconómico

La caracterización o diagnóstico del medio socioeconómico debe ser producto del relevamiento y análisis de información (primaria y secundaria) elaborada por especialistas en dichas temáticas. Esta caracterización debe considerarse como una herramienta para comprender, no solamente los datos y procesos demográficos, económicos y culturales de la población potencialmente afectada y sus tendencias en un escenario sin proyecto, sino también los actores involucrados, sus intereses, percepciones, niveles de influencia, relaciones y posicionamiento respecto al proyecto hidroeléctrico, que en general, se realiza utilizando un “mapa de actores” como herramienta analítica.

La identificación y análisis de actores permitirá visualizar el escenario social de aplicación del proyecto hidroeléctrico, anticipar las demandas de información esperables por parte de los diferentes actores y sectores sociales, y definir posibles escenarios de conflictos y responsables de su prevención o gestión (SAyDS, 2019a; MOP, s.f.). Si bien es recomendable que el mapa de actores se realice en etapas tempranas del ciclo de proyecto (prefactibilidad o factibilidad), durante la realización de la línea de base, este análisis puede ampliarse y adaptarse, considerando que el posicionamiento de los actores puede variar a lo largo del tiempo o surgir nuevos elementos de análisis. El mapa de actores constituye un insumo para realizar no sólo los estudios de línea de base, sino también para implementar instancias participativas, ya sea durante la evaluación de los impactos, para proponer medidas de gestión, construir indicadores de seguimiento y/o gestionar en forma participativa programas específicos de monitoreo, relacionamiento institucional y comunitario.

Componentes, procesos y enfoque del medio socioeconómico

Durante la elaboración de los estudios de línea de base, es recomendable que los especialistas sociales trabajen en forma integrada con los equipos del medio físico y de biodiversidad, así como también con los técnicos que realizan el diseño de ingeniería (ingenieros, hidrólogos, etc.) favoreciendo instancias de intercambio sobre las condiciones, tendencias y posibles interrelaciones del medio receptor en su totalidad, en función de no generar un trabajo compartimentado de los impactos del proyecto.

Un aspecto prioritario en la línea de base es poder identificar quiénes son los afectados por el proyecto hidroeléctrico (Gómez *et al.*, 2014), siendo un insumo fundamental para la evaluación de impactos, la aplicación de la jerarquía de mitigación, y el diseño de los programas de monitoreo y otras medidas de gestión ambiental. La práctica más aceptada es que se considere como afectados directos no solamente a las personas que serán reasentadas en el área de inundación del embalse (en caso que corresponda), sino también a aquellas que ven afectadas sus modos de subsistencia y/o actividades económicas y socioculturales (CMR, 2000; CFI, 2002).

Como orientación general, la línea de base debe ser elaborada teniendo presente los potenciales impactos significativos del proyecto hidroeléctrico a evaluar y sus actividades, bajo un enfoque dirigido. En efecto, cuando se han intentado conceptualizar los impactos sociales derivados de los aprovechamientos hidroeléctricos se han identificado más de 80 variables a ser consideradas (Sánchez, 2013; Kirchherr & Charles, 2016).

Entre los impactos a tener presente se destacan aquellos derivados de la gran cantidad de mano de obra requerida, y los cambios en la dinámica económica que provocan los proyectos de esta magnitud a nivel local y regional. En este sentido, el planteamiento es amplio en términos territoriales y no se restringe a los impactos esperados en la zona a inundar, la pérdida de la posesión o tenencia de la tierra, sino que reconoce las afectaciones aguas abajo del proyecto hidroeléctrico. Los impactos aguas abajo pueden estar vinculados a la pérdida de capacidades productivas, al acceso a recursos naturales o a fuentes de ingreso, entre otros (Gómez *et al.*, 2014; MAB, 2013), lo cual implica un mayor esfuerzo en el relevamiento de datos de nivel primario y en los procesos de consulta a la población. En todos los casos, las metodologías y el alcance de los datos relevados deben ser coherentes con la magnitud del proyecto.

En este sentido, los componentes, aspectos y procesos que se describen a continuación deben ser considerados como orientativos, dejando en claro que el esfuerzo en el relevamiento y análisis será mayor en función de la complejidad socio-territorial del proyecto hidroeléctrico, siendo los casos prioritarios aquellos que requieran reasentamientos, ya sea en términos de desplazamiento físico y/o afectaciones económicas y/o culturales.

Dinámica poblacional

Como primer abordaje, se identifica la o las provincias, departamentos/partidos, localidades urbanas y rurales, población rural dispersa y comunidades originarias, que se encuentren en el área de estudio del proyecto. Se debe caracterizar su distribución geográfica, cantidad estimada según censos nacionales o provinciales, estructura poblacional (por edad y sexo teniendo además en consideración la población pasiva transitoria, la población activa y la población pasiva definitiva), crecimiento vegetativo, saldo migratorio, crecimiento poblacional, tasa de crecimiento medio anual intercensal y la composición de la población, indicando siempre la fuente de información de donde se extraen y analizan los datos.

Se deben analizar procesos migratorios y sus características cualitativas y cuantitativas, así como también la interrelación a escala regional: distancia, características e interrelaciones entre las localidades urbanas y rurales más cercanas al área del proyecto.

En caso de reasentamientos, si bien en una instancia inicial se realiza una aproximación a la cantidad y caracterización de familias afectadas, cuando se considere que el reasentamiento

es inevitable se deben realizar censos específicos, cuyos requerimientos y buenas prácticas se detallan en el apartado correspondiente.

Dinámica social

Analizar percepción, posicionamientos y generación de expectativas sobre el proyecto. Identificar grados de cohesión social y niveles de organización, considerando actores clave, recursos y dinámicas. Identificar minorías y grupos vulnerables, tales como jóvenes, ancianos o minorías culturales. Incluir características culturales y religiosas de la comunidad local. Analizar niveles de conflictividad y tendencias de los actores sociales clave en relación al proyecto. Identificar disponibilidad y acceso a los medios de comunicación, así como los medios predominantes.

Condiciones socioeconómicas

Se deben especificar las principales características de los diferentes sectores de la economía (sector primario, secundario, terciario y cuaternario) que tienen injerencia en el área de influencia.

Caracterizar la población económicamente activa (identificando niveles de empleo y desempleo), población económicamente inactiva, pobreza e indigencia, necesidades básicas insatisfechas (NBI), grupos en situación de vulnerabilidad, desagregando aquellos grupos que están potencialmente expuestos. También, debe especificarse el nivel de empleo en los diferentes sectores de la economía (sector primario, secundario, terciario y cuaternario). Transversalmente, se deben analizar aspectos de género, desagregando las categorías antes mencionadas para su análisis diferenciado, con el objetivo de identificar riesgos, oportunidades y condiciones para una participación efectiva en procesos de consulta a actores clave.

Identificar características socioeconómicas de la población rural dispersa, incluyendo medios de subsistencia³¹, actividades tradicionales, usos del recurso hídrico y el suelo, así como las tendencias de desarrollo.

En función de maximizar los beneficios del proyecto, enfocar la información relevada sobre las condiciones socioeconómicas en las posibilidades efectivas de creación de empleo directo e indirecto, realizando un diagnóstico de posibilidades de contratación de mano de obra local, así como un relevamiento de proveedores, industrias, comercios locales y regionales, para incorporar a la cadena de suministros.

Se deben especificar los usos consuntivos y no consuntivos del agua, tanto aguas arriba y aguas abajo del proyecto, para las distintas actividades y servicios socioeconómicos.

Se deben especificar las actividades turísticas, tanto actuales como de desarrollo potencial, que podrían darse, especialmente aquellas asociadas al uso del embalse.

Pueblos originarios y comunidades

Identificar comunidades y pueblos de pertenencia, distribución espacial, cantidad y estructura poblacional, antecedentes históricos. Caracterizar estructura/dinámica social, cosmovisión y prácticas culturales. Analizar niveles de representatividad y organización social, de manera tal de identificar necesidades y requerimientos para consultas y procesos participativos (consulta previa, en el marco del Convenio OIT).

Identificar también las actividades y medios de subsistencia, en relación al medio, los modos de alimentación y prácticas culturales vinculadas a recursos naturales, el uso del suelo, y la relación con el curso de agua afectado.

En relación al patrimonio cultural es importante identificar y georreferenciar la existencia de enterratorios (cementeros indígenas) en el área del proyecto, así como aquellos lugares donde se realicen prácticas y tradiciones culturales (sitios sagrados o de relevancia cultural para la comunidad), y la cosmovisión asociada, de manera tal de evitar impactos sobre estas áreas.

Vivienda e inmuebles

Identificar tipología, calidad de los materiales y servicios de las viviendas. Indicar cantidad estimada de habitantes por vivienda-predio, y posibilidades de mejoras en los predios (galpones corrales, etc.).

Identificar la modalidad de tenencia o posesión de la vivienda y/o del terreno. Caracterizar actividades económicas en los inmuebles afectados por potenciales reasentamientos. Analizar el mercado de tierras de la región, para evaluar potenciales compensaciones por afectación de inmuebles.

Servicios públicos e infraestructura

Georeferenciar la fuente y sistemas de abastecimiento y potabilización del agua para consumo humano y usos productivos, existencia de líneas de transmisión y/o tuberías y ductos, que puedan ser interrumpidos por las actividades del proyecto. Identificar sistemas de recolección y tratamiento de efluentes, gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos y residuos peligrosos.

Analizar cobertura y condiciones del servicio energético, con el objetivo de identificar potenciales beneficios a la población local.

³¹ Los medios de subsistencia abarcan a toda la variedad de medios que los individuos, las familias y las comunidades utilizan para sustentarse, como ingresos salariales, agricultura, pesca, pastoreo, otros medios de subsistencia basados en los recursos naturales, comercio pequeño y trueque (BM, 2017, p. 105)

Identificar instalaciones de almacenamiento de combustibles. Caracterizar sistemas de comunicación, incluyendo tipos de transmisión (cable o inalámbrica). Identificar ubicación de torres y servicios de antenas (en caso de corresponder). Releva y analizar otros proyectos de infraestructura ya sea emplazados, en curso o proyectados, tales como infraestructura de riego, obras hídricas, entre otros.

Analizar servicios de seguridad pública y cobertura en relación a tasas de criminalidad locales.

Dada la gran cantidad de mano de obra que se espera en la etapa de construcción, en general en lugares remotos o aislados, se debe identificar la capacidad de los servicios públicos para receptor la demanda ante un nuevo asentamiento poblacional: el campamento de obra. Si bien este campamento suele contar con lugar para alojamiento, enfermería, mercados y demás, los servicios de las poblaciones más cercanas pueden verse afectados positiva o negativamente (crecimiento o sobrecarga).

Transporte, conectividad y vías de acceso

Identificar vías y condiciones de circulación vehicular, para transporte particular, público, de carga y maquinarias, así como la ubicación y condición de rutas y caminos existentes, ferrocarriles, pistas de aterrizaje, aeropuertos, programas de mantenimiento. Otra infraestructura de transporte si es aplicable, como rieles, acueductos y puentes.

Para el transporte público identificar características, tiempos, costos, infraestructura asociada.

Analizar patrones de tráfico, capacidad de carga de rutas en los alrededores afectados por el proyecto, niveles de seguridad vial y problemas actuales de circulación (en escenario sin proyecto).

Analizar conectividad con áreas relevantes desde el punto de vista económico-productivo y migratorio de la región, núcleos poblacionales y/o instituciones de interés social y cultural. Se debe enfocar este análisis en evitar o minimizar los posibles impactos negativos del proyecto, tales como cortes, restricción de accesos, demoras, identificando vías de acceso alternativas, necesidades ante interrupciones temporales, entre otras.

Salud

Identificar presencia de enfermedades en el área de estudio del proyecto, incluyendo las fuentes de datos y la metodología utilizada para recopilar y analizar los datos. Analizar epidemiología respecto de enfermedades de origen hídrico (ver: apartado de afectación de la calidad del agua). Analizar riesgos de generación de vectores y efectos sobre la salud de la población, en las condiciones sin proyecto.

Identificar condiciones de salud y tradiciones/dinámicas culturales, en relación a la seguridad alimentaria. Analizar las condiciones de

la salud sexual y reproductiva de la población, considerando un enfoque de género.

Analizar las características de infraestructura local de salud, cobertura y distancia relativa respecto a la población y el área de estudio del proyecto, incluyendo nivel de servicio de emergencia, atención primaria y acceso a clínicas, médicos y nivel de complejidad de hospitales.

Identificar presencia de adicciones que pudieran aumentar con la afluencia de trabajadores (por ejemplo: drogadicción, alcoholismo, adicción al juego, tabaquismo, entre otras). Caracterizar prácticas existentes para la evaluación de la salud ocupacional.

Género

El enfoque de género debe ser considerado en forma transversal al análisis del medio socioeconómico, incluyendo la perspectiva de la igualdad y la diversidad.

Identificar roles, división del trabajo y actividades, acceso a recursos naturales, culturales y económicos, desagregando en varones y mujeres de manera diferenciada. Analizar niveles y mecanismos de representatividad, acceso a instancias de decisión y posiciones de liderazgo.

Identificar niveles educativos y oportunidades de desarrollo, tanto a nivel laboral como de capacitación, de las mujeres en el área de estudio.

Teniendo en cuenta los desequilibrios demográficos que se producen temporalmente por la afluencia de trabajadores en la etapa de construcción, en el cual la cantidad de hombres es mucho mayor que la de mujeres, analizar aspectos de género, en relación a su potencial afectación (violencia, discriminación a minorías, salud sexual y reproductiva).

Educación

Analizar niveles de educación alcanzados en la población local y regional, incluyendo tasas de alfabetización y porcentajes de deserción escolar. Desagregar y analizar condiciones y acceso por edad y género.

Caracterizar el sistema educativo: identificar localización y condiciones de establecimientos por nivel educativo, gestión pública o privada, formal o informal, cantidad estimada de población en edad escolar, niveles de acceso de la población urbana y rural.

Analizar niveles de educación alcanzados en relación a los empleos requeridos por el proyecto a lo largo de su ciclo de vida, sin limitarse a aquellos empleos necesarios en la etapa de construcción, sino también a los puestos generados durante la operación.

Reasentamientos de población y actividades económicas

En líneas generales, se entiende por reasentamiento al proceso de desplazamiento y reubicación que involucra tanto a poblaciones humanas como a sus actividades económicas o medios de subsistencia, como resultado de la afectación de tierras para un proyecto de infraestructura, en este caso el proyecto hidroeléctrico. Se trata del aspecto más complejo y sensible que puede ser generado por un aprovechamiento hidroeléctrico.

Si bien no todos los proyectos hidroeléctricos implican desplazamiento de población, en caso de que así sea, se debe contar con un plan de reasentamiento³², que puede formar parte del mismo EsIA; o bien, dependiendo de la complejidad y tamaño del reasentamiento, se realiza un Plan de reasentamiento en forma paralela al desarrollo del EsIA. Para comenzar los estudios de línea de base se debe tener en claro que se ha realizado previamente la evaluación de alternativas para eliminar o disminuir al mínimo, la necesidad de reasentamiento. Sobre este aspecto, a nivel internacional se han establecido salvaguardas y requerimientos específicos³³, en particular el Banco Mundial (2017) en su nuevo estándar ambiental y Social N° 5 (ex “OP 4.12 sobre reasentamiento involuntario”), el Banco Interamericano de Desarrollo en su “OP-710: Política operativa de reasentamiento involuntario”, la Corporación Financiera Internacional (IFC) a través de la “Norma de Desempeño 5” de los Principios de Ecuador.

Existen distintos tipos de reasentamientos, entre los cuales se destacan aquellos en los que predomina el desplazamiento físico o el desplazamiento económico. Se denomina generalmente *desplazamiento físico* a la pérdida de la vivienda y de bienes que requiere el traslado de las personas afectadas a otro lugar; y *desplazamiento económico* a la pérdida de corrientes de ingresos o medios de subsistencia o la obstrucción del acceso a recursos (suelo, agua, bosques) a causa de la construcción o el funcionamiento del proyecto o sus instalaciones asociadas (CFI, 2005).

El concepto de reasentamiento no refiere únicamente al desplazamiento, sino que implica también el proceso de reubicación y adaptación al nuevo lugar, llevado a cabo a través del plan de reasentamiento hasta permitir restablecer las condiciones socioeconómicas de los

afectados y mejorarlas cuando sea posible. Las buenas prácticas a nivel internacional indican que, en todos los casos, se debe excluir la opción que se limita a expropiaciones con compensación pecuniaria meramente, enfoque que actualmente se considera (Sanchez, 2013), privilegiando el reasentamiento planificado.

En este sentido, el reasentamiento de población es un proceso complejo con efectos multidimensionales: físicos, legales, económicos, sociales, culturales, psicológicos, ambientales, político-administrativos y territoriales (BM, 2011).

En caso de ser considerado como inevitable, el reasentamiento debe ser entendido como una oportunidad para mantener o mejorar los niveles de vida de las personas afectadas. Por lo tanto, el Plan de reasentamiento debe organizarse en función de esta premisa y, consecuentemente, la línea de base debe detectar las necesidades y oportunidades de mejora de la población considerando sus costumbres y tradiciones culturales a través de un proceso participativo.

La línea de base y la posterior identificación y gestión de impactos se debe realizar en forma diferenciada según el grupo de personas afectadas (SEA, 2014), profundizando el análisis de población e infraestructura para los tres grupos de población afectados: la población a reasentar, la población afectada que no es necesario reasentar, la población de las áreas de recepción de reasentamiento.

A su vez, dentro de cada unidad de análisis se debe identificar a los grupos en situación de vulnerabilidad³⁴, con el objetivo de analizar y mitigar potenciales impactos negativos del proceso de reasentamiento (BM, 2001). Por ejemplo, para evitar riesgos de empobrecimiento, se recomienda identificar las actividades comerciales y productivas existentes, de forma tal de reproducir las condiciones y elaborar estrategias de inserción en el nuevo entorno con la población receptora.

Respecto a la relación entre la información primaria y secundaria, los registros oficiales (información catastral, por ejemplo) se pueden utilizar como punto de partida, pero los datos disponibles en ellos necesitan ser complementados y verificados con trabajo de campo, a través de censos y estudios socioeconómicos específicos³⁵.

³² También conocidos como Plan de Acción de Reasentamiento (PAR) o un Plan de Restablecimiento de Medios de Subsistencia (PRMS), en el marco de las Marco de Gestión de Riesgo Ambiental y Social que sigue los lineamientos del Banco Mundial (MEyM-2018).

³³ Banco Mundial es el primer organismo internacional que establece una política de reasentamiento como requisito para financiar proyectos. La primera versión de 1980, fue actualizada y revisada en 1986 y 1990 fruto del análisis sociológico de la implementación de su propia política, siendo las obras hidroeléctricas la mayor cantidad de proyectos con requerimientos para reasentamientos (Cernea, 2001). La última actualización de Banco Mundial para su política fue en 2017 con el nuevo Marco Ambiental y Social.

³⁴ Se denomina así a aquellos grupos de personas o sectores de la población que, por razones inherentes a su condición o identidad, se ven privados del pleno goce y ejercicio de sus derechos fundamentales y de la satisfacción de sus necesidades específicas (SDHyPC, 2011). Estos grupos “puedan verse afectadas más que otras por el reasentamiento y cuya capacidad para efectuar reclamos o aprovechar la asistencia para el reasentamiento y los beneficios del desarrollo conexos pueda ser limitada” (SEA, 2014, p. 37).

³⁵ Si bien existen diferencias de criterios respecto a qué momento del ciclo de proyecto debe realizarse el censo de hogares, para proyectos que contemplen adecuación a estándares internacionales, se considera un requisito a cumplir como parte del Plan de Reasentamiento (sea como parte del Plan de gestión Ambiental o como Plan independiente al EsIA). Como referencia de países de la región, en Brasil para proyectos de aprovechamientos hidroeléctricos se requiere un censo específico como requisito para la obtención de la Licencia Previa, conforme lo establecido en la Portaria Interministerial N° 340 de 2012 (Disponible en: http://www.lex.com.br/legis_23388634_PORTARIA_INTERMINISTERIAL_N_340_DE_1_DE_JUNHO_DE_2012.aspx). En el caso de Chile, el Servicio de Evaluación Ambiental cuenta con una guía específica sobre Reasentamiento de Comunidades Humanas, donde se aborda como un componente más de la evaluación de impacto ambiental: allí se detalla que se requiere del “análisis de información censal” y estudios específicos para la línea de base de todo proyecto que requiera reasentamiento (SEA, 2014, pp.20-21).

En particular, los datos del censo deben estar sistematizados en un SIG³⁶, involucrando a todas las personas que residen o tengan derechos sobre los inmuebles afectados, cualquiera sea su condición jurídica (EBRD, 2017; MGRAYs; 2018), es decir, incluyendo los inmuebles en situaciones informales (ocupación, asentamientos precarios), donde se incluya como mínimo:

- » **parcelas, bienes y activos afectados**, con información sobre el uso del suelo, descripción de las viviendas y estructuras conexas, así como toda otra mejora o característica particular que podría ser afectada (por ejemplo, tranqueras, alambrados, reservorios de agua, etc.) (MEyM, 2018, p.236).
- » principales **estructuras ubicadas en cada parcela**, su propósito (residencial o comercial), tamaño del área y situación legal, estado, ya sea formal o informal.
- » **principales características demográficas, habitacionales, sociales y económicas** de propietarios y residentes del área afectada por el proyecto. En relación a estos aspectos debería incluir a nivel de hogar: grupos familiares y relaciones familiares; cantidad de integrantes; género, edad, discapacidad o movilidad reducida de los integrantes; personas que requieren atención médica especial; comercio o actividad productiva en la vivienda; ingresos por grupo familiar; mascotas y animales vinculados con la forma de trabajo o producción de alimentos para el hogar; instituciones educativas o de educación no formal, centros de salud, comedores, instituciones deportivas, culturales a las que concurren los integrantes del hogar; redes vecinales y sociales haciendo hincapié en redes de soporte para el cuidado de niños y de ancianos; tipo de vivienda según régimen de tenencia (ACUMAR, 2017, p. 25).
- » **criterios claros** para establecer quiénes accederán a los **derechos** de reposición, compensación, indemnización, mejoras, u otros beneficios, etc. según el tipo de afectación y las fechas de corte o límite que darán lugar a dichos derechos, para desalentar especulaciones y el arribo de nuevos grupos a las áreas que deberán ser liberadas para las obras.
- » **usuarios de cada parcela y las estructuras u otros activos**, y en caso de uso informal, indicando si es con o sin el conocimiento y aprobación del propietario. Incluir un estudio de valuación de activos afectados, así como un estudio de títulos de los inmuebles afectados que permita identificar a los titulares de derechos de propiedad y conocer la diversidad de situaciones jurídicas existentes.
- » **personas que serán desplazadas económicamente** por el proyecto y de qué manera, como los usuarios estacionales de la tierra, usuarios de caminos de trashumancia, usuarios que vean afectado el acceso a recursos, trabajadores de empresas afectados, entre otros.
- » en casos de desplazamiento económico, identificación de **empresas y/o comercios afectados**, tipo de actividad comercial (formal o informal), cantidad de empleados, ganancias mensuales y salarios de empleados.

» **calendarios económicos y sociales** a tener en cuenta, como por ejemplo, el ciclo escolar, o, en zonas rurales, el ciclo agrícola o los períodos de veranada-invernada con el fin de programar instancias participativas y sus consecuentes momentos de la reubicación que minimicen el impacto en las actividades anuales de los afectados.

Es importante tener en cuenta que las categorías de datos para el armado del censo varían de un proyecto a otro, dependiendo del sitio de implantación y los requerimientos específicos (normativos o de adecuación a estándares internacionales) a los que el proyecto deba ajustarse.

Por otro lado, al realizar el trabajo de campo (censo), se recomienda realizar también las encuestas socio-económicas necesarias, y/o entrevistas a actores clave, de forma tal de evitar la duplicación de esfuerzos y reducir el número de visitas a los hogares. Para esto, no solamente se debe comunicar la actividad en forma anticipada sino que se deben tener en cuenta en la planificación los horarios de presencia y ausencia de los pobladores, aspectos de género que puedan condicionarlos, considerando también posibles actividades estacionales, y otras particularidades que garanticen la presencia de las personas cuando se lleva a cabo la actividad.

Por último es aconsejable que durante la realización del censo participen veedores, defensores, asesores técnicos de los pobladores afectados y otros técnicos que garanticen la “transparencia en su ejecución, (...) la veracidad de la información relevada y la responsabilidad del tratamiento de los datos” (ACUMAR, 2017, p. 25). Es también fundamental contar con instancias de revisión de la información por parte de los afectados y presentar la documentación que acredite cada una de las instancias de validación.

Patrimonio cultural y natural

A los fines de una correcta caracterización del patrimonio cultural y natural, se deben identificar las diferentes figuras de protección de acuerdo a las tipologías que la normativa determina, que pueden estar presentes en el área de estudio del proyecto hidroeléctrico.

Patrimonio Mundial

La Convención de 1972 para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural establece que ciertos lugares de la Tierra con un *valor universal excepcional* pertenecen al patrimonio común de la humanidad. En ese marco, incumbe a cada Estado Parte de la Convención identificar y delimitar qué componentes encuadran en el marco de la convención.

Protección de Monumentos, de Lugares y de Bienes Históricos

La Ley N°12.665 y la posterior Ley N°27.103 establecen bajo su órbita de protección a los monumentos, lugares y bienes protegidos, que sean de propiedad de la Nación, de las provincias, la CABA o de los municipios, quedando sometidos a la custodia y conservación del

³⁶ Utilizando (X, Y, Z de cada punto) coordenadas geográficas y la altura sobre el nivel del mar (cota).

Estado nacional y, en su caso, en concurrencia con las autoridades locales. La autoridad de aplicación del presente marco es la Comisión Nacional de Monumentos, de Lugares y de Bienes Históricos.

Protección del Patrimonio Paleontológico y Arqueológico

Deben identificarse la presencia de patrimonio cultural y/o natural en las zonas a ser impactadas por el proyecto. Las tareas que se realicen a ese efecto deberán ser autorizadas y aprobadas por la autoridad de aplicación jurisdiccional (Decreto N°1022/04). La metodología para llevar a cabo línea de base arqueológica y paleontológica deberá cumplir los procedimientos legales y protocolos que le sean aplicables al área de estudio en el marco de la Ley N°25.743 y de las normativas locales.

A los fines de realizar una correcta caracterización en materia de patrimonio natural y cultural del área del proyecto se recomienda realizar tareas tanto de gabinete como de campo.

Entre las principales tareas a llevar a cabo durante la realización de la línea de base para el componente patrimonio cultural, se encuentran el relevamiento de información bibliográfica del área de estudio y solicitud de informes a los registros e instituciones nacionales y provinciales con competencia en la materia; la realización de entrevistas a referentes especialistas y residentes locales; la elaboración de cartografía en base a los puntos relevado; la identificación de sitios de valor patrimonial detectados y georreferenciación; la identificación de afectaciones al patrimonio que sean preexistentes al Proyecto; la elaboración de protocolos de actuación ante hallazgos fortuitos para la realización de prospección; la prospección extensiva e intensiva (elaboración de cartografía a escala para cada una de las etapas, y registro fotográfico y de video).

Es importante, coordinar las tareas con la autoridad competente en materia de patrimonio en la jurisdicción, conforme el marco normativo de aplicación, quien determina las tareas permitidas, si se recuperará o no el material en las distintas etapas del proyecto, los criterios de selección, y cuál será su destino final para garantizar su salvaguarda. También se deberán coordinar las tareas de capacitación en la obra para todos los involucrados, con el fin de concientizarlos sobre la existencia de vestigios y restos patrimoniales que pudieran constituir hallazgos fortuitos durante los trabajos. Es fundamental, para garantizar su salvaguarda, establecer procedimientos claros de cómo proceder ante estos hallazgos.

Paisaje

El análisis de los efectos provocados sobre el componente paisaje es importante en el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, ya que se introducen modificaciones significativas al mismo por la propia construcción del embalse y la consecuente formación de un cuerpo de agua de carácter artificial. En ese sentido, es relevante su abordaje en la elaboración de la línea de base del área de estudio.

El paisaje puede definirse como "cualquier parte del territorio tal como lo percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la

acción y la interacción de factores naturales y/o humanos", siguiendo el Convenio Europeo del Paisaje (2000). Por su parte, una zona con valor paisajístico es aquella que "siendo perceptible visualmente, posee atributos naturales que le otorgan una calidad que la hace única y representativa" (SEA, 2019).

El diagnóstico del componente paisaje tiene entonces este carácter integral entre los aspectos subjetivos (de valoración) y objetivos (biofísicos) del entorno, asociado también a la calidad de vida y el bienestar de la población. Cabe destacar que precedentemente, en el apartado del medio biótico de esta guía, el reconocimiento del paisaje se aborda desde un enfoque ecológico, considerando un sistema de reconocimiento integrado (características abióticas y bióticas), que toma en cuenta escalas de caracterización, desde un nivel más amplio, ecorregional, a un nivel más específico, homogéneo de suelo y vegetación. Ahora bien, el paisaje también debe ser abordado desde el punto de vista de la percepción y valoración de los atributos paisajísticos, intrínsecamente vinculados a los usos, identidades y valoraciones visuales.

En el EsIA el paisaje suele ser abordado en un capítulo específico, o bien, dependiendo del sitio de implantación, realizando un análisis integrado al componente Patrimonio.

Para realizar la valoración del paisaje en su estado sin proyecto se requiere de un análisis integral. Existen varias metodologías para realizar esta valoración, entre ellas, el método de Fines (modificado por Codina, 2001), el método propuesto por el Servicio de Evaluación Ambiental de Chile (2019; 2016); o los métodos de valoración económica, que incluyen valor de uso y de no uso. Los distintos métodos coinciden en el establecimiento de criterios para otorgarle valor al paisaje, siendo bajo, mediano y alto las categorías generales más utilizadas.

En las zonas con valor paisajístico medio y alto, el paisaje representa un recurso desde el punto de vista económico, cultural y ecosistémico, en relación a las actividades turísticas, recreativas y sociales (que incluyen calidad de vida e identidad), las cuales pueden verse afectadas directa o indirectamente, cuando el proyecto obstruye la visibilidad, o altera alguno de sus atributos.

El diagnóstico de línea de base deberá relevar una serie de elementos, que van a modificarse y adaptarse en función de la ubicación del proyecto, entre ellos:

- » Niveles de eco región, subregión y complejo ecosistémico. Complementar su reconocimiento con información bibliográfica y realizar representación cartográfica.

- » Identificación y descripción de los atributos visuales biofísicos, incluyendo los principales factores geográficos que condicionan y caracterizan el paisaje como clima, tipo de suelo, vegetación, geomorfología, fauna, ocupación humana histórica, describiendo su distribución espacial en el área de estudio. Carácter local y del entorno de las construcciones (materiales, colores) y de la

vegetación (nativa e implantada). Cuando sea relevante, identificar el valor de la vegetación como una pantalla visual.

- » Cursos de agua asociados al área de estudio del proyecto y otros elementos biofísicos que contribuyan al valor paisajístico del área.
- » A partir de los elementos anteriores identificar unidades o áreas homogéneas de paisaje.
- » Localización de la infraestructura propuesta para el proyecto y su representación en planos y mapas. Describir las razones para la ubicación propuesta de las infraestructuras permanentes y campamentos y asentamientos temporarios.
- » Usos del suelo existentes, incluyendo planes de ordenamiento territorial, en caso de corresponder. Elementos dentro del área de estudio del proyecto y su entorno, que contribuyan a la calidad del paisaje, considerando los potenciales proyectos que se incluyan

en los planes de desarrollo estratégicos locales o en cualquier otro instrumento similar de planificación territorial del gobierno.

- » Determinación de puntos de observación. Principales perspectivas, vistas, puntos de referencia (topográficos o construidos) y otras características del paisaje existente que contribuyan al valor paisajístico del área. Es importante que la cantidad y ubicación de los puntos de observación estén debidamente justificados.
- » Desde los puntos de observación valorados como más relevantes, identificar la cuenca visual, entendida como "la porción de terreno visible desde un determinado punto de observación" (SEA, 2019, p. 23). El método clásico para obtener la cuenca visual consiste en trazar perfiles del terreno cada cierto ángulo, determinando en ellos los puntos vistos y no vistos. Una vez unidos estos puntos, entre "rayos" consecutivos se obtienen zonas vistas y zonas de sombra, obteniendo de esta manera la cuenca visual.

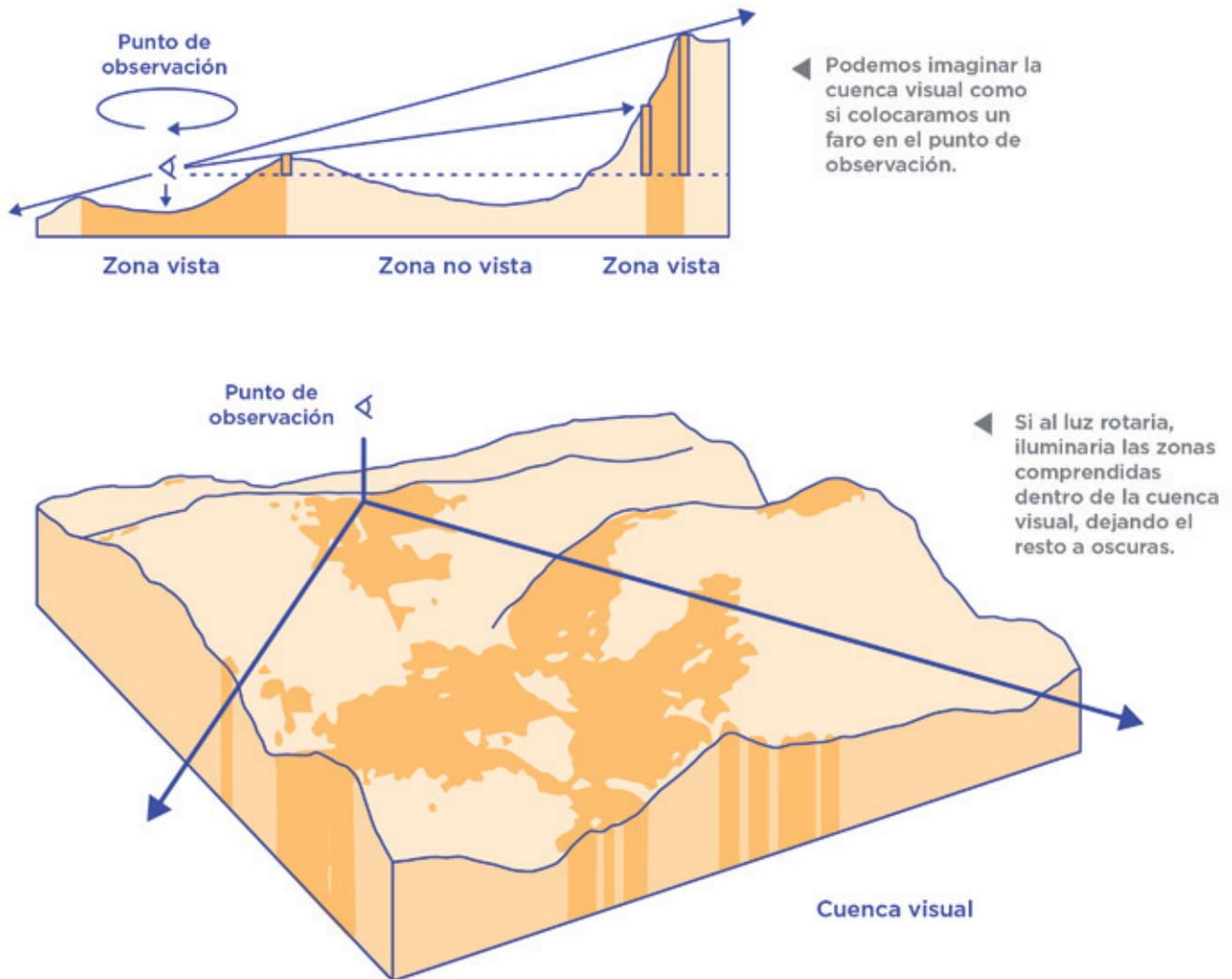


Figura 4.13. Identificación de la cuenca visual. Fuente: Castelli y Sapallasso, 2007.

9. Análisis de impactos ambientales

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 63).

A los fines de esta guía, se prioriza a continuación el abordaje de los principales impactos que un proyecto hidroeléctrico puede producir sobre el medio receptor, excluyendo la descripción de aquellos que resultan comunes a otras tipologías de proyectos, para lo cual se puede consultar la Guía para la elaboración de EsIA (SAyDS, 2019a, p. 63). La selección se efectuó a partir del análisis de las principales guías de referencia internacional (IFC, 2015; WCD, 2001; WB, 2003; IHA, 2010) y el criterio experto del equipo redactor.

Se presenta cada tema desde un análisis integral de los componentes del medio receptor, considerando los impactos directos, indirectos y acumulativos, con una mirada holística e interdisciplinaria.

Medio físico

Impactos asociados al cambio climático

En este apartado del EsIA se debe analizar la relación del cambio en el potencial hidroeléctrico como consecuencia del cambio climático, así como el potencial impacto en la infraestructura por el aumento del riesgo de desastres naturales.

Frente a los escenarios estimados de variación del clima, uno de los aspectos clave a tener en cuenta son las medidas de adaptación del proyecto a los impactos de variabilidad climática sobre los recursos hídricos, que deben estar contempladas desde fases temprana de diseño, en lo que actualmente se conoce como infraestructura resiliente. Estas consideraciones se integran a la evaluación de alternativas de diseño y de localización.

En relación a la Contribución Nacional Argentina al Cambio Climático (NDC), se debe señalar si el proyecto se vincula con la medida de mitigación al cambio climático M103ab, "Generación Hidroeléctrica" propuesta en la NDC sobre la generación de electricidad a partir de recursos hídricos de gran escala (>50 MW). En función de las características de vegetación del área a inundar, deben realizarse estudios de modelación de emisiones GEIs producto de la descomposición de la biomasa, a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La evaluación de la contribución del proyecto a la mitigación de GEIs frente a otras tipologías de proyecto energético de fuente fósil, son valoraciones comparativas que suelen formar parte de la etapa de idea de proyecto, y debe ser incorporada en el EsIA.

En términos generales, se puede inferir que el cambio climático puede incidir en un proyecto hidroeléctrico, por la afectación en los

regímenes pluviales, nivales y de aguas subterráneas, y por ende la afectación en la infraestructura, debido al aumento de riesgo de factores climáticos extremos (figura 4.14). Si bien esta casuística no está claramente definida, suponen una serie de potenciales riesgos que el proyecto deberá considerar en su diseño y ubicación.

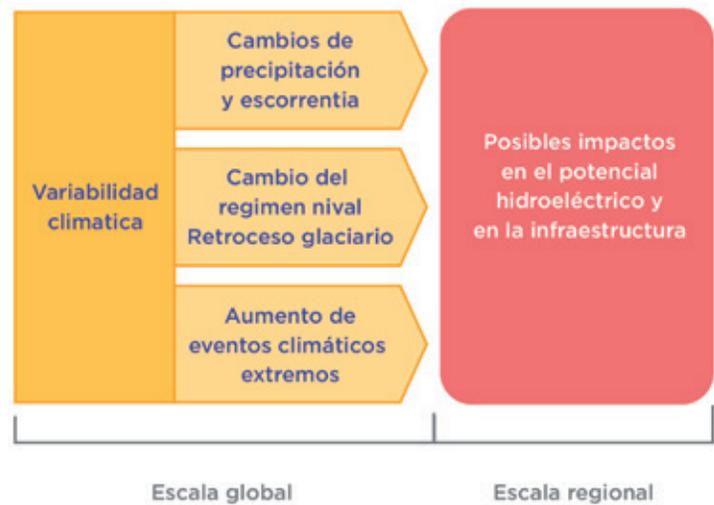


Figura 4.14. Esquema de la influencia del cambio climático en el potencial hidroeléctrico e infraestructura. Fuente: elaboración propia.

Impactos del cambio climático en los recursos hídricos y potencial de energía hidroeléctrica

El potencial hidroeléctrico depende de la topografía y del volumen, variabilidad y distribución de la escorrentía. Los cambios en el flujo de los ríos dependen principalmente de los cambios en el régimen pluviométrico, su interacción con las aguas subterráneas (infiltración, descarga) y, en determinados casos, de los ciclos estacionales de deshielo.

Cambios en la escorrentía: los cambios en la temperatura y el régimen pluviométrico en el área de captación, puede impactar en el volumen, variabilidad y distribución del flujo de agua superficial, afectando el potencial de generación eléctrica. Por lo tanto, se deberá evaluar regiones donde se prevé aumentos y disminuciones de precipitaciones en función de los escenarios de posibles proyecciones climáticas futuras.

La mayoría de los estudios publicados sobre el efecto del cambio climático sobre la escorrentía (resumidos en el IPCC, 2007b9) utilizan un modelo hidrológico de cuenca basados en simulaciones de modelos climáticos (Kumar, 2011), sin embargo, actualmente se reconoce la dificultad de proyectar los datos de escenarios globales a escala regional de cuenca o local del proyecto, tema que se encuentra actualmente en investigación. La escala local puede tener diferentes respuestas que están determinadas por las propias características micro climáticas y pueden diferir de las tendencias observadas globalmente.

Para hacer predicciones cuantitativas precisas de los efectos regionales, es necesario analizar cambios en el flujo promedio y en la distribución temporal del flujo, utilizando modelos hidrológicos para convertir series temporales de escenarios climáticos en series temporales de escenarios de escorrentía.

Estudios disponibles en el marco del IPCC (2007b) no son concluyentes en relación a los efectos regionales, dado que se observaron efectos positivos y negativos en la producción de energía hidroeléctrica, principalmente después de los cambios esperados en la escorrentía de los ríos (Kumar, 2011). Por lo que existe incertidumbre en relación a las estimaciones cuantitativas de los efectos del cambio climático sobre el potencial de la energía hidroeléctrica.

Cambio en el régimen nival, deshielo y retroceso glaciar: en cuencas dependientes principalmente de regímenes nivales y ciclos de deshielo, así como de la dinámica estacional de los glaciares, cobra importancia estudiar los efectos de los cambios en la estacionalidad y los volúmenes de hielo y nieve. El aumento de la temperatura global podría aumentar la escorrentía invernal debido al reemplazo de nevadas por precipitaciones. Por el contrario, la escorrentía estival podría verse disminuida, ya que el pico de deshielo de primavera se adelantaría o desaparecería por completo (Kumar, 2011).

La corriente fluvial también puede verse afectada por el retroceso de algunos glaciares debido al calentamiento, en este sentido, se espera que los flujos de los ríos aumenten a corto plazo, pero disminuyan sustancialmente si los glaciares que los alimentan desaparecen (citado en: Kumar, 2011).

También es necesario analizar el riesgo hídrico que surge de la relación existente entre la susceptibilidad y amenaza a inundaciones y/o sequías, y la vulnerabilidad de la región del proyecto (ej. déficit hídrico, que puede incrementarse por aumento de la demanda del recurso para otros usos como consecuencia del cambio climático).

El análisis de escenarios en función de la disponibilidad del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo, es de vital importancia para la planificación en el uso futuro del recurso hídrico.

Impactos del cambio climático en la infraestructura: adaptación y capacidad de resiliencia

El aumento de los eventos extremos aumenta el riesgo de daño de infraestructura, así como de costos no previstos. Por ejemplo, un aumento de la carga de sedimentos puede dañar la turbina por abrasión y disminuir su eficiencia, así como aumentar los depósitos sedimentológicos que pueden afectar la capacidad de almacenamiento del embalse (Gallego-López et al, 2016). El diseño de la infraestructura debe tener en cuenta la adaptación a los impactos asociados a los eventos climáticos extremos repentinos (inundaciones, olas de calor) y a los de desarrollo más lento (sequías, aumento del nivel del mar, cambio de caudales, erosión del suelo).

En cuanto a las medidas de adaptación, es importante considerar que el proyecto evalúe y proponga medidas de monitoreo y control sobre:

- » Ubicación: identificar si existen en la zona de influencia áreas vulnerables a los efectos del cambio climático, e incluir en la evaluación ambiental las proyecciones de cambio climático y los potenciales efectos sobre el proyecto en cuestión, a fin de tomar medidas preventivas y definir los factores que se deben tener en cuenta para minimizar los riesgos.
- » Diseño de la infraestructura: evaluar los materiales, tecnologías y procesos a emplear para lograr la resiliencia de la obra, así como el mantenimiento de la misma, que es necesario para reducir el impacto de un clima en proceso de cambio sobre el proyecto. Incluir estas consideraciones a la infraestructura de generación, transporte y distribución de energía
- » Aporte del proyecto a la adaptación al cambio climático en el AI, teniendo en cuenta, entre otras consideraciones, la influencia del proyecto en el cambio de los caudales.

La resiliencia, también hace referencia a la capacidad de recuperación de los ecosistemas que podrán afectar y verse afectados por el proyecto.

La ONU define a la resiliencia como “la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a los peligros para resistir, absorber y adaptarse y recuperarse de los efectos de un peligro de manera oportuna y eficiente, incluso a través de preservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas esenciales” (citado en: Gallego-López et al, 2016).

En un proyecto hidroeléctrico es deseable que se evalúen desde fases tempranas las características de resiliencia de los ecosistemas en el AI, para evaluar los riesgos del proyecto frente al cambio climático.

También, es importante evaluar la contribución del proyecto en la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático o como evita introducir nuevos riesgos que pongan en peligro la capacidad de adaptación al cambio climático. Por ej. cómo el proyecto aporta a reducir los riesgos de inundación o cómo permite un sistema de provisión de energía más resiliente y confiable. Es importante prever que no se aumenten los riesgos asociados al cambio climático en el área de influencia.

Los estudios realizados deben permitir desarrollar indicadores específicos y una propuesta de medidas de gestión de impactos vinculados a la resiliencia del proyecto y las medidas de gestión generales.

Emisión de gases efecto invernadero (GEIs)

Los factores determinantes de GEIs se relacionan con el tipo de superficie, cantidad y tipo de biomasa que se vería inundada con la formación del embalse, la cantidad de carbono almacenado en el tiempo, la edad del embalse y la situación geográfica del emplazamiento.

La cantidad de carbono que quede bajo la cota de inundación, entrará en un proceso de descomposición, con la consecuente producción de GEIs. Estos efectos predominan mayoritariamente en zonas templadas y tropicales, en función de la cantidad de carbono orgánico almacenado en los suelos y la vegetación. No obstante, en algunas regiones frías donde pueden quedar inundadas turberas, con alto contenido de carbono orgánico, estos embalses pueden emitir GEIs durante períodos prolongados (Kelly *et al*, 1997).

Por otro lado, existen estudios (Dean y Gorham, 1998) que indicarían que los embalses pueden actuar como acumuladores de carbono orgánico. Según la IHA, las centrales hidroeléctricas tienen un impacto muy bajo e incluso positivo en el cambio climático, ya que los embalses secuestran importantes cantidades de carbono, absorbiendo un 2,5 % de las emisiones emitidas por el hombre (IHA, 2011).

Los proyectos hidroeléctricos que cubren una gran cantidad de biomasa deben desarrollar estudios para estimar la emisión de GEIs y evaluar su contribución a lo largo de su ciclo de vida. Son clave las etapas de llenado y la fase inicial de operación donde las emisiones liberadas asociadas al ciclo de fermentación, llegan a un pico máximo para luego descender a lo largo del tiempo. Estos estudios están vinculados a los de la calidad de agua y podrán generar información útil para estimar porcentajes adecuados de remoción de vegetación.

Impactos en la geología

Se debe evaluar los impactos sobre la geología y geomorfología, tanto aguas arriba como aguas debajo de la presa. Los principales

impactos asociados al medio geológico incluyen aquellos que se originan de la etapa de construcción, con los procesos de excavación para la construcción de las presas y obras complementarias; los que derivan del embalsamiento y aquellos que son efecto de los cambios hidrosedimentológicos propios de la etapa de desvío, llenado y operación de la presa (figura 4.15).



Figura 4.15. Esquema simplificado de las principales afectaciones de las presas en el medio geológico. Fuente: elaboración propia.

La implantación de una obra de gran magnitud y peso, como es una presa, y el consecuente volumen de agua que se almacena en el embalse y circula subterráneamente, generan presiones diferenciales sobre el terreno subyacente e inmediatamente circundante por lo que podría aumentar la ocurrencia de procesos geológicos tales como sismos inducidos, procesos de remoción en masa, entre otros.

Los fenómenos de remoción en masa (deslizamientos, subsidencias, caídas, avalanchas, entre otros) implican el movimiento descendente, lento o rápido, de un volumen de suelo, regolito (sedimento), roca, o ambos. El agua cumple un rol fundamental en el proceso de remoción, no sólo como agente de transporte sino como responsable de la disminución de la fricción entre partículas, entre otros. En zonas con precipitaciones intensas y pendientes elevadas, el efecto causado por el agua será mayor.

A diferencia de otras obras, un aprovechamiento hidroeléctrico atraviesa tres etapas críticas para la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa: la construcción, el llenado del embalse y la operación.

Durante la etapa de construcción de las obras, se realizan constantemente intervenciones que dejan expuesta gran cantidad de material susceptible a ser movilizado por diversos agentes erosivos (viento, agua, gravedad, entre otros). Consecuentemente, alteran la estructura y dinámica geomorfológica natural del

sitio. Muchas de estas actividades, como lo son la apertura y el acondicionamiento de caminos, el desvío del río, el emplazamiento de la central, la construcción de la propia presa y su vertedero, entre otras, frecuentemente requieren de excavaciones de grandes volúmenes de suelo y roca. Las intervenciones al terreno pueden provocar inestabilidades y favorecer la ocurrencia de procesos de remoción en masa (deslizamientos, caídas, avalanchas, etc.).

El llenado y formación del embalse, por otra parte, provoca cambios en el nivel freático. La progresiva inundación de las tierras del vaso puede provocar inestabilidad de laderas en el peligro del embalse y, por lo tanto, aumentar la probabilidad de derrumbes. Así, como ya fue mencionado anteriormente, una vez que el embalse se encuentre conformado, se modifica la presión interporal ejercida por el agua (presión hidrostática). Las oscilaciones del embalse producidas por la operación de la central, pueden contribuir a la desestabilización de las márgenes del embalse, sujetas a la alternancia de diferentes presiones. El riesgo potencial de remoción en masa durante la operación de la presa dependerá de la pendiente, naturaleza de los materiales involucrados que quedarán bajo agua y la magnitud de las precipitaciones.

La sismicidad inducida es el fenómeno por el cual se conoce al incremento en la actividad sísmica en el área de influencia del proyecto, siendo esta provocada por el aumento en la carga

hidrostática adicional que genera la presencia del nuevo embalse. El ingreso del agua embalsada en las grietas del vaso y los cambios en el nivel debido al funcionamiento de la presa, generan alteraciones en el equilibrio existente entre las estructuras geológicas. La sismicidad natural (según la zona de implantación de la obra), la geología regional y las dimensiones del embalse son características que influyen en la predicción de este fenómeno.

De existir procesos geológicos endógenos como la sismicidad y el vulcanismo en la región, los mismos no solamente podrían producir impactos significativos sobre las obras, sino también para el medio físico, natural y social en el que se insertan. El diseño del proyecto contempla la recurrencia de los eventos naturales importantes para el área. En caso de que la estabilidad de las obras pueda verse comprometida, las posibles afecciones en caso de una contingencia quedarán determinadas por el ordenamiento territorial de la cuenca aguas abajo.

Por otro lado, la instauración del embalse como un nuevo nivel de base local (figura 4.16) y las modificaciones en el régimen del río tendrán impactos en la morfometría del río y su dinámica. En particular, se podrá ver considerablemente modificada la tasa de erosión y sedimentación y la calidad fisicoquímica del agua, tanto aguas arriba como abajo de la presa. Como herramienta de análisis es conveniente plasmar las conclusiones de manera cartográfica, para poder visualizar aquellas áreas más vulnerables a modificaciones.

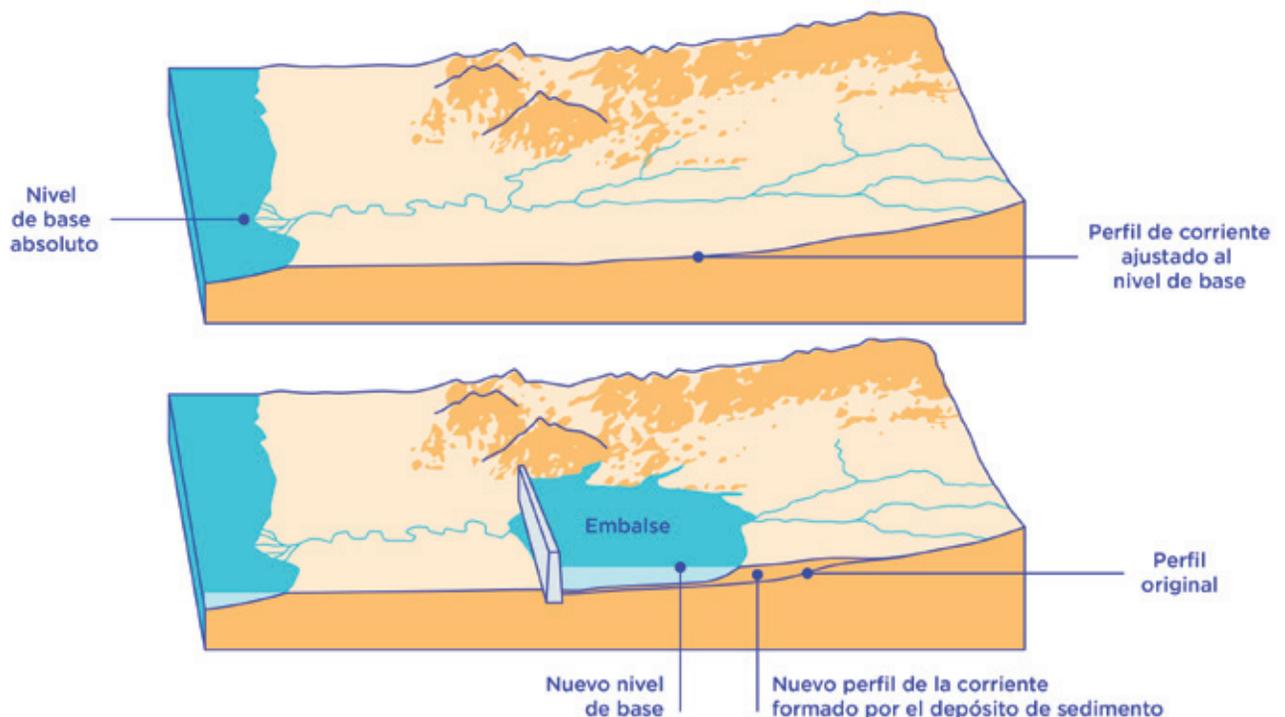


Figura 4.16. Modificación del nivel de base por formación de embalse. A. Nivel de base absoluto. B. Nuevo nivel de base. Fuente: Tarbuck y Lutgens, 2005.

Impactos asociados a los cambios hidrológicos y morfológicos del cauce. Afectación de la calidad del agua

Los proyectos hidroeléctricos producen alteraciones en la geomorfología e hidrodinámica del cauce. Para poder evaluar la significatividad de estos cambios es necesario identificar y valorar las consecuencias de los mismos en los receptores del ecosistema. A continuación, se señalan las principales modificaciones que surgen de las etapas de desvío y llenado, embalsamiento y operación de la presa en las características hidromorfológicas, hidrodinámicas y limnológicas del cauce (ver figura 4.17).

Los impactos serán más significativos si las desviaciones se realizan en estaciones con mayor pluviometría y régimen fluvial, o en las fases de vida de la biota acuática consideradas más sensibles.

La minimización de los efectos de los cambios de la dinámica de sedimentos sobre la biota aguas abajo, especialmente en las especies consideradas más sensibles, deben ser contemplados al momento de diseñar las estrategias de desvío, sin perjuicio de considerar las limitaciones que impone la reconducción de gran cantidad de caudal a elevadas velocidades, como operación crítica en cuanto a la seguridad de las obras.

Impactos por emplazamiento y operación de caudales

Efecto de variación del régimen del río aguas abajo, por la operación de la central: la calidad del agua erogada por la central, depende principalmente de su funcionamiento y de los procesos físico-químicos y biológicos que ocurran en el embalse. La modalidad de operación también puede significar cambios bruscos e incrementos fuertes del caudal, lo que puede traer aparejado alteraciones en la estructura de las comunidades macrobentónicas, afectación de áreas de desove y cría de peces. Los pulsos de erogación consecuentes a las necesidades de generación, alteran el hidrograma natural del río y con ello los estímulos naturales para los procesos biológicos. Dependiendo de la modalidad de operación, podría ser necesario establecer un régimen de caudales o hidrogramas ecológicos que aseguren el aporte aguas abajo de un caudal suficiente para sostener la integridad de los ecosistemas.

Efectos en la hidromorfología del cauce: a medida que el agua fluye de zonas más a menos elevadas, la energía potencial se disipa remodelando el terreno, abriendo redes de cauces con sus hábitats asociados, sorteando la resistencia de sustratos, la vegetación, los bancos de arena y transportando sedimentos. El cauce puede ser asociado a una cinta transportadora (Kondolf, 1994), que transporta en forma continua carga en suspensión (arcillas, limos y arenas), como carga del lecho del cauce (arenas, gravas, cantos rodados), materiales que son de importancia ecológica para el hábitat de macroinvertebrados bentónicos y áreas de desove de peces. Por lo tanto, si este transporte es interrumpido o modificado, también se modifican los ecosistemas fluviales y/o costeros adaptados a dicha dinámica.



Figura 4.17. Esquema simplificado de las principales afectaciones de las presas por cambios hidromorfológicos, hidrodinámicos y calidad del agua. Fuente: elaboración propia.

Impactos en la etapa de desvío

Esta operación temporal de desvío, consiste generalmente en conducir la totalidad del caudal que trae el río por canales de una sección inferior a la natural del río (y por lo tanto a mayor velocidad), hacia un punto de restitución sobre el río ubicado aguas abajo, a fin de generar un área seca que permita la implantación de la presa. De esta forma, los principales impactos están asociados a esta alteración de la velocidad de la corriente que puede actuar como efecto barrera para migraciones ascendentes, otorgar mayor potencial erosivo del agua sobre el cauce y afectar su calidad mediante el aumento del arrastre de sedimentos. El primer tramo del río donde ocurre la restitución, es el principal afectado por las velocidades hasta tanto el río restablezca su equilibrio hidrodinámico.

Todas las presas atrapan sedimentos en alguna medida, en particular, durante los primeros años de funcionamiento (Kondolf, 1997), interrumpiendo su circulación aguas abajo, modificando asimismo la energía potencial del flujo de agua. Las alteraciones pueden incidir tanto en la cantidad de materiales transportados, como en la velocidad del transporte de los mismos, y la granulometría en la columna vertical.

Cuando el agua liberada tiene disminuida su carga de sedimentos en proporciones significativas (fenómeno también denominado como “aguas claras”), acelera las tasas de erosión y el agotamiento de sedimentos finos en suspensión. Este cambio de sedimentación

puede afectar la formación de llanuras de inundación, estuarios y ambientes costeros, así como la fertilidad de los suelos (Petts, 1984), a la vez que, afectará hábitats de valor para la biodiversidad, como se detalla en el siguiente apartado.

A su vez, si el caudal liberado es abundante, el exceso de energía del agua tiende a recuperar la carga de sedimentos que llevaba, y esto se puede traducir en erosión del cauce y de las orillas. Este efecto también denominado "*effect of hungry waters*" o "hambre de erosión del agua", conduce a la incisión del cauce y a un engrosamiento de los materiales del lecho (Kondolf, 1997). A estos efectos se suma la disminución de formación de meandros y falta de depósitos puntuales, que restringen la formación de deltas.

Efectos de incisión del cauce: la magnitud de la incisión del cauce depende de las operaciones de la presa, y de las características del cauce, el tamaño de los materiales del lecho y ribera, y la secuencia de embalsamientos posteriores al cierre de la presa (Kondolf, 1997). La incisión será más pronunciada aguas debajo de las presas en ríos que transportan predominantemente materiales finos. Por otro lado, la erosión de márgenes será menos pronunciada cuando estén formadas por materiales cohesivos y con mucha vegetación.

La incisión puede continuar aguas abajo, según el caso, durante varias décadas desde el cierre de la presa, y extenderse varios kilómetros por año hasta que el cauce se adapte - en general reduciendo la pendiente si la erosión es muy importante- o el "lecho se acorace". Cuando se erosiona el cauce, el nivel de agua que circula por el cauce principal disminuye, los cauces afluentes se ajustan a la nueva situación y a su vez generan más erosión aguas arriba, retroalimentando el proceso.

Esta erosión puede producir cambios significativos indirectos en los hábitats y a su vez en la biodiversidad (Bravard *et al.*, 1997) e impactar en la interacción río-llanura de inundación. Con la incisión del cauce varía la sección transversal del mismo, que controla la superficie de hábitat utilizable por los peces, y a la vez la velocidad del flujo circulante. La superficie de lecho inundada es importante ya que define el área disponible para desove, incide en la cadena trófica, puede afectar la temperatura del agua; influye en la distribución de las especies del ecosistema fluvial y marginal.

Otro impacto indirecto consecuente de la incisión del cauce puede ser la disminución de la altura del nivel freático, afectando en particular a la vegetación próxima a la ribera.

Acorazamiento del lecho: la erosión del cauce aguas debajo de la represa puede acompañar un cambio de tamaño de las partículas del lecho. Los materiales más finos son arrastrados corriente abajo y los de mayor tamaño se quedan en el fondo formando un estrato de granulometría gruesa. La disminución de partículas finas del fondo, puede impactar la disponibilidad de hábitats para bentos o especies que usan los intersticios para el desove o como refugio de larvas.

El sustrato del cauce influye en la composición y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos. Cuanto más heterogéneo es el sustrato, más variados pueden ser los microhábitats, y en consecuencia las especies que se desarrollan en ellos.

Efectos de reducción de caudal: en ciertos proyectos hidroeléctricos, generalmente de montaña, el agua del embalse es conducida mediante una obra de toma y canales o túneles hacia la central ubicada en otro sitio de menor altura en una progresiva menor del río, para generar el salto útil para la generación de energía. Esto significa que el tramo del río entre la toma y la central podría quedar seco o reducido en caudal si no se prevé la erogación de un caudal ecológico o ambiental para mantener los servicios ecosistémicos del tramo. El mantenimiento de dicho caudal ecológico es esencial para la conservación de la biodiversidad y el paisaje existentes en el tramo del río.

Impactos en la calidad del agua consecuente del embalsamiento
La calidad de las aguas de un río está controlada, predominantemente, por las características climáticas y geológicas de la cuenca vertiente. El almacenamiento de agua en los embalses produce cambios físicos, químicos y biológicos en el agua acumulada. Como consecuencia, el agua erogada por la central, proveniente del embalse, puede tener una composición distinta de la natural del río y puede mostrar pautas estacionales distintas de los ríos no regulados (Petts, 1984). La calidad puede alterarse en temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y concentración de nutrientes. La temperatura regula las concentraciones de oxígeno disuelto, el metabolismo y procesos vitales de organismos acuáticos.

En los embalses profundos en los que el flujo sea lento se pueden producir fenómenos de estratificación térmica de las aguas embalsadas. Las presas suelen liberar el agua de la parte inferior donde se encuentran las tomas de las turbinas, o sea de la capa más fría, diferente a la superior. Esto modifica el régimen térmico aguas debajo de los embalses, siendo las temperaturas más frías en verano y más cálidas en invierno, variando la amplitud térmica en comparación con las condiciones naturales. Este fenómeno puede impactar en el desarrollo de macroinvertebrados y otras especies acuáticas.

En el caso de los macroinvertebrados, la alteración de la temperatura interfiere en sus procesos de crecimiento, maduración y reproducción, que requieren el mantenimiento de determinados niveles térmicos. La consecuencia es el desarrollo de individuos más pequeños o débiles, y la alteración de la diversidad, con beneficios competitivos para especies criófilas, a veces invasoras como los salmónidos que pueden desplazar a los ciprínidos en zonas templadas. Por otro lado, en los climas fríos, ciertas especies criófilas requieren temperaturas muy bajas, y al producirse alteraciones de temperatura sufren alteraciones en su desarrollo.

La alteración térmica puede persistir decenas de kilómetros aguas abajo de la presa, según sea el régimen de caudales tanto

del cauce como el aportado por los afluentes, y las condiciones térmicas de embalses aguas arriba. Si a esto se suma el efecto acumulado de varias represas, las alteraciones pueden extenderse a mayor distancia. La recuperación podría requerir cientos de kilómetros, y el área de influencia de los impactos sobre los ecosistemas puede extenderse en proporción (World Commission on Dams, 2000).

En los embalses con tiempo de residencia cortos, el oxígeno disuelto y las concentraciones de sólidos disueltos de salida son bastante similares a los naturales, sin embargo, la estratificación térmica puede generar un déficit de oxígeno disuelto, y alteración en la calidad limnológica. No obstante, es importante tener en cuenta que los impactos de la disminución de oxígeno son predominantemente de carácter local, ya que puede recuperarse fácilmente en las turbulencias de los puntos de descarga. Por otro lado, los nutrientes que quedan retenidos en el embalse, (fósforo, nitrógeno, potasio y magnesio), pueden dar lugar a fenómenos de eutrofización.

En caso de emplazamiento de presas, cuyos materiales constructivos contengan minerales con trazas de mercurio inorgánico, y haya materia orgánica no adecuadamente removida en el área de inundación del embalse, puede llegar a producirse metilmercurio en el área del embalse, contaminación que puede permanecer por un período prolongado, acumulándose en la cadena trófica y facilitando su transporte aguas abajo por las especies migratorias.

La vegetación leñosa que quede bajo la cota de inundación, entrará en un proceso de descomposición anóxica, con el aumento de producción de carbono, nitratos y fósforo. El aumento de la carga de nutrientes puede derivar en problemas de eutrofización en el embalse y aguas abajo.

Estos efectos predominan mayoritariamente en zonas templadas y tropicales, en función de la cantidad de carbono orgánico almacenado en los suelos y la vegetación.

Caso la presa se establezca en un área con importante inundación de biomasa y teniendo en cuenta el proceso de descomposición, es importante pronosticar la calidad del agua para el periodo de llenado y operación subsiguiente, tanto del embalse como aguas abajo, desarrollando distintos escenarios, para evaluar qué porcentaje de fitomasa es adecuada suprimir.

Los resultados de estos estudios van a depender de la ocurrencia de estratificación térmica vertical en el embalse, características de la fitomasa, cuestiones hidrodinámicas y operacionales.

Impactos asociados a la proliferación de vectores

Se deben analizar los vectores transmisores de patógenos, asociados al agua, a los cambios de uso de suelo y microclimáticos, producto del desarrollo de presas.

La afectación de la salud humana, por enfermedades asociadas

al agua y a otras etiologías asociadas a la construcción de presas, está relacionada además con las características de los receptores y los riesgos de exposición (ejemplo: acceso al agua potable, sistemas de saneamiento y vivienda digna, estado nutricional, entre otras), por lo que su abordaje integral se deberá completar junto al análisis de impactos sociales.

La mayoría de los vectores de patógenos asociados al agua, son artrópodos que efectúan alguna de sus fases de ciclo de vida en el medio acuático. Por lo general son comunes a zonas tropicales y subtropicales, aunque su distribución también está fuertemente determinada por las variaciones climáticas que pueden cambiar los patrones de distribución de forma imprevista, incidir en el comportamiento de los patógenos y generar importantes consecuencias para la salud (OMS, 2012).

De esta forma, el potencial comportamiento de estos transmisores también deberá considerarse en función de los escenarios de cambio climático pronosticados, además de las interacciones con poblaciones de riesgo.

Los estudios deberán ser realizados por epidemiólogos con amplio conocimiento en salud pública, con la colaboración de entomólogos y otros especialistas de la salud. Tanto los estudios, como los programas de prevención y control de estos vectores, deben estar vinculados a los programas nacionales y locales de los organismos públicos de salud.

En el análisis de impactos de enfermedades asociadas al agua se deben tener en cuenta las enfermedades en las cuales el agua actúa como hábitat para el desarrollo de los agentes patógenos o huéspedes intermediarios que forman parte de su ciclo de vida, y enfermedades en las cuales el agua forma parte del hábitat para los vectores transmisores de patógenos.

A continuación, se abordan algunas características de los principales vectores asociados al agua en Argentina, a considerar para el análisis de la potencial proliferación de enfermedades vinculadas a la calidad de agua a los embalses de las presas.

Familia Culicidae

» *Género Aedes*

Los mosquitos del género *Aedes* están implicados la transmisión de los virus causantes de enfermedades de amplia ocurrencia en América del Sur, como Fiebre amarilla, Fiebre de Zika, Dengue y Chikungunya. Dentro del género la especie más difundida es el *Aedes aegypti*, cuya distribución puede extenderse hasta los 45° norte y los 40° sur (Ministerio de Salud, s/f).

Aedes aegypti es fundamentalmente un mosquito de distribución urbana, si bien se ha comprobado su existencia en ámbitos periurbanos e incluso silvestres.

La dispersión pasiva a través de medios de transporte es uno de los factores más importantes de diseminación. De las 4 fases de su ciclo de vida, 3 transcurren en el medio acuático (huevo, larva y pupa), hasta que emerge el adulto alado.

» *Género Anopheles*

Algunas especies del género Anopheles están involucradas en la transmisión del parásito Plasmodium causante del paludismo o malaria. Al igual que Aedes, las 3 primeras etapas son acuáticas y su duración depende de la especie y la temperatura ambiente. La transmisión del paludismo lo realiza la hembra en su etapa adulta.

La preferencia de hábitat varía entre las especies. Por lo general cuerpos de agua de baja velocidad de flujo, con sombra o soleados, con diferente carga orgánica, de carácter permanente o eventuales (ej. charcos temporales).

Si bien Argentina tiene una historia de más de 100 años de presencia del paludismo (Ministerio de Salud, 2012), desde 2011 no presenta casos autóctonos de la enfermedad (Ministerio de Salud, s.f.). No obstante, las vigilancias epidemiológicas en regiones con registro epidémicos históricos deben estar presentes en las áreas de influencia de los proyectos.

» *Género Culex*

Es un género de mosquitos hematófagos que actúan como vectores de patógenos de enfermedades parasitarias (filariasis) o víricas (encefalitis). Al igual que los otros géneros de su familia, cumple 3 etapas de su ciclo de vida en el medio acuático.

En función de la experiencia adquirida en la evaluación de culicidos de interés sanitario en el marco de una presa, se sugieren algunas consideraciones a tener en cuenta para el estudio de estos vectores y las posibles medidas de control³⁷:

- » Construir modelos de caracterización de sucesión del cuerpo de agua correlacionados con el surgimiento de criaderos de culicidos vectores de importancia sanitaria.
- » Contemplar los resultados de estos modelos en la planificación de obras de tratamiento costero, en el AI de la represa. El tratamiento costero tiene como objetivo evitar la proliferación de vegetación (flotante, arraigada y semiarraigada), que contribuya a la formación de potenciales criaderos de larvas de culicidos.
- » Considerar la dinámica de relaciones entre las especies de mosquitos y los demás organismos en las comunidades relevadas, como marco referencial para el análisis de potenciales controladores naturales de las larvas de culicidos (odonatos, coleópteros, belostomatidos, peces y hongos entomopatógenos).

» Los impactos de las obras sobre la proliferación de estos vectores se deben vincular a otras problemáticas de base que favorecen la propagación de las enfermedades infecciosas, como los basurales y microbasurales en zonas cercanas a cursos de agua, descargas cloacales y vertidos residuales residenciales. Por ejemplo, la eutrofización de los cuerpos de agua promueve la proliferación de distintos géneros de mosquitos, como Anopheles y Culex, al contrario de Aedes aegypti que tiene preferencia por criaderos peri domiciliarios.

» El análisis de los potenciales impactos de los aprovechamientos hidroeléctricos sobre la proliferación de culicidos de interés sanitario y las consecuentes acciones de control deben vincularse a programas públicos de vigilancia entomológica y epidemiológica locales.

Familia Phlebotominae

» *Género Lutzomyia (Nyssomyia)*

Son insectos flebotomos, de hábitos hematófagos que transmiten especies del parásito Leishmania al ser humano, causante de la enfermedad Leishmaniasis.

La transmisión del protozoo se efectúa cuando el flebotomo ingiere la sangre del huésped mientras inyecta las leishmania. Por lo general el insecto contrae el parásito al picar previamente un animal infectado. Las especies de Leishmania más frecuentes en el país son la Leishmania braziliensis que produce lesiones en la piel (leishmaniasis cutánea) o en la nariz y paladar (leishmaniosis mucosa), y la Leishmania infantum chagasi que produce agrandamiento de bazo e hígado (leishmaniasis visceral) (Quintana et al, 2015).

La distribución geográfica de la enfermedad está limitada por la distribución del vector. En Argentina, el área endémica de leishmaniosis es la región noroeste, con incidencias en las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca, Santiago del Estero, Chaco, Formosa, Misiones y Corrientes (Ministerio de salud, 2010).

La enfermedad asociada históricamente a regiones boscosas nativas, tiene una fuerte ocurrencia en los frentes de deforestación y áreas de modificación del uso del suelo, fundamentalmente en zonas de uso agrícola-ganadero de subsistencia con remanentes de bosque nativo, afectando principalmente poblaciones de trabajadores y residentes de bordes de deforestación (Salomón et al, 2016).

Algunos estudios han determinado la buena adaptación de especies vectores en ambientes modificados y regiones periurbanas. También se ha observado el aumento de las ocurrencias por aumentos demográficos, cambios ecológicos y climáticos asociados a la

³⁷ Adaptado de "Vigilancia Epidemiológica. Seguimiento de criaderos de mosquitos de interés sanitario, en la zona de afectación de la represa de Yacyretá" (Walantus et al, sf). Trabajo realizado en el marco del "Convenio Vigilancia Epidemiológica. Seguimiento de Criaderos de Mosquitos de Interés Sanitario", entre la Universidad Nacional de Misiones y Entidad Binacional Yacyretá.

construcción de grandes obras (Salomón et al, 2016). Estas diversas variables deben contemplarse en el análisis de los potenciales impacto de las presas en la proliferación de la enfermedad.

Familia Planorbidae

» Género *Biomphalaria*

Diversas especies del caracol *Biomphalaria* son huéspedes intermediarios del parásito *Schistosoma mansoni*, que en su estadio larvario sale del huésped y penetra en la piel de las personas que toman contacto con aguas infestadas, produciendo una enfermedad llamada esquistosomiasis.

Si bien, hasta la fecha el parásito no tiene distribución en Argentina (OMS, 2019), se lo debe considerar como un factor de riesgo por la presencia de caracoles huéspedes en diversas cuencas del país, fundamentalmente en la región del NEA. Por otro lado, la enfermedad es endémica en Brasil (OPS/OMS, 2013-2016), país limítrofe en el cual las obras de represas han significado un factor importante en la proliferación del huésped intermediario del parásito y el desarrollo de la enfermedad.

El principal factor de riesgo para infectarse es la exposición al agua dulce contaminada con heces humanas infectadas por el parásito, por actividades domésticas, laborales o recreacionales (OPS/OMS, s.f.).

El potencial impacto del proyecto en la proliferación de esta enfermedad deberá estar contemplado en regiones con presencia del molusco, y para lo cual se deberán planificar medidas preventivas asociadas a los programas de salud locales. La prevención contempla el rápido tratamiento de los casos que se presenten; el monitoreo y control de los moluscos en la región del embalse; la prevención de la contaminación de las aguas con heces humanas; así como el control del uso del agua del embalse (uso recreativo) y previsión de agua potable. El trabajo de vigilancia epidemiológica del proyecto deberá estar acompañado por las acciones de salud pública que se implementen localmente.

En líneas generales, las acciones aisladas no son suficiente para el control de los vectores de patógenos asociados al agua. El control de la calidad del agua, la salud de los ecosistemas naturales y la higiene sanitaria de las poblaciones en el AI, deberán confluir de forma sinérgica para la planificación de programas de prevención efectivas.

El diseño de acciones programáticas debe contemplar estudios en el marco teórico de la eco-epidemiología, que integran el conocimiento multidisciplinario y la causalidad multinivel (Salomón et al, 2016).

En función de las consideraciones planteadas, es recomendable la realización de programas de vigilancia entomológica entre los responsables de proyecto e instituciones de salud públicas o académicas que correspondan, así como la realización de estudios de evaluación del riesgo de transmisión y consecuentes acciones de mitigación.

Medio biótico

Como se mencionó en la introducción, a los fines de esta guía, se prioriza a continuación el abordaje de los principales impactos que un proyecto hidroeléctrico puede producir sobre la biodiversidad acuática y terrestre. La evaluación de la afectación de las AID y AI deben ajustarse al sitio específico y escala del proyecto.

Impactos sobre la biodiversidad de ecosistemas terrestres y mixtos

Las etapas de construcción y operación de proyectos hidroeléctricos generan impactos irreversibles en el área de inundación, así como en las áreas de obras complementarias (auxiliares y permanentes). Es necesario estimar con profundidad el alcance de estos impactos significativos para proyectar las medidas de minimización, restauración y compensación correspondientes.

El ecosistema de cuenca conecta diversos hábitats y ambientes que por lo general mantienen una relación de interdependencia, por lo que se deben analizar potenciales impactos en ambientes tanto aguas arriba como aguas abajo del cauce afectado, con especial enfoque en el impacto en ambientes costeros y humedales asociados al cauce, teniendo en cuenta que son hábitats críticos y de importancia vital para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Dada la criticidad en las fases de desvío y llenado, aunque son temporales, se deben realizar estudios específicos para evaluar la sensibilidad de los ecosistemas terrestres y mixtos a las alteraciones del ciclo hidrológico. Las normas de operación de la central, por su parte, también deben considerar los efectos de cambio de régimen aguas arriba y abajo.

También se debe evaluar los impactos de las obras auxiliares y complementarias, especialmente en lo que concierne a la remoción de la vegetación e impactos en la fauna terrestre y avifauna.

De modo general se puede decir que las principales afectaciones a las comunidades de flora y fauna terrestre están causadas por: inundación de la zona de embalse, los cambios hidrodinámicos y sedimentológicos asociados a la operación de la presa en todas su fases y las obras auxiliares y /o complementarias (ver figura 4.18). Los potenciales impactos sobre estos componentes son analizados de forma general, para lo que el evaluador deberá profundizar y adaptar el análisis en función del proyecto, ubicación y especies afectadas.



Figura 4.18. Esquema simplificado de las principales afectaciones de las presas sobre las comunidades acuáticas. Fuente: elaboración propia.

Impactos por embalsamiento

Se espera que los impactos de la inundación de un hábitat único, que ponga en riesgo la viabilidad de una especie (ya sea por su categoría de amenaza y/o distribución restringida), hayan sido previamente evaluados en los análisis de alternativas de prefactibilidad. Del mismo modo, se espera esta valoración previa para áreas protegidas o, para aquellas que, aunque no cuenten con una figura de protección legal, se demuestre que representan áreas con alto valor de conservación para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

La inundación del área de embalse genera un impacto significativo y técnicamente irreversible sobre el ambiente inundado, por su extensión geográfica y temporal. Es importante que el inventario de línea de base sea lo suficientemente sólido para establecer la magnitud del impacto, que, dada sus características, necesitará de un estudio exhaustivo para el diseño de medidas de minimización (por ejemplo, con relocalización de especies) y compensación, en relación a la pérdida de especies de flora y fauna. A su vez, se deberá analizar los impactos de fragmentación del hábitat y en el desplazamiento de fauna.

También es necesario evaluar cómo impacta la presencia de un nuevo cuerpo de agua artificial en las aves. El embalse genera cambios de temperatura en el ambiente, que puede afectar el vuelo de algunas aves que utilizan las corrientes de aire ascendentes continentales para planear y ahorrar energía. Por otro lado, un nuevo cuerpo de agua artificial puede generar un efecto trampa en algunas aves migratorias, que pueden confundir al embalse como un lugar adecuado para alimentación y nidificación. Puede que este nuevo ambiente no cumpla con estas funciones y el gasto energético de la interrupción y reinicio del vuelo puede afectar negativamente la continuidad de la ruta migratoria, lo cual tendrá determinada significatividad según el estado de conservación de la especie.

Impactos por cambios hidrodinámicos y sedimentológicos

Los cambios hidrodinámicos y sedimentológicos (desarrollados en el apartado de impactos asociados a los cambios hidromorfológicos) tienen implicancias en los hábitats costeros y otros hábitats asociados al cauce, tanto aguas arriba como aguas abajo a la presa, ya sean hábitats terrestres, de transición o mixtos, como en el caso de humedales.

Para estos ecosistemas es importante evaluar los impactos en las distintas fases del proyecto, tanto en la construcción como en la operación. Dada la sensibilidad de los ambientes aguas abajo a los cambios hidrodinámicos y al aporte de sedimentación, es importante estudiar el efecto de estos cambios en las redes tróficas de hábitats sensibles, tanto acuáticos como mixtos. Por ejemplo, los efectos en las especies acuáticas se pueden trasladar a las comunidades de aves limícolas que se alimentan de crustáceos y moluscos y utilizan humedales o ambientes costeros como sitio de escala durante las migraciones, para alimentación, refugio y cría. Las especies de avifauna acuática y terrestre, generalmente asociadas a los cuerpos de agua y humedales, son además un indicador ecológico clave.

Los estudios de los impactos en la biota por cambios hidrodinámicos y sedimentológicos se deberán complementar con los de limnología y calidad del agua.

También se deberá evaluar potenciales impactos sobre las especies de macroinvertebrados, herpetofauna, mastofauna asociadas a los humedales y hábitats críticos de importancia para la conservación que podrán ser impactados directa o indirectamente por los cambios de flujo hidrodinámico y sedimentológico como se explicó en el apartado precedente.

La evaluación de la afectación de la biodiversidad en ecosistemas críticos o claves para la conservación, deberán ser complementados con la posible afectación de las funciones ecológicas y los servicios ecosistémicos.

Impactos por obras auxiliares y complementarias

Las obras auxiliares y/o complementarias pueden cumplir la función de barrera para especies terrestres por fragmentación del hábitat, con especial énfasis en especies con movilidad y uso territorial extenso, como algunas especies de mastofauna. Particularmente se deben analizar los efectos en rutas migratorias para especies endémicas, amenazadas o con valor socio-económico.

En el caso que el proyecto esté asociado a nuevas líneas de transporte de energía, el análisis de impactos debe incluir las posibles afectaciones de las estructuras de alta y media tensión en la flora y fauna. Para esta infraestructura, se destaca el impacto por colisión o electrocución de aves, especialmente rapaces, para lo cual la bibliografía internacional en la materia cuenta con diversas y efectivas medidas estructurales de mitigación que pueden ser implementadas en la fase de diseño.

Las obras auxiliares y complementarias generan cambio en el uso de suelo y pérdida de hábitat terrestre para las especies que allí habitan. Es necesario evaluar las especies de flora y fauna que se verán afectadas, para planificar las medidas de minimización (por ejemplo, relocalización de especies), restauración, y compensación (en el caso de pérdida irreversible de hábitat). Se destaca la importancia de evaluar con anticipación la localización de las obras auxiliares y complementarias, de forma a evitar afectar hábitats críticos para la conservación de la biodiversidad y clave para brindar servicios ecosistémicos.

Por otro lado, los sitios iluminados artificialmente por la obra, pueden desorientar negativamente el vuelo de las aves migratorias nocturnas, por lo que en este caso se pueden prever sistemas de iluminación que minimicen este impacto. En ese sentido, es importante conocer si el sitio de la obra se encuentra bajo rutas migratorias de aves.

También se deberá evaluar la posible pérdida de productividad por incremento de la degradación de suelos y desertización originadas por apertura de caminos y obradores, y cambios en la productividad biológica por cambios en las aguas subterráneas.

Otros impactos asociados a las fases de construcción y operación

Durante la fase de construcción se deben evaluar los impactos sobre macroinvertebrados, herpetofauna y mastofauna asociados al cambio de uso de suelo, aumento de la población humana y tránsito vehicular. Especialmente se deben evaluar impactos asociados a riesgos de atropellamientos, caza furtiva y comercio ilegal, y diseñar medidas de prevención adecuadas.

En la etapa de construcción aumenta el riesgo de introducción de especies invasoras, por el transporte e ingreso de materiales, maquinaria e insumos propios de las actividades de construcción. De la misma forma la generación e incorrecta gestión de residuos puede propiciar la proliferación de especies exóticas o nativas con comportamiento invasivo.

En este sentido se deben analizar de forma prioritaria potenciales impactos de especies exóticas invasoras que ya están contempladas en el Sistema Nacional de Información sobre Especies Exóticas Invasoras, según el sitio de emplazamiento de la obra.

Durante la etapa de operación de la presa, la zona de peligro estará sujeta a cambio de uso de suelo y podrán surgir actividades turísticas y recreativas, así como nueva infraestructura urbana. Estos nuevos usos pueden generar nuevas presiones sobre el ecosistema e interferir en los escenarios de mitigación de impactos, previstos en el plan de gestión adaptativa. En este sentido, es deseable que el proyecto incluya las actividades previstas para la zona del peligro y que el análisis de potenciales impactos y medidas de mitigación estén expresados en un plan articulado con el gobierno local.

Impactos sinérgicos y acumulativos

Los impactos de la construcción y operación de la obra se deben estudiar en función de las amenazas existentes para analizar sensibilidades y potenciación de los impactos del proyecto, como es el caso de especies amenazadas por pérdida de hábitat o caza furtiva. En este sentido es importante incorporar los posibles impactos sinérgicos asociados a los efectos de fenómenos climáticos extremos vinculados al cambio climático.

Impactos en la ictiofauna y otras especies acuáticas

La construcción de la presa constituye una barrera física al flujo del agua y, por lo tanto, modifica las características físicas naturales del curso fluvial aguas arriba y abajo de la misma; afectando las posibilidades de migración de peces, transporte y dispersión de párvulos, la variabilidad genómica, las redes tróficas, transporte de semillas, sedimentos y nutrientes que pueden incidir en la dinámica ecosistémica de los hábitats acuáticos.

Entre los principales impactos a la fauna íctica, se debe evaluar la fragmentación de la conectividad para las especies migratorias, sobre todo aquella de grandes trayectorias, como por ejemplo las diadromas, para las que el efecto barrera puede ser un impacto de

amplia significatividad para la supervivencia de la población, con riesgos de extinciones locales según el caso.

Los proyectos de presas también pueden afectar los desplazamientos en menor escala, aunque vitales para los ciclos reproductivos de especies que usan diferentes hábitats en función de sus diferentes estadios. La interrupción de la conectividad puede afectar el flujo génico entre poblaciones en el sistema de la cuenca hidrográfica, dado que la conexión reproductiva entre las diferentes poblaciones sostiene una variabilidad genética con mayor capacidad para soportar la presión selectiva, las mutaciones o deriva génica. La fragmentación puede generar la interrupción del flujo génico, aislar poblaciones y disminuir las probabilidades de supervivencia.

Por otro lado, los cambios hidrodinámicos que conllevan los proyectos hidroeléctricos, pueden afectar los niveles de agua de hábitats críticos como humedales y ambientes someros, de bajo caudal, por lo general adecuados para el desove, reproducción y alimentación, ideales para huevos, larvas y juveniles, de estadios más vulnerables a los cambios de caudal.

Se debe evaluar si la afectación de una (o más de una) población de peces puede incidir directamente en las redes tróficas y ocasionar alteraciones en toda la comunidad de un sistema dado.

Otro aspecto a evaluar es la pérdida de calidad de las pesquerías por reducción o desaparición de especies migradoras y sustitución de peces adaptados a las condiciones lólicas, por especies de tallas más pequeñas y de menor valor comercial (citado en: Baigún et al, 2011).

El análisis de la afectación de la fauna íctica debe estar asociada al estudio de las afectaciones del régimen hidrológico y de la composición limnológica analizados en otros apartados. Se deben tener consideraciones especiales para la evaluación de impactos en las etapas de desvío y llenado, fases que pueden afectar significativamente el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

Asimismo, los esfuerzos para analizar impactos y diseñar las medidas de mitigación, deben estar priorizados sobre la ictiofauna autóctona; así como se deben considerar las especies de valor económico para las poblaciones potencialmente afectadas.

En términos generales, el efecto barrera de la presa, la modificación de la dinámica lólica a léntica del cuerpo de agua y los cambios hidrodinámicos aguas arriba y abajo de la presa, forman parte de las principales afectaciones en las comunidades ícticas y sus hábitats (ver figura 4.19). A continuación, se consideran aquellos aspectos generales a tener en cuenta en la evaluación de impactos sobre la ictiofauna, que se deben profundizar y adaptar en función del proyecto, ubicación y especies afectadas.



Figura 4.19. Esquema simplificado de principales afectaciones potenciales de presas sobre comunidades acuáticas. Fuente: elaboración propia.

Impactos por el efecto barrera

Se debe cuantificar el impacto del efecto barrera sobre las comunidades ícticas, tanto para las especies migratorias de larga trayectoria, como para los desplazamientos zonales. De la misma forma, se debe considerar el impacto en las rutas migratorias estacionales, para las distintas fases: desvío, llenado y operación.

El efecto barrera impacta en la conectividad entre poblaciones, que puede ser estacional o asociada a factores climáticos (ej. periodo de inundaciones), a nivel de toda la cuenca. Se debe evaluar la afectación del flujo génico, potenciales impactos en el reclutamiento (citado en: Baigún *et al*, 2011) y en la capacidad de adaptación de las especies a los disturbios naturales y antrópicos.

Por otro lado, se debe evaluar el potencial impacto de la operación de las turbinas de las represas en las especies de ictiofauna para evaluar alternativas de funcionamiento y medidas de mitigación.

El efecto barrera también debe ser evaluado para los desplazamientos de avifauna acuática, así como sobre las comunidades vegetales acuáticas. Respecto al efecto barrera para la dispersión de vegetación, es importante evaluar el cambio en el transporte de semillas y propágulos de plantas ribereñas y acuáticas con sus consecuencias en los ecosistemas ribereños y humedales asociados.

Impactos por cambios en la calidad de agua consecuente del embalsamiento

El cambio de hábitat lótico a léntico, afecta la dinámica ecosistémica fluvial. Los embalses constituyen nuevos hábitats con caudales lentos y de mayor superficie de agua, que favorecen el desarrollo de especies adaptadas a estos ecosistemas. Las nuevas condiciones limnológicas pueden generar cambios en la evolución de las poblaciones de peces (citado en: Baigún *et al*, 2011).

Durante la etapa de llenado, debido al proceso de descomposición de suelo y vegetación, puede aumentar significativamente el aporte de nutrientes y materia orgánica del área inundada (Baigún *et al*, 2011). Este fenómeno puede redundar en un aumento de la productividad del sistema, resultando necesario evaluar los impactos en los niveles tróficos superiores (especies detritívoras-iliófagas, herbívoras u omnívoras).

En este periodo, donde surge un ambiente perturbado e inestable, se debe evaluar la colonización de especies oportunistas, euritópicas y de pequeño porte (Baigún *et al*, 2011). Un aspecto importante a considerar es que, estas condiciones pueden ser favorables a la proliferación de especies invasoras.

Asimismo, debe evaluarse la descomposición de biomasa, ya que puede eutrofizar el cuerpo de agua, generando un estado de anoxia y afectando la supervivencia de las especies de fauna acuáticas. Asimismo, es necesario evaluar el potencial de eutrofización devenido del aumento del material en suspensión.

Se debe evaluar si, a medida que el embalse se va estabilizando, la productividad decae y el sistema es colonizado por especies mejor adaptadas a estas nuevas condiciones en el uso de los recursos, en general representadas por unos pocos taxones dominantes (Baigún *et al*, 2011). Así como el surgimiento de un sistema con menor productividad a la del río original y con mayores fluctuaciones debido a la regulación artificial de los niveles hidrométricos (Baigún *et al*, 2011). Por otra parte, es necesario evaluar si las especies migratorias pueden tender a buscar los tramos que aún conservan las características del río original, dado que las aguas corrientes poseen mayor capacidad biogénica que los sistemas lacustres (Hynes, 1970).

Se debe evaluar cómo las condiciones lénticas reducen los estímulos para los desplazamientos y los hábitats de desove y cría, y favorecen la mortalidad natural de larvas y huevos de aquellas especies con desove libre en los tramos fluviales (Baigún *et al*, 2011).

Impactos de la estratificación térmica consecuente del embalsamiento

La alteración de la temperatura interfiere en procesos de crecimiento, maduración y reproducción de macroinvertebrados, como consecuencia se debe evaluar si se desarrollan individuos más pequeños o débiles, lo que puede alterar las dinámicas tróficas con beneficios competitivos para especies invasoras, como por ejemplo salmónidos que pueden desplazar a los ciprínidos en zonas templadas.

En los climas fríos, ciertas especies criófilas requieren temperaturas muy bajas, y al producirse alteraciones de temperatura sufren alteraciones en su desarrollo. La alteración térmica puede persistir decenas de kilómetros aguas abajo de la presa, según sea el régimen de caudales tanto del cauce como el aportado por los afluentes, y las condiciones térmicas de embalses aguas arriba. Además, en caso de corresponder, se debe evaluar la suma del efecto acumulado de varias represas, ya que las alteraciones pueden extenderse a mayor distancia. La recuperación podría requerir cientos de kilómetros, y el área de influencia de los impactos sobre los ecosistemas puede extenderse en proporción (World Commission on Dams, 2000).

Impactos a la salida de la presa

Durante la operación, la salida de agua de la presa desde cierta altura, en particular con caudales altos, genera turbulencia que favorece el ingreso de aire, su disolución en profundidad y la

sobresaturación de gases. Se debe evaluar si los gases disueltos pueden llegar a producir fenómenos de embolia gaseosa en los organismos acuáticos, con acumulación de burbujas en tejidos, capilares branquiales y sistema circulatorio.

Impactos derivados de los cambios en el régimen hidrológico de los caudales ecológicos

Los cambios en el régimen hidrológico que se sucederán en la etapa de construcción (desvío y llenado) así como en operación, impactarán en los hábitats aguas abajo. Se debe evaluar si la operación, al ocasionar cambios en los niveles hidrométricos del río, modifica la frecuencia e intensidad de las crecidas medias anuales y que pueda generar un incremento de la predación y pérdida de hábitats que los peces migradores utilizaban en sus desplazamientos ascendentes o como áreas de reproducción, cría y alimentación, y un aumento en el estrés de las poblaciones (citado en: Baigún *et al*, 2011).

Si estos impactos se sostienen en el tiempo y no son mitigados adecuadamente, pueden superar el límite de resiliencia, y llevar a los hábitats a un nivel de estrés irreversible, con efectos en la distribución y abundancia de las especies de la fauna acuática y en el resto del ecosistema asociado.

En este sentido, es importante determinar la “pérdida de disponibilidad de hábitat” para las especies consideradas clave (bioindicadoras de calidad del hábitat o especies amenazadas), en distintos escenarios, que varían según las condiciones de desvío, llenado y operación. De esta forma, se podrán diseñar estrategias para estas etapas con la finalidad de minimizar el impacto de las comunidades aguas abajo, las cuales suelen estar adaptadas a pulsos de caudal estacional. Estas medidas se sujetan a las limitaciones referidas a la seguridad de las estructuras y de operación de la presa.

Impactos por cambios en la carga sedimentológica

El agua liberada de la presa reducida en carga sedimentaria, comúnmente llamado efecto de “aguas claras”, puede afectar directamente los ecosistemas aguas abajo, alterando el régimen de aporte de sedimentos y nutrientes asociados y pudiendo afectar las tramas tróficas de especies acuáticas, tanto de la ictiofauna como avifauna acuática. Se debe evaluar la significatividad de este impacto, especialmente en hábitats someros o humedales asociados al cauce, de importancia para la reproducción de peces.

De la misma forma, como fue señalado en el apartado de impactos asociados a los cambios hidromorfológicos, la alteración de deposición de sedimentos y formación de meandros, puede vulnerar hábitats de importancia para la sostenibilidad de la fauna acuática y la fauna terrestre asociada.

Por su parte, debe evaluarse si durante la fase de construcción del embalse, las tareas de excavación y movilización de acumulaciones aluviales pueden afectar las poblaciones bentónicas, los fondos de desove, la sobrevivencia de los huevos con el consiguiente reclutamiento futuro.

Impactos sobre las pesquerías

Como se señaló anteriormente, se debe evaluar si el cambio de sistema lótico a léntico repercute en la sostenibilidad de las especies migradoras, con alto valor pesquero y económico, que a largo plazo van a ser sustituidas por especies de menor valor. En la fase inicial, el aumento de la productividad en el embalse, puede generar la percepción de que el embalse posee condiciones pesqueras superiores al río original, no obstante, con la estabilización del embalse, la producción pesquera decae en relación a los grandes ríos con llanura aluvial en condiciones naturales (Baigún *et al*, 2011).

Al igual que los lagos profundos, los embalses profundos pueden experimentar las mismas limitaciones productivas, con el agravante de la descomposición de la vegetación inundada y la presencia de termoclinas puede favorecer la formación de hipolimnion anóxicos, generando un ambiente menos propicio para la supervivencia de la ictiofauna (citado en: Baigún *et al*, 2011).

Impactos sinérgicos y acumulativos

Con el relevamiento de las redes tróficas realizado en la línea de base se podrá identificar la afectación de especies clave, para determinar el alcance del impacto a toda la comunidad de ictiofauna.

Por otro lado, es necesario el análisis de los impactos acumulativos asociados a la ejecución del proyecto, así como a las amenazas identificadas en la línea de base, para lo cual se debe tener en cuenta las modificaciones en la conectividad de poblaciones y flujos migratorios vinculados a fenómenos extraordinarios de sequías asociados al cambio climático; la presión de uso de pesca, sobre todo en los proyectos multipropósitos que incluyan objetivos de pesca deportiva; el desplazamiento de las poblaciones nativas por proliferación de especies invasoras en función de los cambios hidrodinámicos que conlleva la obra o introducciones no intencionales en la fase de construcción; el deterioro de la calidad de agua por cambios de uso de suelo en la zona del perilago (como por ejemplo, aquellas provenientes de las actividades agrícola-ganaderas, turísticas o infraestructura urbana).

Medio socioeconómico

Un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico conlleva diversos impactos socioeconómicos, cuya significatividad debe ser evaluada a escala temporal y espacial. Si bien el reasentamiento es el impacto significativo más sensible, en el presente apartado se sintetizan los impactos socioeconómicos más comunes a evaluar en proyectos de aprovechamiento hidroeléctrico.

Más allá de los impactos por reasentamientos, se deben evaluar los impactos en la población que pueden generarse aguas arriba y aguas abajo del proyecto.

medidas necesarias para evitar y mitigar estos impactos (ej. actividades de socialización, recreativas y culturales) y facilitar la integración entre la población receptora y los nuevos trabajadores.

Impactos en la salud

Se deben evaluar los factores que pueden generar un aumento del deterioro de la salud humana, incluyendo impactos sobre los servicios e infraestructura de salud, asociados al aumento demográfico, el acceso a los servicios sanitarios, la seguridad alimentaria, así como el posible aumento de las enfermedades de transmisión sexual, adicciones, o enfermedades transmitidas por vectores, entre otras. Por otro lado, se deben evaluar los impactos directos del proyecto en los servicios ecosistémicos, que pueden generar impactos adversos en la salud y la seguridad de las comunidades afectadas (BM, 2017, p. 46), así como la exposición a enfermedades endémicas y zoonosis.

Impactos en la educación

Se deben evaluar, a lo largo del ciclo del proyecto, los impactos sobre la educación asociados con la nueva oferta laboral. Se debe prever medidas para evitar impactos negativos, tales como la deserción por parte de jóvenes de poblaciones locales y parajes aledaños, atraídos por la nueva fuente laboral. Es fundamental que se generen programas de gestión específicos que acompañen el proceso, evitando que jóvenes abandonen sus estudios y promoviendo su capacitación permanente.

Por otro lado, como potencial impacto positivo asociado al proyecto, la falta de mercado de mano de obra local capacitada se puede transformar en una oportunidad para mejorar los servicios educativos, mejorando las condiciones de empleabilidad de la población local. Dichas capacitaciones pueden estar vinculadas al proyecto o a programas específicos de desarrollo local.

Impactos sobre el patrimonio

Debe evaluarse los impactos sobre el patrimonio. Considerar que la pérdida de patrimonio, no incluye únicamente la alteración de materiales o estructuras concretas, sino que comprende también la pérdida de información contextual, es decir, la relación de dichos materiales con el ambiente y sus historias de vinculación. Las acciones en torno a la prevención de la pérdida de patrimonio, como las medidas a implementar en el marco de cualquier intervención del territorio, comprenden medidas preventivas, mitigadoras o rescates de aquello que será impactado. Cabe destacar que el rescate de bienes patrimoniales constituye el último recurso deseable. Siempre deben primar las medidas de prevención y tareas tendientes a evitar los impactos sobre el patrimonio y sus contextos.

Impactos en el paisaje

El impacto sobre el paisaje se refiere “al efecto que producen en la población los cambios en la apariencia del paisaje mediante la intrusión o la obstrucción, y a la mejora o disminución de la

capacidad para apreciar el paisaje” (Castelli y Spallasso, 2007, p. 85). El análisis de impacto sobre el paisaje debe determinar en qué medida el proyecto hidroeléctrico afecta la visibilidad y los atributos del paisaje.

Para su evaluación debe realizarse un estudio específico de paisaje, que parte de la determinación de los puntos de observación y las cuencas visuales con y sin proyecto. Estos puntos serán cruciales para definir las zonas de influencia visual, es decir, las áreas cercanas desde donde el proyecto resulta visible (Castelli y Spallasso, 2007, p. 62). Luego del establecimiento de las cuencas visuales se realiza el análisis de intervisibilidad, obteniendo el total de zonas visibles desde cada punto de observación.

Se deben identificar las unidades de paisaje, entendidas como divisiones espaciales del territorio que, por sus características biofísicas, tienen una apariencia homogénea; incluyendo la valoración de la calidad visual por unidad de paisaje. Esta valoración puede hacerse en forma participativa, dependiendo del caso, a través de encuestas específicas a la población o potencial público afectado (pobladores locales, turistas, entre otros). Algunas herramientas de apoyo para valorar la calidad del paisaje son herramientas SIG, fotografías aéreas y en terreno, simulaciones 2D y 3D, cuestionario de preferencias paisajísticas, cuestionarios de valoración económica del paisaje (valor de uso y de no uso).

Los impactos más comunes sobre el paisaje a evaluar en un proyecto hidroeléctrico son:

- » Bloqueo de vistas: la presa puede bloquear las vistas hacia aguas arriba del río. Este impacto puede acentuarse por las condiciones de visibilidad de la cuenca visual, la cual para este tipo de proyectos puede ser encajonada y contenida. Además, se modifican ciertas vistas debido a la creación e inundación del embalse.
- » Intrusión visual: el embalse y la represa cobran protagonismo en la escena, focalizando la atención de los observadores hacia ellos. Se producen cambios en los elementos dominantes de la escena, siendo el agua el nuevo elemento dominante.
- » Incompatibilidad visual: los embalses de gran extensión son elementos que difícilmente se integran al paisaje pudiendo producirse incompatibilidad visual.
- » Artificialidad: la visibilidad de tuberías, casa de máquinas de la central y otras obras producen una modificación de la percepción natural del paisaje por una artificial.
- » Pérdida de los atributos biofísicos del paisaje (suelo, vegetación y fauna), que son eliminados en la zona del embalse. El atributo agua se modifica, ampliándose en la zona del embalse y pudiéndose reducir aguas abajo producto de la disminución del caudal del río.
- » Modificación de atributos estéticos: el embalse artificial de agua de color azul produce una modificación importante del color de la escena e incorpora reflejos en el paisaje. La forma lineal del río se modifica por una forma circular y alargada propia del embalse

Tipos de impactos en el paisaje y posibles medidas de mitigación asociadas

Bloqueo de vistas

- » Diseñar el proyecto considerando la ubicación de las partes y obras en los sectores
- » de la cuenca visual con compacidad alta, es decir aquellas zonas con mayor presencia de zonas sin vistas.
- » Diseñar el proyecto considerando la ubicación de tuberías que genere el menor bloqueo de vistas.

Intrusión visual

- » Diseño y/o ajuste del proyecto considerando la ubicación de tuberías donde menos incide en la visión de los observadores.
- » Creación de mirador en vía de acceso principal incorporando vegetación para el desvío de la vista hacia ese y otros atributos biofísicos del paisaje.
- » Creación de pantallas vegetales a fin de disminuir la visibilidad de las partes y obras del proyecto

- » Acondicionamiento del paisaje del borde del embalse con flora nativa, revegetación de taludes y terraplenes construidos por el proyecto.

Incompatibilidad visual

- » Enterramiento de tuberías y canales cuando el terreno lo permita

Artificialidad

- » Revegetación de los bordes de los caminos y continuidad vegetal entre éstos y el paisaje circundante.

Pérdida de atributo biofísico

- » Creación o mantención de sectores o zonas visibles con atributos biofísicos del paisaje similares a los afectados.

Modificación de atributos estéticos

- » Selección de una gama cromática para las partes y obras, en especial para el muro del embalse y tuberías que se integre con el paisaje.
- » Creación de pantallas vegetales en las zonas de mayor visibilidad a las partes y obras.

Fuente: adaptado de SEA (2019, p. 86).

Reasentamiento de población o actividades económicas

Como se indicó precedentemente, el reasentamiento comprende el proceso de desplazamiento y reubicación planificada que involucra tanto a poblaciones humanas como a sus actividades económicas o medios de subsistencia, como resultado de la afectación de tierras, siendo considerado como uno de los impactos más relevante a nivel social causado por el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Si bien no todos los proyectos hidroeléctricos implican desplazamiento de población, en caso de que así sea, deben evaluarse los impactos asociados.

Entre los factores que aumentan el nivel de complejidad del reasentamiento de población se encuentran la cantidad de personas que será necesario reasentar, así como la composición sociocultural de la población.

El análisis de impactos debe contemplar los distintos grupos de población afectada en forma diferenciada: a) la población a reasentar, b) la población que continuará viviendo en el lugar, con una nueva conformación de su entorno y c) la población receptora de la población desplazada. La evaluación requiere la consulta y participación de las poblaciones reasentadas y la población receptora (IFC, 2015, p. 78; SEA; 2014).

El análisis de impacto del reasentamiento de poblaciones urbanas y rurales debe considerar los cambios en las formas de dependencia con el territorio y el uso de recursos, así como en las relaciones y la forma de vida de la población afectada, incluyendo identificación, análisis y valoración de impactos en los distintos grupos, con mayor énfasis en poblaciones en situación de vulnerabilidad y grupos sociales específicos (poblaciones de agricultores familiares, agricultores ribereños, entre otros).

Por otro lado, en caso de desplazamiento económico en el área directamente afectada por el proyecto hidroeléctrico, se deben cuantificar y valorar los impactos sobre bienes inmuebles, predios productivos, medios de subsistencia, sitios de relevancia sociocultural (cementeros, iglesias y otros templos religiosos), comercios, tierras productivas de pequeños, medianos y grandes agricultores, comprendiendo los bienes materiales e inmateriales de referencia importante para la reproducción social de las poblaciones (MME, 2012).

Impactos en la población desplazada

Las características de la población que reside en el lugar inciden en la evaluación de los potenciales impactos (Correa, 2011). Algunos de los criterios para considerar en la identificación, análisis y valoración de los impactos son: el tiempo vivido en el lugar, siendo en general, a mayor tiempo de residencia, mayores los impactos, debido al arraigo de la población al territorio; el tipo de familia (extensa, nuclear, monoparental), que determina el tipo de apoyo y redes familiares; la posición de la persona en la familia (jefe/jefa de hogar, cónyuge, hijo/a).

Por otro lado, el modo de tenencia del inmueble: propietario, inquilino, poseedor, ocupante, entre otras; el uso dado a la propiedad: vivienda, desarrollo de una actividad económica (industria, comercio, servicios, agricultura, ganadería, alquiler, entre otras) o múltiples usos; y el grado en el cuál la vivienda y el entorno permite satisfacer necesidades básicas: a mayor satisfacción, mayor impacto. Se deben analizar también los ingresos económicos por las actividades desarrolladas en la propiedad o en el entorno; los ingresos derivados de las actividades productivas, que pueden ser las únicas fuentes de ingresos, o pueden representar solamente un porcentaje del ingreso de la unidad familiar, considerando que, a mayor dependencia económica, mayor es el impacto.

Respecto al tejido social se analiza el grado de cohesión entre los vecinos: a mayor cohesión se puede esperar un mayor impacto si el reasentamiento es individual, y un menor impacto si el reasentamiento es colectivo. Finalmente, en cuanto a la alternativa prevista de reasentamiento, cuando la población a ser reasentada conoce las alternativas y estas responden a sus necesidades, se espera que los impactos puedan ser considerados menores. En este sentido es fundamental que el proceso se dé en forma transparente, facilitando a la población el acceso a la información acerca de las alternativas disponibles.

De acuerdo con el modelo de riesgos y reconstrucción (Cernea, 2001; SEA, 2014) el desplazamiento involuntario no planificado debe considerar la evaluación de los siguientes potenciales impactos negativos, entre otros: pérdida de la tierra; pérdida de vivienda; pérdida de fuentes de ingreso; rompimiento de redes económicas (comercio, crédito), marginación y/o empobrecimiento; rompimiento de redes sociales, familiares y comunitarias, y desarticulación social; pérdida de acceso a servicios sociales: educación, salud, recreación; pérdida de acceso a servicios públicos: agua y saneamiento, energía, transporte; pérdida de sitios sagrados o significativos: iglesias, cementerios, enterratorios, lugares comunitarios.

Impactos sobre la población que continuará residiendo en el lugar

Se debe tener en consideración que el proceso de reasentamiento *“rompe las relaciones y redes socioeconómicas existentes entre las personas que se quedan y las que se van”* (SEA, 2014, p. 17). Por ejemplo, la pérdida de ingresos económicos en clientes, inquilinos o usuarios puede causar el cierre o pérdida de calidad de determinadas actividades, comercios, establecimientos o servicios. De la misma forma, *“el quiebre del vínculo social supone (...) la pérdida de un sistema de vida y costumbres constituidas a lo largo del tiempo entre la población que queda en el lugar y quienes fueron desplazados”* (p. 17), que puede causar el rompimiento de redes sociales tradicionales, familiares y/o comunitarias.

Asimismo, la población que queda en el lugar, debe adaptarse a los cambios generados en el entorno dado por los nuevos elementos que se construyen en él (presa, embalse, caminos, puentes, etc.) siendo necesaria la evaluación de la modificación de las dinámicas territoriales, (por fragmentación o nuevas alternativas de comunicación) y su influencia sobre los vínculos sociales asociados.

También, debe evaluarse la generación de nuevas actividades económicas y sociales en torno a las relaciones comerciales y de servicios derivadas de las obras, y al uso del embalse y sus riberas, el desarrollo de nuevas actividades productivas como resultado del aprovechamiento multipropósito. En este sentido, es importante también prever instancias participativas con la población que permanecerá en el lugar, a los fines de la planificación de las oportunidades que podrían e interesa desarrollar.

Impactos en la población receptora

Deben evaluarse los potenciales impactos sobre la oferta de mano de obra, servicios públicos y sociales (educación, servicios

de salud, espacios de recreación y otras infraestructuras), conflictividad social, entre otros.

Metodologías

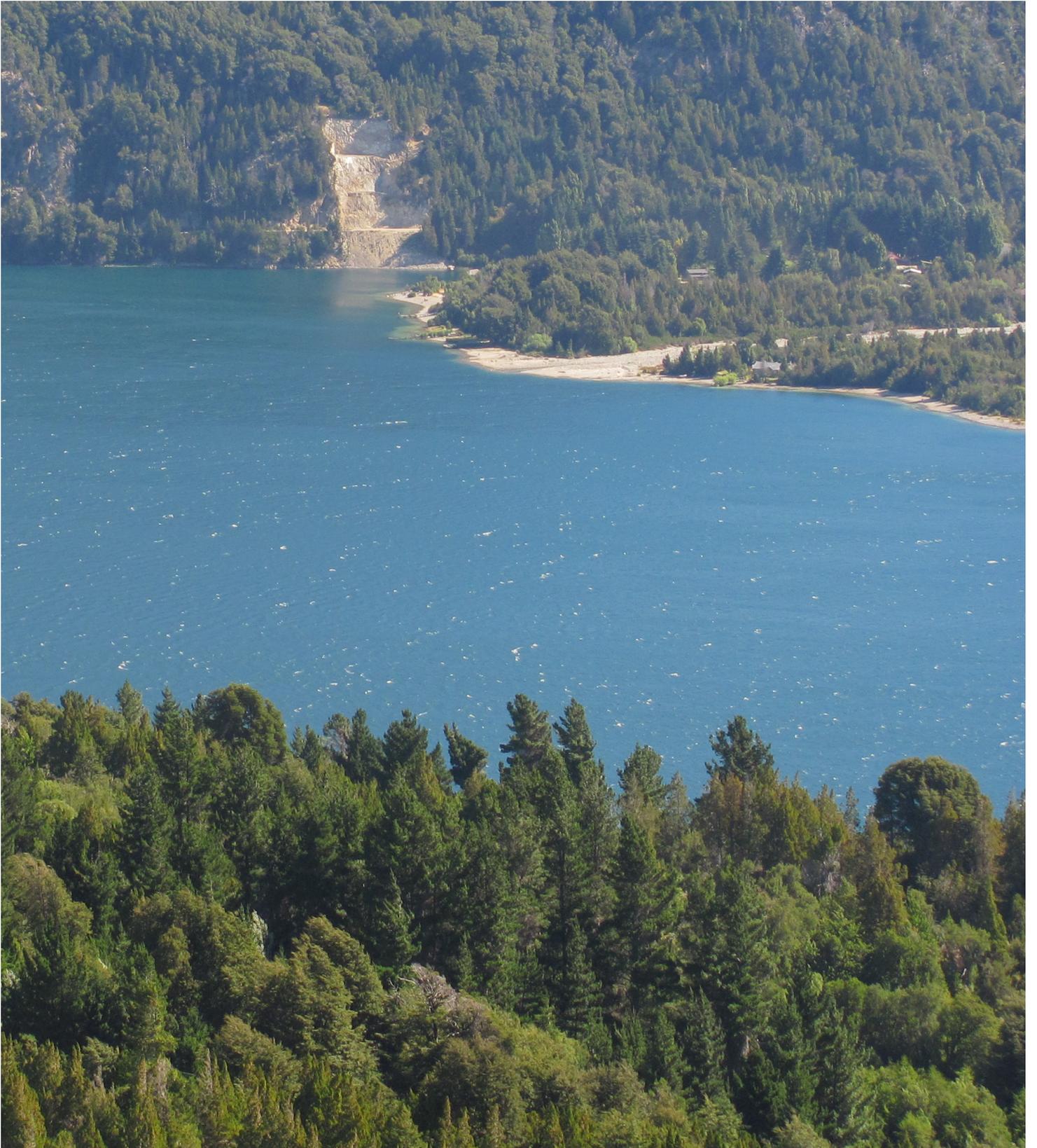
Existen varios modelos para el análisis de impactos sobre el medio socioeconómico, y en su mayoría están enfocados a los impactos por reasentamientos. Entre los más conocidos a nivel internacional se encuentran: Marco de Reasentamiento; Modelo de Riesgos de Empobrecimiento y Reconstrucción; Marco de Medios de Vida Sostenibles; Marco de la Comisión Mundial de Presas; Modelo Integral de Evaluación de Presas. Entre los más utilizados, se destaca el Modelo de Riesgos de Empobrecimiento y Reconstrucción (Cernea, 2001) que identifica ocho riesgos principales para prevenir el empobrecimiento económico, social y cultural, así como para restablecer y mejorar los medios de vida, incluyendo: pérdida de la tierra, pérdida del empleo remunerado, pérdida del hogar, marginalización, inseguridad alimentaria, aumento de enfermedades y mortalidad, pérdida de acceso a la propiedad comunal, y desarticulación social. Por otro lado, el Modelo Integral de Evaluación de Presas integra tres perspectivas distintas: biofísicas, socio-económicas y geopolíticas, en un único análisis, considerando diferentes impactos asociados a la construcción de la presa, complementando valoración objetiva y subjetiva (mediante encuestas de percepción a actores clave).

Por otro lado, algunas de las metodologías para realizar el análisis de impactos de reasentamientos son:

- » Análisis preliminar cualitativo por analogía con proyectos de características similares.
- » Método de extrapolación de tendencias, basado en la extrapolación lineal de las tendencias actuales de las condiciones socio-económicas relevadas en la línea de base.
- » Metodología de evaluación socioambiental de aprovechamientos hidroeléctricos (Ministerio de Minas y Energías, 2012) que requiere indicadores específicos para impactos negativos y beneficios socio-económicos, con sus respectivos índices diferenciados, siendo los beneficios aplicables a los sitios donde se localiza el proyecto.
- » Análisis financiero y económico desagregado en desplazamiento y reasentamiento, incluyendo el componente de restablecimiento socioeconómico de los medios de vida de las poblaciones afectadas.

Beneficios adicionales

Junto con el análisis de impactos se recomienda realizar un análisis de posibles beneficios adicionales (en tanto impactos positivos) que pueden surgir del proyecto hidroeléctrico. El objetivo de planificar beneficios adicionales es que los medios de subsistencia y niveles de vida que se vean afectados por el proyecto puedan mejorar con respecto a las condiciones previas al proyecto relevadas en la línea de base, para las comunidades afectadas. No deben entenderse los beneficios adicionales como compensaciones por el proyecto, sino justamente como parte integral del desarrollo del plan de reasentamiento.



10.

Medidas de mitigación

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 72).

Las medidas de mitigación deben proyectarse bajo el principio de jerarquía de mitigación, un modelo de planificación temprana que consta de una serie de pasos que se implementan de forma secuencial y jerarquizada (SAyDS, 2019a, p.72).

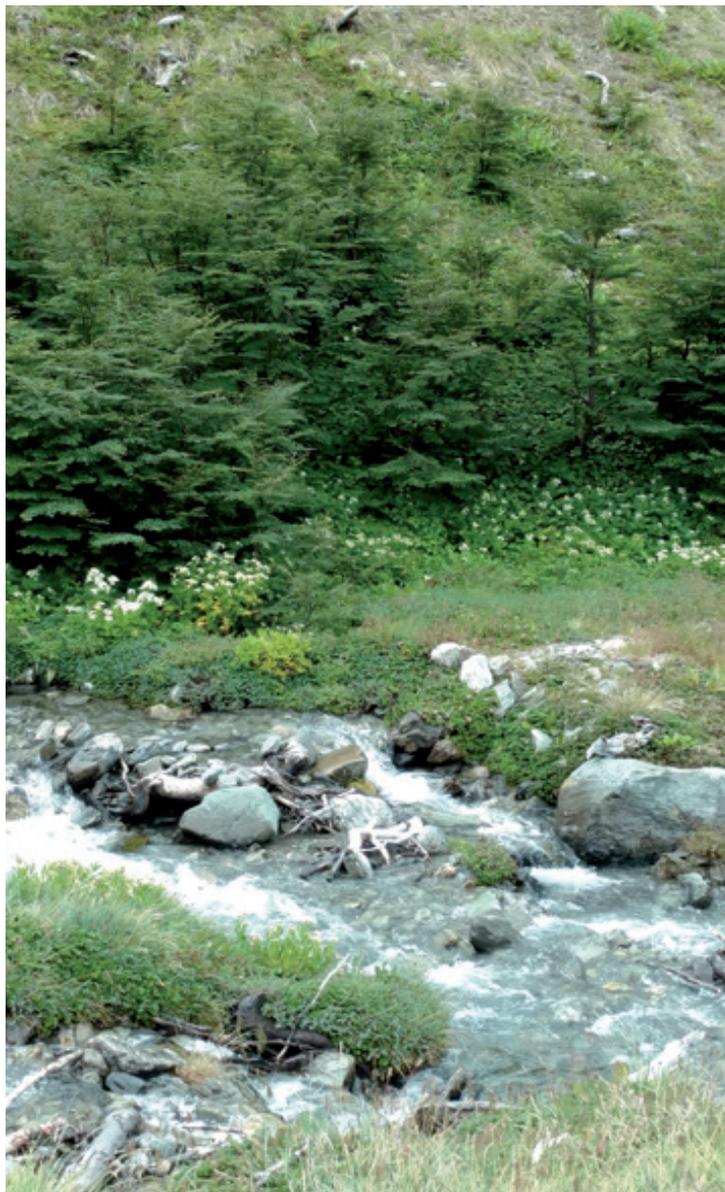
» **Evitar:** el primer nivel consiste en prevenir los impactos ambientales. Por ejemplo, podrá ser un cambio de ubicación, potencia, tamaño o de tecnología. Este tipo de medidas son más efectivas si se implementan desde fases tempranas del ciclo del proyecto (prefactibilidad/factibilidad) (SAyDS, 2019a, p.72-73).

» **Minimizar:** el siguiente paso busca reducir los impactos negativos que no pudieron ser evitados. Pueden ser abordados en cualquier fase del ciclo del proyecto. También podrán contemplar cambios de tecnología, escala o ubicación del proyecto, así como medidas de gestión ambiental (SAyDS, 2019a, p.72-73).

» **Restaurar:** se refiere a las acciones de reposición de los valores ambientales que fueron inevitablemente alterados por el proyecto y donde no se pudo aplicar las medidas precedentes. Se podrán implementar en la ejecución, operación y posterior al cierre del proyecto. La restauración ecológica se rige por el principio de equivalencia, por lo que se deberán recomponer los valores bióticos afectados al nivel precedente de su afectación (SAyDS, 2019a, p.72-73).

» **Compensar:** las compensaciones se aplican a aquellos impactos negativos significativos residuales que no pueden ser evitados, minimizados o restaurados. Estas medidas deben considerarse luego de que se hayan descartado las instancias anteriores de la jerarquía de mitigación. La compensación por pérdida de biodiversidad se rige por una serie de principios, entre los que se destacan la equivalencia ecológica, la búsqueda de adicionalidad, así como la existencia de límites a la ubicación, a la temporalidad de implementación y a los impactos no compensables, entre otros (SAyDS, 2019a, p.74).

A modo de ejemplo, se enuncian en la tabla 4.12 algunas medidas de mitigación asociadas a los niveles de jerarquía de mitigación. Estos ejemplos no son excluyentes, ni abarcan todas las medidas necesarias propias de cada proyecto.



Impactos relacionados con:	Jerarquía de mitigación	Ejemplos de medidas
Cambio climático. Adaptación. Resiliencia	Evitar	Selección de sitio.
	Minimizar	Infraestructura resiliente.
Sismicidad, deslizamientos	Evitar	Obras de drenaje y/o estabilización.
	Minimizar	Monitoreo y sistema de alerta temprana.
Afectación de la calidad del agua - proliferación de vegetación acuática, enfermedades relacionadas con el agua.	Evitar	Gestión adecuada de todo tipo de flujo de residuos y efluentes al cuerpo de agua (calidad de agua).
	Minimizar	Limpieza previa del área de embalse. Control entomológico de vectores (proliferación de enfermedades).
Cambios hidrológicos aguas abajo (superficiales y subterráneas). Caudales ecológicos, procesos erosivos y de sedimentación.	Evitar	Sostenimiento de caudales ecológicos en todos los hitos de obra.
	Minimizar	Manejo de los caudales necesarios para minimizar los impactos aguas abajo de la presa.
	Restaurar	Restauración de márgenes. Compensaciones de hábitats y servicios ecosistémicos.
	Compensar	Compensaciones asociadas a las pérdidas de producción agrícola aguas abajo.
Pérdida de biodiversidad terrestre (flora y fauna) por inundación de hábitats naturales por el embalse	Evitar	Selección de alternativa de sitio.
	Minimizar	Rescate y relocalización de fauna.
	Restaurar	Restauración ecológica post cierre del obrador.
	Compensar	Compensaciones ambientales por pérdida de biodiversidad (ej. protección de áreas naturales).
Afectación de ictiofauna y otras especies acuáticas por fragmentación de hábitats	Evitar	Selección de sitio.
	Minimizar	Pasos para peces. Protección de áreas de desove.
	Restaurar	Recría y liberación.
	Compensar	Compensaciones ambientales por pérdida de biodiversidad.
Relocalización de población o actividades económicas	Evitar	Selección de sitio o reducción del área a embalsar.
	Compensar	Relocalización con adicionalidad de beneficios.
Afectación de patrimonio cultural	Evitar	Evaluar alternativas de traza.
	Minimizar	Rescate de material.
	Compensar	Poner en valor el material rescatado.

Tabla 4.12. Ejemplos de medidas de mitigación para los diferentes niveles de la jerarquía de mitigación. Fuente: elaboración propia.

11. Plan de Gestión Ambiental

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 76).

El plan de gestión ambiental (PGA) es el documento que planifica la ejecución de las medidas de mitigación, y las acciones de monitoreo para las etapas de construcción, operación y cierre.

Debe ejecutarse en el marco de la gestión ambiental adaptativa, en un proceso sistemático e iterativo de revisión y mejora continua, el cual puede ser acompañado por un monitoreo participativo que permita aportes de distintos grupos de interés.

Estructura del PGA

Las medidas de mitigación y monitoreo deben estar estructuradas en programas y subprogramas que aborden los diferentes componentes (físicos, bióticos y socio-económicos), para todas las etapas del proyecto.

Los programas y subprogramas deben contener los lineamientos y objetivos de mitigación y monitoreo previstos. Cada uno de ellos, debe especificar las acciones con sus metas cuantificables, así como la frecuencia de implementación y evaluación de resultados (ver figura 4.20), su cronograma y presupuesto tentativo, así como los responsables de implementación.

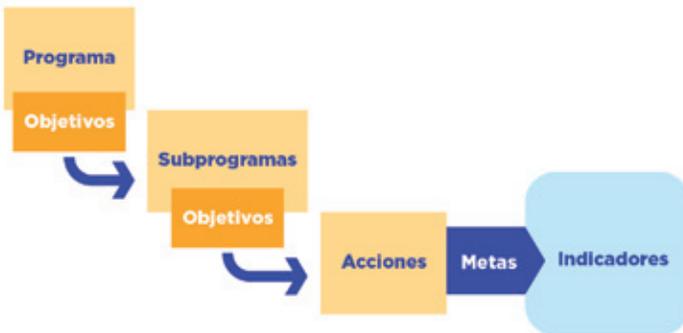


Figura 4.20. Esquema de planificación para los programas del PGA. Fuente: elaboración propia.

La adecuada evaluación de la implementación y desempeño del PGA permite adoptar las medidas necesarias para alcanzar los objetivos propuestos, en el marco de la gestión adaptativa. En este sentido, las acciones deben tener metas claras, que son el objetivo cuantitativo del programa en un periodo determinado. Las metas

permiten acreditar el grado de avance de los objetivos. Para evaluar el cumplimiento de las metas de mitigación es necesario contar con indicadores que evidencien resultados de la implementación de los programas y subprogramas. Los indicadores son un insumo vital para el proceso de monitoreo continuo. Es importante que este proceso cuente con la participación de las partes o actores interesados, que pueden aportar información y contribuir en las decisiones correctivas (World Bank, 2010).

Indicadores

Un indicador es una herramienta que debe permitir evidenciar resultados o condiciones determinadas. Debe generar información, cuantitativa y/o cualitativa, sobre los objetivos de un programa o proyecto. Los indicadores no pueden ser un número dado en un determinado momento, ya que no permitiría entender la dinámica de un proceso.

En este sentido, los indicadores deben estar respaldados en un contexto en el cual los cambios sean comparables en el tiempo, por lo que deben representar la relación entre dos o más variables, para poder emitir un diagnóstico veraz y/o mostrar el avance o efectividad de un programa (por ejemplo: tasas, índices, porcentajes, medidos en un lugar y tiempo determinado).

Un indicador también debe contar con valor de línea de base, que es un punto de referencia para la comparación. Este valor inicial se calcula con la información disponible al comienzo del programa, para estimar el punto de partida. De esta forma, cobra una relevante importancia la información de situación inicial, que es la que debe provenir de un sólido relevamiento de línea de base. La línea de base permite definir las metas para cada programa.

Dada la importancia de los indicadores, una correcta evaluación de la implementación de las medidas de gestión, debe contar con una serie de características que permitan su diseño e implementación efectiva. A tal efecto, se presentan en la tabla 4.13 algunas características e información que debe acompañar un indicador.

Características e información que debe considerarse para los indicadores
Descripción del indicador
El indicador debe expresar claramente el objetivo de medición.
Relevancia para la toma de decisión
Se define de qué forma contribuye la información que se genera para la toma de decisión (ej. permitirá diagnosticar el aumento de especies exóticas invasoras y tomar las siguientes decisiones).
Alcance
Se define qué información se podrá relevar y evaluar a través del indicador. (Ej. cambio en el riesgo de amenaza para un grupo de especie, en un espacio y tiempo dado).
Método de obtención del indicador
Se debe definir cuál es la información que se utilizará, los datos y las variables que van a formar parte de la medición.
Fórmula
Se especifica la fórmula propuesta para la medición (ej. $N^{\circ} Sp * P * \text{año}$).
Descripción de las variables que componen el indicador
Se describen las variables de la fórmula (ej. N ^o : Número, Sp: "especie indicadora" seleccionada, P: procedimiento de control).
Cobertura o escala
Se define la escala espacial (territorio dado) y temporal del indicador (ej. anual, semestral).
Fuente de datos
Se especifica la fuente de la información empleada. Si es fuente primaria o secundaria. En caso de secundaria, los organismos/ instituciones que publican o desarrollan la información.
Disponibilidad de los datos
Define cual es el formato en el cual los datos van a estar disponibles, por ejemplo, si van a estar digitalizados.
Periodicidad del dato
Cuál va a ser la frecuencia de obtención de los datos.
Periodicidad de publicación
Cuál va a ser la frecuencia de publicación de los datos.
Línea de base
Se indica la información de base, datos iniciales que se consideran al inicio de la implementación del programa y que formarán parte de la comparación.
Responsable
Responsable de llevar a cabo la medición.
Limitaciones y observaciones
Prever limitaciones en los objetivos del indicador, tanto actuales como futuras.

Tabla 4.13. Contenidos para el diseño de un indicador. Fuente: Elaboración propia.

Contenidos del PGA

Es importante que el PGA tenga una presentación clara y ordenada, para ello se sugiere el uso de fichas por programa o subprograma, con los contenidos señalados precedentemente.

La tabla 4.14, presenta los programas típicos de un PGA para un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico.

Tipo de medidas que atiende	Programa	Etapa constructiva		Etapa operativa		Etapa de cierre/abandono
		✓	Enfocado principalmente a:	✓	Enfocado principalmente a:	
Normativa	Cumplimiento legal ambiental	✓	Actualización y control de cumplimiento	✓	Actualización y control de cumplimiento	✓
Institucional	Articulación institucional	✓	Acciones conjuntas para la gestión de aspectos ambientales de la cuenca relacionados con el proyecto. Articulación para la formación de recursos humanos especializados y apoyo a la investigación	✓	Acciones conjuntas para la gestión de aspectos ambientales de la cuenca relacionados con el proyecto. Articulación para la formación de recursos humanos especializados y apoyo a la investigación.	✓
Gestión de obra	Gestión ambiental de obradores, villas, campamentos	✓	Aspectos específicos de la gestión de obra, coordinación y responsabilidades para la implementación de los programas de gestión de residuos y efluentes y otros programas o subprogramas (protección de fauna, protección de flora, seguridad vial, monitoreo de aire, agua, suelos, etc.)			✓
	Gestión ambiental de canteras, yacimientos,	✓	Habilitaciones y permisos. Operaciones de extracción y abandono según planes aprobados	NO		✓
	Estrategia ambiental de desvío, llenado	✓	Manejo del agua durante el desvío. Caudales ecológicos/ ambientales durante el llenado. Etapas de prueba.	NO	Etapas de prueba. Caudales ecológicos/ambientales durante la operación. Normas de generación y manejo del agua. Registros de erogaciones.	✓
	Cierres parciales y finales de etapa de obra y restauración ambiental (incluye suelos y vegetación, etc.)	✓	Desmantelamiento de estructuras. Retiro de escombros. Restauración del suelo y vegetación. Gestión de pasivos y áreas degradadas.	✓		✓
	Limpieza del vaso del embalse	✓	Limpieza del vaso previo al llenado.			

Tipo de medidas que atiende	Programa	Etapa constructiva		Etapa operativa		Etapa de cierre/ abandono
		✓	Enfocado principalmente a:	✓	Enfocado principalmente a:	
Específicos de gestión de corrientes residuales y sustancias peligrosas	Residuos sólidos urbanos	✓	Reducción, reutilización y reciclaje de RSU. Tratamiento y disposición adecuadas.	✓	Reducción, reutilización y reciclaje de RSU. Tratamiento y disposición adecuadas.	✓
	Residuos peligrosos	✓	Minimizar la generación. Acopio temporario, manejo y disposición adecuados. Especialmente en obradores, talleres y frentes de obra.	✓	Minimizar la generación. Acopio temporario, manejo y disposición adecuados. Vinculado a casa de máquinas, equipamiento electromecánico, talleres, depósitos y laboratorios	✓
	Residuos patogénicos	✓	Manejo y disposición adecuadas. Especialmente en Consultorios, salas de emergencias de villas, campamentos y obradores.	✓	Manejo y disposición adecuadas.	✓
	Sustancias peligrosas	✓	Evitar generación. Acopio temporario, manejo y disposición adecuados. Especialmente en obradores, talleres, laboratorios y frentes de obra.	✓	Evitar generación. Acopio temporario, manejo y disposición adecuados. Especialmente en obradores, talleres, laboratorios y frentes de obra.	✓
	Tanques de combustible	✓	Procedimientos de seguridad, mantenimiento y manipulación, contingencias. Estructuras de contención ante pérdidas y derrames. Especialmente en obradores, frentes de obra y área de servicios.	✓	Procedimientos de seguridad y mantenimiento y estructuras de contención ante derrames.	✓
	Efluentes líquidos	✓	Efluentes cloacales, especialmente en villas, campamentos y obradores. Efluentes industriales: en obradores y frentes de obra. Tratamiento y descarga adecuadas. Evitar contaminación de agua y suelo. Conducción de pluviales.	✓	Efluentes cloacales, especialmente de oficinas y áreas operativas. Efluentes de operaciones de lavado mecánico, Tratamiento y descarga adecuadas.	✓
	Efluentes gaseosos, calidad de aire y condiciones meteorológicas asociadas	✓	Control de la calidad del aire por dispersión de polvo y material particulado por movimiento de tierras y fuentes fijas y móviles de emisión de gases. Control de afectación a trabajadores. Minimización de emisiones de GEIs. Especialmente en obradores, frentes de obra.	✓	Orientado a control de la calidad del aire de fuentes móviles. Control de afectación a trabajadores. Control de emisiones de GEIs por los embalses. Generadores de emergencia, equipos de refrigeración.	✓
	Radiaciones no ionizantes - RNI			✓	LAT, estaciones transformadoras, otros.	
	Ruido y vibraciones	✓	Medidas de control	✓	Medidas de control en central y subestaciones	✓

Tipo de medidas que atiende	Programa	Etapa constructiva		Etapa operativa		Etapa de cierre/ abandono
		Enfocado principalmente a:	Enfocado principalmente a:	Enfocado principalmente a:	Enfocado principalmente a:	
Medio físico	Suelo	✓	Medidas de protección por acciones de excavación y movimientos de suelo. Medidas de prevención de la contaminación (vuelcos, derrames y disposición de residuos). Tratamiento y acopio para su utilización en remediación. Revegetación	✓	Medidas de prevención de la contaminación (vuelcos, derrames y disposición de residuos).	✓
	Geología	✓	Monitoreo de estructuras geológicas presentes. Monitoreo de procesos endógenos como sismicidad y vulcanismo.	✓	Monitoreo de estructuras geológicas presentes. Monitoreo de procesos endógenos como sismicidad y vulcanismo.	✓
	Geomorfología	✓	Medidas de control y monitoreo de laderas y pendientes en zona de obras y durante el llenado.	✓	Medidas de control y monitoreo de laderas y pendientes.	✓
	Hidrogeología	✓	Medias de control y monitoreo en aguas subterráneas.	✓	Medias de control y monitoreo en aguas subterráneas.	✓
	Hidromorfológica e hidrosedimentología	✓	Control de aporte de sedimentos al cauce por movimiento de tierras o aceleración de procesos erosivos. Control de parámetros hidrodinámicos.	✓	Monitoreo de sedimentación en cola de embalse, pérdida de vida útil del embalse. Fenómeno de aguas claras. Control de parámetros hidrodinámicos.	✓
	Calidad de agua superficial y subterránea	✓	Monitoreo de parámetros de interés según sitio de muestreo. Medidas para evitar la contaminación. Limpieza del vaso (materia orgánica) previa al llenado.	✓	Monitoreo en el embalse. (eutroficación, contaminación) Control de vectores de enfermedades de origen hídrico, especies invasoras o especies problema (didymo, mejillón dorado, macrófitas). Gestión de las actividades potencialmente contaminantes en el embalse y en la cuenca.	✓

Tipo de medidas que atiende	Programa	Etapa constructiva		Etapa operativa		Etapa de cierre/ abandono
		Enfocado principalmente a:		Enfocado principalmente a:		
Medio biótico	Protección de hábitats críticos	✓	Medidas de protección enfocadas a evitar impactos de las obras sobre humedales, ecosistemas sensibles y áreas de interés ecológico, hábitats de alimentación, cría y reproducción de especies de interés. Monitoreo orientado a detectar impactos no previstos y establecer medidas de mitigación y control de los mismos. Capacitación al personal de obra.	✓	Monitoreo de los impactos previstos y detección de impactos no previstos, evaluación de efectividad de las medidas de mitigación y control de los mismos. Manejo de áreas de protección especial definidas por el proyecto (perilagos, franja de protección permanente, áreas protegidas, áreas compensatorias, etc.)	✓
	Protección de comunidades vegetales	✓	Conformación de bancos de semillas y viveros. Monitoreo orientado a detectar impactos previstos e impactos no previstos y establecer medidas de mitigación y control. Capacitación al personal de obra.	✓	Conformación de bancos de semillas y viveros. Monitoreo orientado a detectar impactos previstos e impactos no previstos y establecer medidas de mitigación y control.	✓
	Protección de fauna terrestre	✓	Rescates de fauna durante el llenado, si fuera necesario. Prohibición de caza. Prevención de atropellamiento.	✓	Refugios, reservas o reinserción de especies rescatadas. Conectividad	✓
	Protección de ictiofauna	✓	Monitoreo limnológico durante el desvío y llenado del embalse.	✓	Monitoreo de ictiofauna. Evaluación de la eficiencia de sistema de transferencia de peces. Rescates y translocación si fuera necesario. Monitoreo de especies migratorias. Nuevas áreas de reproducción. Acuicultura y especies nativas	✓
	Protección de avifauna	✓	Rescates de fauna durante el llenado si fuera necesario. Prohibición de caza. Prevención de atropellamiento. Mitigación de ruidos en áreas sensibles.	✓	Refugios o reinserción de especies rescatadas. LAT. Iluminación áreas exteriores.	✓
	Prevención y control de especies exóticas invasoras	✓	Evitar introducción de especies. Monitoreo y control	✓	Monitoreo y control	✓
	Gestión y monitoreo de regímenes de caudales ecológicos	✓	Implementar y monitorear la estrategia ambiental de desvío y llenado. Cumplimiento de Caudales ecológicos/ambientales durante el desvío y llenado.	✓	Cumplimiento de Caudales ecológicos/ambientales durante la operación. Normas de generación y manejo del agua.	✓

Tipo de medidas que atiende	Programa	Etapa constructiva		Etapa operativa		Etapa de cierre/abandono
		✓	Enfocado principalmente a:	✓	Enfocado principalmente a:	
Medio socio-económico	Reasentamiento de poblaciones. Restablecimiento de medios de subsistencia	✓	Medidas específicas asociadas al reasentamiento.	✓	Medidas específicas asociadas al reasentamiento (ej. acompañamiento en recuperación de modos de vida; integración social; desarrollo económico. Seguimiento y control de actividades productivas o recreativas afectadas)	✓
	Empleo y desarrollo de proveedores	✓	Promoción del empleo y compras locales. Desarrollo de capacidades para aumentar empleo local. Desarrollo de proveedores locales. Abordaje de género.	✓	Gestión del desempleo al finalizar la obra.	✓
	Comunicación y relacionamiento comunitario		Brindar información del proyecto, avances, impactos esperados, de canales de comunicación habilitados para consultas y reclamos. Evitar molestias e impactos a la población local. Oportunidades de participación y Prevención. Seguridad vial. Monitorear la presión sobre los servicios locales. Prevención de conflictos.	✓	Brindar información del proyecto, de canales de comunicación habilitados para consultas y reclamos. Oportunidades de participación y Prevención. Monitoreos participativos.	✓
	Pueblos originarios	✓	Brindar información clara y accesible. Cumplimiento de protocolos acordados durante las consultas previa e informada.	✓	Cumplimiento de los acuerdos establecidos en caso de corresponder.	✓
	Patrimonio cultural	✓	Rescate y protección de sitios y materiales identificados. Procedimiento ante hallazgos. Capacitaciones.	✓	Puesta en valor del material rescatado.	-
	Gestión de reclamos ambientales	✓	Proveer canales de comunicación, consulta y reclamos. Procedimiento para atención y respuesta. Prevención de conflictos.	✓	Mantener canales de comunicación, consulta y reclamos. Procedimiento para atención y respuesta. Gestión y prevención de conflictos.	✓
Capacitación	Capacitación y educación ambiental	✓	Capacitaciones al personal de obra en temas generales de protección ambiental según componentes del medio, actuación ante hallazgos arqueológicos y paleontológicos; contingencias y emergencias; higiene y seguridad; relacionamiento comunitario; implementación general del PGA y responsabilidades.	✓	Capacitaciones al personal operario, por ej.: en control y monitoreo de impactos ambientales asociados a la etapa de operación; higiene y seguridad; contingencias y emergencias; relacionamiento comunitario. Educación ambiental al personal y comunidad local.	✓

Tipo de medidas que atiende	Programa	Etapa constructiva		Etapa operativa		Etapa de cierre/abandono
		✓	Enfocado principalmente a:	✓	Enfocado principalmente a:	
Salud, higiene y seguridad laboral	Salud, higiene y seguridad laboral	✓	Cumplimiento de normas de seguridad e higiene. Capacitaciones. Registros de incidentes/accidentes.	✓	Cumplimiento de normas de seguridad e higiene. Capacitaciones. Registros de incidentes/accidentes.	✓
Contingencias y emergencias	Contingencias y emergencias	✓	Contingencias durante la obra, seguridad laboral. Crecidas que superen la previsión de las obras temporarias.	✓	Implementación del Plan de Acción Durante Emergencias (PADE).	✓
Información Ambiental	Sistema de información ambiental	✓	Incorporación de la información del proyecto. Avances e indicadores de seguimiento.	✓	Incorporación de la información del proyecto. Avances e indicadores de seguimiento. Acciones y medidas en implementación	✓
Compensaciones	Plan de compensaciones	✓	Implementación de compensaciones por pérdida de biodiversidad y compensaciones sociales, en forma anticipada o concurrente a los impactos, de forma de evitar pérdidas previas a los beneficios.	✓	Implementación y seguimiento	

Tabla 4.14. Programas típicos de un PGA de un proyecto hidroeléctrico. Fuente: elaboración propia.

Ejemplo de contenidos de los programas o subprogramas

A continuación, se presentan, a modo de ejemplo, fichas de algunos de los principales programas o subprogramas típicos de un proyecto hidroeléctrico, siendo su contenido orientativo y no exhaustivo, debiéndose completar y adecuar a cada proyecto en particular.

Se sugiere que los subprogramas estén divididos en dos fichas, considerando las etapas de construcción y operación.

Objetivos	Impactos a abordar	Medidas de mitigación previstas	Acciones	Metas e indicadores	Frecuencia de implementación	Cronograma semestral		Presupuesto	Responsable	Grupos de interés participantes	Evaluación de resultados (frecuencia)
						Año 1	Año 2				
Control de amenazas de la biodiversidad	Introducción y dispersión de especies invasoras	Evitar/minimizar	Manejo de ligustro	Reducir un % la superficie de ligustro	Bimestral	X					
			Acción 2	Meta 2	Mensual	X	X	X	X		
Protección de hábitats acuáticos	Regulación de caudales		Monitoreo de las condiciones ecológicas del corredor fluvial	Establecimiento de caudal mínimo a erogar							

PROGRAMA N°	HIDROLOGÍA
SUBPROGRAMA N°	MONITOREO Y GESTIÓN ADAPTATIVA DE ALTERACIONES HIDROMORFOLÓGICAS Y SEDIMENTOLÓGICAS
Etapas	Construcción, operación y mantenimiento.
Objetivos	Organizar e implementar las medidas de gestión adaptativa que permitan controlar los impactos en flujos sedimentarios, a corto, mediano y largo plazo; incorporando las mejoras necesarias que surjan del monitoreo continuo de los efectos en el tiempo, e incorporando las nuevas medidas de gestión según el estado del arte para preservar el ecosistema fluvial.
Impactos a abordar	<ul style="list-style-type: none"> » Reducción de flujos sedimentarios, transporte y movilización de sedimentos. » Alteraciones en la profundidad y ancho del cauce. Efectos de incisión. » Modificaciones en la estructura y sustrato del lecho del río » Alteraciones en la morfología ribereña. » Alteraciones en la permeabilidad del cauce y conexión con masas de agua subterránea. » Reducción funcional de la llanura de inundación. » Impactos indirectos y acumulativos sobre el ecosistema del cauce.
Tipo de medida: mitigación (evitar, minimizar, restaurar, compensar). Monitoreo.	<ul style="list-style-type: none"> » Minimización en la alteración de los flujos sedimentarios sobre las características del cauce y la morfología de ribera, manteniendo el cauce libre de obstáculos adicionales. » Restauración de efectos de cárcavamiento y de márgenes más degradadas (colocación de gaviones, vegetación y forestación de áreas de ribera). » Restauración en la incisión del cauce, para evitar descenso del nivel freático. » Monitoreo de las alteraciones directas e indirectas, correlacionar con los parámetros de seguimiento de caudal ecológico y de biodiversidad ictícola y ribereña, en forma continua y para realizar el seguimiento de cumplimiento, y para implementar acciones de mejora continua a la luz de los resultados y nuevos conocimientos según los avances del estado del arte, en el marco de los compromisos de gestión ambiental adaptativa.
Metas / Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> » Índices de sostenimiento hidromorfológico. Indicadores específicos: » Cantidad de caudal circulante (monitoreado en el Subprograma de Dinámica Fluvial) » Inversión del régimen estacional de caudales (monitoreado en el Subprograma de Dinámica Fluvial) » Porcentaje de retención de sedimentos por la represa. » Porcentaje de remoción de sedimentos por otras actividades u obstáculos (dragados o extracción de áridos, defensas existentes, etc.). » Variaciones en la profundidad y anchura del río, estadísticamente representativas por secciones, en un período de tiempo determinado (considerar las potenciales variaciones en las mediciones de continuidad longitudinal; la continuidad transversal; la continuidad vertical). » Modificaciones en la estructura del lecho del río, estadísticamente representativas por secciones de control, en un período de tiempo determinado. » Indicadores de madurez rápida con estabilización de orillas e islas o alteración del trazado en planta del cauce. » Modificaciones erosivas en las zonas ribereña por tramo y tiempo determinado. » Funcionamiento de la llanura de inundación en la regulación de crecidas y caudales de punta. » Seguridad de defensas. » Perfil sedimentológico representativo por tramo y tiempo determinado.
Actividades (ejemplos)	<ul style="list-style-type: none"> » Ordenamiento territorial en áreas de ribera y delimitación de zonas de amortiguamiento. » Monitoreo del nivel freático. » Correlación de los monitoreos de alteraciones morfológicas con los de calidad de aguas, nutrientes, y efectos en la cadena trófica. » Mitigación de efectos erosivos (gaviones, forestación). » Mantenimiento de la limpieza del cauce (eliminación de otros obstáculos, residuos, etc.). Idem en las áreas de ribera. » Restauración de márgenes erosionadas, y de deterioro de la vegetación ribereña. » Restauración de la llanura de inundación, incorporando defensas más efectivas. » Restauración de descenso del nivel freático. » Restauración en el lecho del cauce (vegetación según corresponda). » Monitoreo de seguimiento de las acciones de restauración que se vayan incorporando. » Monitoreo de seguimiento de gestión de los impactos.
Frecuencia de implementación	» Implementación en forma continuada, durante todo el ciclo de vida del proyecto, acorde a la frecuencia específica que se defina para cada indicador, según la sensibilidad del medio receptor.

PROGRAMA N°	HÁBITATS CRÍTICOS
SUBPROGRAMA N°.....	HUMEDALES: MONITOREO Y GESTIÓN ADAPTATIVA DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Etapas	Construcción y operación. ³⁸
Objetivos	<p>Desarrollar las medidas de prevención, mitigación y compensación en base a los impactos identificados y sustentados en la línea de base. Implementar el monitoreo continuo de la calidad de los humedales identificados en el AI.</p> <p>Implementar las medidas de gestión adaptativa que permitan evitar la pérdida de humedales; evitar y/o minimizar la afectación de hábitats (degradación, fragmentación) y de la biodiversidad asociada</p> <p>Implementar las medidas de mitigación para las etapas de desvío, llenado y operación.</p> <p>Monitoreo de los humedales relictuales y los nuevos ambientes generados a partir del llenado de los embalses.</p> <p>Observación. La implementación de este programa está vinculado a las medidas implementadas en los programas de hidrología y caudales ecológicos.</p>
Impactos a abordar	<p>Impactos directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos sobre hábitats de importancia para la conservación, originados por distintas acciones y componentes de las obras, que pueden dar lugar a:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Pérdida o afectación de humedales (degradación, fragmentación, etc.). » Pérdida o afectación de la biodiversidad asociada. Pérdida o disminución de poblaciones endémicas y/o amenazadas. » Pérdida y/o afectación de los servicios ecosistémicos que brinda la biodiversidad.
Tipo de medida: Mitigación (evitar, minimizar, restaurar, compensar). Monitoreo.	<p>Medidas para evitar/minimizar impactos negativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Diseño e implementación de medidas para evitar el impacto directo de obras auxiliares y/o complementarias. » Diseño e implementación de estrategias con la finalidad de minimizar el impacto durante las fases de desvío, llenado y operación sobre los hábitats de humedal aguas abajo, las cuales suelen estar adaptadas a pulsos de caudal estacional. » Implementar prácticas de manejo sostenible a fin de evitar la degradación de humedales en el AI. <p>Medidas de restauración</p> <ul style="list-style-type: none"> » Identificar medidas de restauración de las áreas impactadas, especialmente en la fase de desvío y llenado. » Restauración ecológica de humedales de importancia para las funciones ecosistémicas y la conservación de especies endémicas y/o amenazadas (por ej. en compensación por la pérdida o afectación de hábitats). » Relocalización de especies, en caso de afectación de especies amenazadas o endémicas con distribución restringida (las medidas de reintroducción deben estar incluidas en un plan específico de conservación, diseñado junto a las autoridades ambientales). <p>Medidas de compensación por pérdida de biodiversidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Creación de áreas protegidas bajo el principio de equivalencia ecológica. Desarrollo de planes de manejo que garanticen la continuidad y viabilidad de la biodiversidad afectada. » Observación: estas medidas requieren la participación de las autoridades competentes en las materias, instituciones científicas y académicas dedicadas a la conservación. <p>Monitoreo</p> <ul style="list-style-type: none"> » Monitoreo del estado de situación de los humedales en el área de influencia, específicamente la “pérdida de disponibilidad de hábitat” para las especies consideradas clave (bio-indicadoras de calidad del hábitat o especies amenazadas) en distintos escenarios, que varían según las condiciones de desvío, llenado y operación. » Monitoreo del impacto directo e indirecto en los humedales afectados por los cambios en el caudal ecológico para las distintas etapas del proyecto. » Monitoreo de los cambios que ocurran en los humedales relacionados con la transformación del embalse en los ambientes, a lo largo de la operación. » Monitoreo participativo de los servicios ecosistémicos asociados, identificados en la línea de base. <p>Observación: Las estaciones de monitoreo deberán estar emplazadas en función de relevamiento realizado en la línea de base.</p>
Metas / Indicadores	<p>Los indicadores pueden ser indicativos del estado estructural del humedal (ej. la calidad de agua), de sus funciones ecológicas (ej. filtración de agua) y del impacto en el uso de servicios ecosistémicos (ej. consumo de agua).</p> <p>Algunos ejemplos:</p> <p>Estructurales:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Indicadores hidromorfológicos. » Indicadores fisicoquímicos. » Parámetros biológicos (abundancia, riqueza, diversidad). » Cambios en superficie de la cobertura vegetal/ ecosistema. » Presencia de exóticas invasoras. <p>Funcionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Concentración de clorofila. » Tasa de descomposición orgánica. Niveles tróficos. » Usos de los Servicios Ecosistémicos: » Uso del recurso/ n° de beneficiarios * tiempo determinado

Actividades (ejemplos)	<ul style="list-style-type: none"> » Evitar el uso de los humedales como zona de sacrificio (ej. emplazamiento del obrador, depósitos, estacionamiento de maquinaria, establecimiento de caminos, etc.) » Evitar el relleno de humedales con funciones ecológicas clave para los servicios ecosistémicos o aquellos que sean hábitats de conservación de especies amenazadas o endémicas de distribución restringida (en caso de que se justifique la necesidad de relleno, los ambientes deben quedar sometidos a acciones de restauración o de compensación). » Prohibición de vuelcos de residuos o efluentes líquidos de ningún tipo en los humedales del AI. » Control del uso de recursos como el agua o la pesca. » Implementación de manejo de uso sustentable de pesquerías. » Implementación de estaciones hidrometeorológicas y sensores fisicoquímicos de registro continuo. » Monitoreo de los humedales frente a los procesos de variabilidad y cambio climático. » Monitoreo de niveles freáticos y del agua en superficie. » Monitoreo de variables fisicoquímicas del agua y de componentes bióticos (por ej. vegetación, fauna, peces, plancton, otros). » Monitoreo de las márgenes y vegetación ribereña. » Monitoreo de fauna asociada. » Medidas de restauración de márgenes erosionadas. » Instalación de sitios de monitoreo en sitios representativos de los distintos los tipos de humedales más relevantes en términos de: servicios ecosistémicos, usos tradicionales y hábitats críticos para la biodiversidad. » Monitoreo participativo con la comunidad afectada de seguimiento de las acciones de restauración y compensación que se vayan incorporando.
Frecuencia de implementación	<ul style="list-style-type: none"> » Implementación en forma continua, durante todo el ciclo de vida del proyecto, acorde a la frecuencia específica que se defina para cada indicador, según la sensibilidad del medio receptor.

Plan de reasentamiento

El reasentamiento de la población que vive en el área que será ocupada por un embalse o que tiene predios productivos dentro de ella, es un proceso social complejo y muy sensible.

Un principio fundamental de los procesos de reasentamientos es que la población afectada debe contar en el nuevo emplazamiento como mínimo con las mismas condiciones de vida que tenía en el lugar de procedencia, pero se deberá tomar como horizonte una mejora efectiva de las mismas.

Otro principio es considerar también la minimización de los trastornos inmateriales difíciles de mensurar (incertidumbre, ansiedad, etc.) que provoca el reasentamiento, a través de un enfoque integral del proceso. El reasentamiento no comienza ni finaliza con el traslado de las personas o familias reasentadas a un nuevo domicilio, sino que el proceso debe comprender la preparación para enfrentar la adaptación al nuevo entorno, incluyendo la disposición de las herramientas necesarias y el potencial aprovechamiento de nuevas oportunidades.

El reasentamiento provoca impactos sobre la experiencia vital de las personas, afectando su sociabilidad, sus expectativas y sus dinámicas cotidianas, además de las condiciones materiales de existencia. Estas afectaciones pueden significar (y es deseable que así lo sean) oportunidades de mejora; pero tanto para minimizar los impactos negativos como para potenciar los positivos, es imprescindible que el reasentamiento se realice en el marco de un proceso participativo amplio, con acceso a la información necesaria y en base a una agenda elaborada junto con los propios interesados.

Un plan de reasentamiento debe contemplar las siguientes tres etapas cronológicas de gestión, más dos aspectos que son transversales a todo el proceso:

Etapas:

1 - Identificación de afectados, impactos y oportunidades

Tener un conocimiento preciso y detallado de los afectados es el primer paso imprescindible para un plan de reasentamiento. Esta identificación implica establecer, al menos, las categorías de desplazados físicos (personas a reasentar), desplazados económicos (personas a las que el proyecto les afecta su fuente de ingreso), comunidades receptoras y, dentro de esas tres categorías, identificar a los grupos en situación de vulnerabilidad.

Por grupos en situación de vulnerabilidad se entiende a aquellas personas o grupos que puedan sufrir un mayor impacto del proyecto por sus características particulares o sean sometidos a un mayor riesgo (enfermos, personas mayores, etc.), grupos que tengan una menor representatividad (por ejemplo, desocupados), que puedan tener una mayor carga de trabajo (por ejemplo, las mujeres con tareas domésticas y tareas de cuidado) que no dispongan de suficiente protección legal (ocupantes de tierra sin títulos de propiedad), que sean pasibles de acciones discriminatorias o segregacionistas o que estén sujetas a un tratamiento especial conforme normativa específica (por ejemplo, las comunidades originarias).

Los ejemplos mencionados son a modo indicativo; cada proyecto debe asumir un esfuerzo en la identificación de los grupos vulnerables y desarrollar planes especiales enfocados a reducir los impactos del proyecto posiblemente potenciados por dicha vulnerabilidad. Cabe destacar que los procesos de reasentamientos

resienten o rompen las redes locales de sociabilidad, pudiendo afectar directamente el funcionamiento de los grupos familiares.

El segundo paso en esta etapa es la identificación precisa de activos a afectar, considerando los distintos tipos de tenencia de la tierra, los inmuebles existentes en ella, las mejoras introducidas y las ventajas de su ubicación (en tanto cercanía al agua, a redes de transporte o facilidad de acceso a diversos recursos, entre otros). Ello incluye una tasación preliminar de los mismos con vistas a la reposición de estos activos.

Se debe identificar el valor productivo actual de los predios (tanto urbanos como rurales), es decir el nivel de renta que usufructúan los afectados en la actualidad, y también el valor potencial de dichos predios, referido a la renta potencial que sus propietarios u ocupantes podrían obtener de su explotación. En este sentido, es importante relevar la fertilidad de las parcelas, los tipos y características de cultivos (por ejemplo, el valor de un bosque implantado según su antigüedad), la ubicación en redes de circulación y/o comercialización, etc.

Otro aspecto de trascendencia es el relevamiento de lazos sociales y el entorno cultural, ya que los lazos de vecindad, la pertenencia a grupos religiosos, culturales, deportivos y otros, constituyen una parte del patrimonio de los reasentados que es necesario valorar y, replicar, en la medida de lo posible, en el lugar de reasentamiento o ser compensados por su pérdida o afectación. Esta información es relevante también para el diseño de planes de gestión en las zonas de emplazamiento y acciones de seguimiento y asistencia técnica y/o económica que apunten a una mejor inserción de los desplazados en sus nuevas locaciones y a una mejor convivencia con las comunidades receptoras.

Otra componente del relevamiento es la infraestructura pública que la población a reasentar dispone en sus lugares de origen, como escuelas, servicios públicos (agua potable y cloacas, recolección de residuos, redes de transporte, etc.), templos, centros de salud, espacios verdes, entre otros.

En los nuevos sitios de emplazamiento, debe garantizarse al menos el acceso al mismo tipo y calidad de esta infraestructura y, en la medida de lo posible, mejorarse. La infraestructura pública debe abordarse con un enfoque integral, que contemple los aspectos puramente estructurales con las acciones no estructurales correspondientes, de manera de transformarse en una oportunidad de generar una dinámica social positiva entre los reasentados y las comunidades receptoras.

Respecto de los desplazados económicos (aquellas personas que, sin ser sujetos de reasentamiento, se les afecta el acceso a sus ingresos o recursos de subsistencia), deben identificarse también con precisión, contemplando todas las zonas en que podría haber efectos de este tipo, y no solo en las áreas de obra y embalse (por ejemplo, aguas abajo de la presa).

Por último, el relevamiento debe comprender a las comunidades de recepción (en caso que estas existan) que repentinamente ven

modificado su entorno y deben adaptarse a convivir con nuevos grupos de personas que incluso podrían superar en número a la comunidad original. Además, los estudios se deben orientar a identificar la dinámica social de grupos identificados territorialmente, étnicamente, culturalmente, religiosamente o por sus actividades productivas o comerciales, entre otros, que puedan sentirse desplazados, amenazados, discriminados o en competencia con las personas reasentadas, lo que puede traducirse en escenarios de riesgo o de sociabilidad negativa. A diferencia de la población desplazada (tanto física como económicamente), que se define por criterios objetivos de afectación y en base a fuentes de información primaria (censos detallados, considerando las diversas tipologías), en el caso de la población receptora el alcance en la identificación estará guiado por un análisis de la dinámica social, económica y cultural, la que no debería limitarse a un criterio geográfico o de cercanía, sino de relaciones, cultura, usos y costumbres.

En las tres categorías mencionadas (reasentados, desplazados económicos y comunidades de recepción) es importante relevar las percepciones sobre el proyecto, las ideas o deseos sobre el futuro, las preferencias, temores, condicionamientos sociales o culturales, etc. Estos relevamientos, en cada caso, deben realizarse a través de metodologías adecuadas que permitan obtener un conocimiento de mayor profundidad, evitando la imposición de opciones de respuesta cerradas o categorías preelaboradas.

Considerar las perspectivas de futuro para los diferentes grupos es un insumo de primer orden para la promoción de oportunidades que genera el proyecto, ya sea que estén basadas en los nuevos ambientes que se generan (embalse, áreas protegidas, etc.) como de las mejoras en la infraestructura de servicios públicos y redes de comunicación física y electrónica más amplias. De esta manera suelen incorporarse como opciones para las comunidades afectadas nuevas actividades económicas, como el turismo o agricultura bajo riego, nuevas ofertas culturales o de circuitos de comunicación, mejoras en la calidad de vida por la provisión de servicios o espacios públicos y la posibilidad de compartir los beneficios.

En esta etapa es conveniente evaluar las opciones de espacios físicos posibles para concretar el reasentamiento (tierras de producción o áreas urbanas), lo que implica un análisis de los tipos de propiedad existentes, del mercado de tierras o de políticas locales de urbanismo, etc. según los casos.

Es importante establecer claramente una línea de corte temporal que determine los sujetos de derechos y los alcances de los mismos, evitando que el proyecto sea una fuente de especulación y oportunismo. Las implicancias de esta fecha deben ser comunicada fehacientemente, asegurando una cabal comprensión por parte de la población local.

Asimismo, la identificación de la población impactada, como así también toda la información sobre impactos, debe ser puesta a revisión por parte de los interesados en un lapso razonable, previendo mecanismos concretos de corrección, actualización y/o reclamos.

2 • Diseño de alternativas de reasentamiento

A partir de la información anterior, se deben diseñar alternativas de reasentamiento, para cada tipo de afectación, y considerar las medidas de asistencia técnica para recomponer las condiciones de vida y de sustento, y potenciar las oportunidades de mejora. En este punto, deben ser claras las normas de indemnización a ofrecer y los organismos encargados de su procedimiento.

En esta etapa pueden diferenciarse tres momentos: a) el diseño técnico de alternativas en base a la información resultante del relevamiento inicial y los condicionamientos estructurales (disponibilidad de tierras, limitaciones ambientales, posibilidades de crear nueva infraestructura, presupuesto disponible, etc.); b) la elección de la alternativa deseada por parte de la población a reasentar; c) la elaboración propiamente dicha de un plan de reasentamiento a través de mecanismos participativos.

Como principio general, se consideran prioritarios los planes de reasentamiento planificados, ya sean individuales o colectivos, por sobre las opciones de indemnización simple. Aún en este último caso, y ante la opción clara del afectado y su grupo familiar, se debe prestar asistencia en las transacciones que den lugar al reasentamiento efectivo de las personas en su nuevo lugar.

Se definen las prioridades, puntos focales, la secuencia temporal del proceso (cronograma), y los responsables de llevar a cabo cada etapa o tarea del plan. Entre las prioridades, la planificación de la logística del traslado y la preparación de las condiciones de recepción son aspectos clave.

Se debe elaborar además un plan de relaciones interinstitucionales, tomando en cuenta los organismos de nivel local, provincial o nacional que tengan competencias sobre los diversos aspectos involucrados en el proceso (salud, educación, servicios públicos, seguridad, desarrollo, etc.), con los que se puedan establecer planes de acción conjunta.

Se debe desarrollar un conjunto de indicadores de seguimiento del avance y de la efectividad del proceso, que permitan identificar necesidades de ajuste o de incorporar nuevas acciones.

Los procesos participativos tienen las siguientes características centrales: acceso pleno a la información (incluyendo los motivos de las opciones y exclusiones presentadas por el diseño técnico de alternativas); representatividad de todos los grupos afectados; cronograma de actividades acorde a los tiempos necesarios para cumplir con los objetivos del plan.

Al igual que en la primera etapa, una vez elaborados los planes de reasentamiento en el marco participativo, debe haber instancias de revisión, corrección, validación del proceso y quejas y reclamos, asignándoles un tiempo prudencial en función de las características de la población afectada.

3 • Implementación

En primer término, frente al inicio efectivo del reasentamiento, se debe realizar una exhaustiva revisión de la planificación, especialmente en aquellos casos en los que medie un espacio temporal de importancia entre ambos momentos. Particularmente, reviste especial importancia revisar la logística y el acondicionamiento de los espacios de recepción (infraestructura, organización territorial, etc.), así como también las acciones sociales planificadas con los habitantes de las zonas de recepción para lograr una integración plena de los nuevos habitantes y reducir posibles escenarios de conflicto. También es importante revisar la vigencia y disposición de las organizaciones participantes y de los responsables asignados.

El plan de comunicación también debe ser revisado y actualizado, de manera tal de asegurar que todas las partes estén informadas del inicio de la implementación del reasentamiento, de sus distintas etapas, de los derechos y obligaciones de las partes, de su rol y la oportunidad para cada una de las acciones requeridas para que el plan cumpla con los objetivos previstos.

El desplazamiento físico (mudanza) se debe realizar por categoría, sector, tipo de propiedad o cualquier otra forma secuencia que se haya acordado en el periodo previo, con funcionamiento pleno de los mecanismos de asistencia (al desplazado como al receptor), del acceso a la información y de atención a las quejas y reclamos.

Se deben aplicar las actividades de seguimiento diseñadas para evaluar el minucioso cumplimiento del cronograma establecido, y los indicadores de efectividad que permitan detectar a tiempo la necesidad de acciones correctivas.

En esta etapa deben estar funcionando plenamente las acciones de asistencia a los desplazados y a la población receptora, de modo que el reasentamiento propiamente dicho (mudanza de los pobladores) se realice en el marco de un proceso de adaptación en marcha, y hasta tanto se alcancen los objetivos de recuperar, como mínimo, las condiciones de vida previas al reasentamiento.

Ejes transversales:

Plan de participación y comunicación

La alta sensibilidad del proceso de reasentamiento hace que la participación de la población afectada y la garantía del acceso a la información sean aspectos a los que se le debe dar la más alta prioridad y calidad de gestión, además de cumplir con las condiciones básicas fijadas por las normas.

Contar con un plan de comunicación es un proceso transversal a todas las etapas del reasentamiento, considerando las especificidades en cada una de ellas, incluyendo el apoyo a las actividades de asistencia, ya sean productivas, sanitarias, culturales o de cualquier otra índole. El plan de comunicación para el reasentamiento debe tener coherencia y complementariedad con el plan general de la comunicación del proyecto.

Los procesos participativos deben ser diseñados como espacios de producción, es decir, como instancias donde las ideas, los conocimientos y las posiciones de los afectados puedan traducirse en acciones concretas, que puedan corregir, ampliar o reemplazar planes de gestión prediseñados en la etapa técnica.

Los interesados deben poder decidir en forma activa, y contando con la información necesaria, los aspectos principales de su nuevo asentamiento, vecindad, infraestructura pública, servicios y demás cuestiones que hagan efectivo un igual o mejor nivel de vida que el que disponían en el lugar de residencia original.

Los acuerdos generales sobre los planes de reasentamiento deben plasmarse en encuentros públicos, con representación de todos los interesados, documentando su evolución y cumplimiento por parte de todas las partes. En aquellos casos que algunos de estos aspectos no puedan ser sometidos a la decisión de los interesados, el promotor del proyecto deberá informar fehacientemente de la situación y alcance de esas variables, en forma previa a los acuerdos.

El acceso a la información debe considerar el concepto de transparencia activa, que implica que la puesta a disposición de la información sobre todos los aspectos en los que impacta el proyecto, en formatos adecuados para su comprensión, incluyendo instancias presenciales de explicación, si fuera necesario. El cumplimiento de las obligaciones emanadas de las normas sobre acceso a la información debe considerarse como el nivel mínimo requerido, aunque ello no siempre puede satisfacer el criterio de transparencia activa mencionado.

Durante todo el proceso, se deben asegurar canales de comunicación adecuados y accesibles para la población para la solicitud de información, realizar sugerencias o quejas, y que las mismas sean atendidas y respondidas en tiempo y forma, incluyendo instancias presenciales.

Entre la información a brindar a los interesados se incluye la cartografía de detalle de los límites del embalse y las áreas habitadas o productivas afectadas, las áreas con restricción de uso (zonas buffer, áreas protegidas u otras) y las zonas de recepción, entre otros.

Documentación del proceso

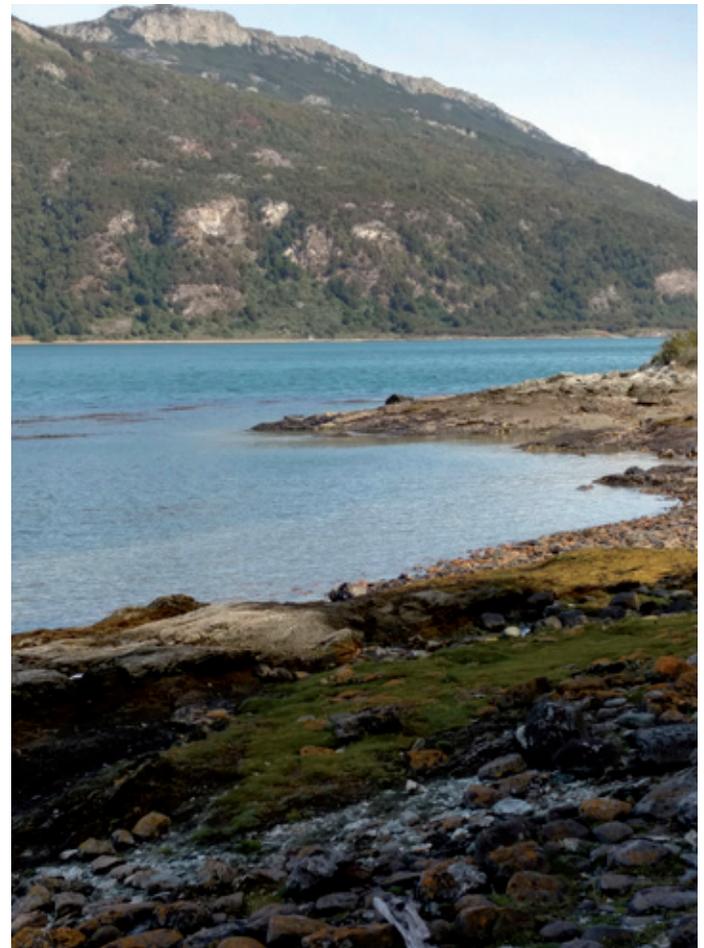
Independientemente de la documentación formal en instancias jurídico-administrativas que se requiera para la compra-venta de inmuebles o procesos judiciales, es importante la documentación del proceso de reasentamiento, que tiene varios objetivos:

- » Dejar constancia de la información brindada, de los temas abordados, de los acuerdos alcanzados, de las distintas etapas que se cumplieron en el proceso y de la participación de los distintos afectados o interesados en cada una de ellas.
- » Reducir la posibilidad de conflictos por discrepancias y malos entendidos.

- » Disponer de registros fehacientes ante las autoridades de aplicación, organismos de financiación y demás instituciones involucradas en el proyecto.

Documentar el proceso implica diferentes tipos de registros, según los casos y las situaciones, sin perjuicio de lo que taxativamente exijan las normas en la materia en cada jurisdicción. Entre otros tipos de registro se pueden mencionar:

- » Documentos formales: firma de acuerdos entre las partes.
- » Documentos de gestión: propuestas, agendas y actas de reuniones, planillas de asistencia, ubicación geográfica de los eventos, etc.
- » Documentos de trabajo: productos elaborados en las instancias participativas, talleres, etc.
- » Documentación brindada a los interesados/afectados.
- » Registros y estadísticas de reclamos y consultas.
- » Registro audiovisual de los encuentros: fotografías, videos, audios.
- » Informes de coordinadores de talleres o moderadores de eventos.



12.

Sistema de información ambiental

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 82).

Un Sistema de Información Ambiental (SIA) es un conjunto estructurado de información y de tecnologías que permiten la aplicación de metodologías y procedimientos para el tratamiento y acceso a la información para la gestión ambiental sostenible de los proyectos hidroeléctricos.

El desarrollo de un SIA, conlleva la aplicación de SIG entendido como integración organizada de funciones y de datos geográficos diseñados para capturar, almacenar, analizar y desplegar información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

La generación del SIA como soporte y complemento de los estudios para la implementación de proyectos hídricos, se debe llevar a cabo con toda aquella información georeferenciada o pasible de georreferenciación de la línea de base, la evaluación de impactos el PGA. El SIA, de esta manera, se constituye en la fuente de información futura a ser utilizada en la gestión ambiental adaptativa del PGA y en otros temas específicos vinculados al proyecto.

La implementación como sistema de información, permite recuperar la información con rapidez, siendo capaz de manipular, analizar e integrar datos de diferentes fuentes y temas con dimensión espacial y temporal. Proporciona, además, una fuente de información gráfica y alfanumérica, y permite proveer productos cartográficos, facilitando el desarrollo y la gestión de los estudios.

Actualmente los SIG son parte de las políticas gubernamentales nacionales e internacionales y han devenido en el desarrollo de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) destinadas a garantizar la interoperabilidad en beneficio de su utilización y difusión pública. Un SIA generado en el marco de un proyecto hidroeléctrico necesita cumplir con ciertos requerimientos técnicos para integrarse con estas iniciativas de manejo e interoperabilidad de la información, entre ellas, la aplicación de estándares que garantizan la calidad, organización y disponibilidad de la información.

Lineamientos básicos para la implementación de un SIA

El desarrollo de un SIA, requiere definir una serie de conceptos básicos en su implementación que provienen de la Geodesia: Sistema de Referencia Planimétrico, Sistema de Referencia Altimétrico, Sistema de Proyección. En el país, estos conceptos están definidos y normalizados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El inicio de los proyectos generalmente integra estudios topográficos y la implementación de redes de apoyo planialtimétricas, constituyéndose en el marco de referencia planialtimétrico del proyecto que debe ser incorporado al SIA y que será utilizado para vincular cualquier estudio que necesite alta precisión. La implementación de una base geodésica en el área de estudio da consistencia geométrica a la información, fundamentalmente en la evaluación de los impactos.

Un componente básico del SIA para el desarrollo de los estudios de proyectos hidroeléctricos, lo constituye la integración al sistema de un modelo digital del terreno o de elevación. Si bien en las primeras etapas puede no es necesario contar con modelos de alta precisión, a medida que evoluciona el proyecto la precisión de la información a obtener de ellos es fundamental en la definición de los estudios.

Escalas de trabajo

Las distintas etapas de un proyecto requieren distintas escalas de análisis y de mapeo de la información. En las primeras etapas de estudios exploratorios y de inventario, las pequeñas escalas son las más utilizadas. La información recolectada fundamentalmente de fuentes secundarias es de escala regional. A medida que se avanza en las etapas del proyecto se necesitan mayores definiciones para los estudios y por lo tanto se valoriza la información obtenida a grandes escalas, entre ella, la integración de datos generados en campo.

Un SIA consolidado geoméricamente desde el inicio es fundamental para acompañar el desarrollo de los estudios y la generación de nuevo conocimiento que surja con la aplicación de metodologías SIG. Esto permite integrar toda información técnica y de la obra civil y electromecánica del proyecto necesaria para la interpretación de los estudios ambientales.

Resulta necesario conocer la escala de cada información para usarla adecuadamente, ya sea en procesos de análisis espacial o en la generación de cartografía. La escala a utilizar en la generación de cartografía, dependerá de la escala de obtención y modelación de la información.

Aportes de los SIG a los estudios ambientales

El SIA permite la integración de la información existente a nivel local, regional o nacional, la publicación de datos y productos propios del proyecto. Facilita el acceso a la información producida en el marco del proyecto hidroeléctrico y su aplicación a otros casos.

La aplicación de herramientas geográficas de un SIG permite georreferenciar la información generada para el proyecto en sus distintas etapas y facilita la sistematización del SIA y el seguimiento

Bibliografía



- ACUMAR- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. (2017). Protocolo para el abordaje de procesos de relocalización y reurbanización de villas y asentamientos precarios en la Cuenca Matanza-Riachuelo.
- Aguilar Martínez, G.A.; Fuentes Mariles, O.A.; Aragón Hernández, J.L.; Faustino De Luna, C. y Hernández Aguilar, D.A. (2018). Morfología aguas abajo de una presa. UNAM, México. Presentado en el XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica de Buenos Aires, Argentina.
- ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica e Eletrobras, (1999). Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas, ANEXO II - Ficha Técnica
- ANLA - Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2018). Guía para la definición, identificación y delimitación, del área de influencia. Colombia.
- Arboleda Gonzáles, J. A. (2008). Manual para la Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, Obras y Actividades. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Ariza López, F. J. y Rodríguez Pascual, A.F. (2008). Introducción a la normalización en Información Geográfica: la familia ISO 19100. Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica. Universidad de Jaén. España.
- Astorga Jorquera, E.; Soto Oyarzún, L. e Iza, A. (Editores) (2007). Evaluación de impacto ambiental y diversidad biológica. UICN, Gland, Suiza.
- Attewell, P. B. y Farmer I. N. (1979). Principles of engineering geology. Chapman and Hall, London.
- Baigún, C.; Oldani, N. y Van Damme, P.A. (2011). Represas hidroeléctricas en América Latina y su impactos sobre la ictiofauna: lecciones aprendidas p. 397-416. En: Van Damme, P.A., F. Carvajal-Vallejos & J. Molina Carpio (Eds.). Los peces y delfines de la Amazonía boliviana: hábitats, potencialidades y amenazas. Edit.INIA, Cochabamba, Bolivia.
- Baigún, C. y N. Oldani (2001). Funcionamiento de los sistemas de transferencia para peces de la baja cuenca del Plata. Resultados y perspectivas. III Taller Internacional sobre enfoques regionales para el desarrollo y la gestión de embalses en la cuenca del Río de la Plata. Posadas, 14-17 de Marzo 2001.
- Baigún, C. y N. Oldani (2006). Impactos ecológicos de represas en ríos de la porción inferior de la cuenca del Plata: escenarios aplicados a los recursos pesqueros. Humedales fluviales de América del Sur, hacia un manejo sustentable.
- Barredo Cano, J. (1996). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio, RAMA, Madrid. España.
- Bartolomé, L. J. (2008). GPDs y desplazamientos poblacionales: algunas claves para su comprensión como procesos sociales complejos. Universidad Nacional de Misiones. Argentina.
- Benzaquén, L.; Blanco, D.; Bó, R.; Firpo Lacoste, F.; Kandus, P.; Lingua, G.; Minotti, P.; Quintana, R. (2009). Avances sobre la propuesta metodológica para un sistema nacional de clasificación e inventario de los humedales de la Argentina.
- Benzaquén, L.; Blanco, D.; Bó, R.; Firpo Lacoste, F.; Kandus, P.; Lingua, G.; Minotti, P. y Quintana, R. (editores). (2017). Regiones de Humedales de la Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Fundación Humedales/Wetlands International, Universidad Nacional de San Martín y Universidad de Buenos Aires. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/regioneshumedabaja2.pdf>
- Bernabé Poveda, M. y López Vázquez, C. (2012). Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales. UPM Press, 1ª edición. Madrid, España.
- BID - Banco Interamericano del Desarrollo (2015). Guía para evaluar y gestionar los impactos y riesgos para la biodiversidad en los proyectos respaldados por el Banco Interamericano de Desarrollo, Graham Watkins editor.
- Blua, P.; Carniglia, D.; Carranza, R.; Catelli, L.; García, S.; Gerbi, G.M.; González Videla, L.; Lara, L.A.; Mendía, J.C.; Regini Nuti, M.; Palhano, N.; Pedersen, L.; Ratto, N.; Santoro, V.; Soares, D.F. (2018). La Evaluación de Impacto Ambiental- EIA, herramienta fundamental del desarrollo sustentable. Compilado por Albina. L. Lara. 1ed. Lugar Editorial. CABA. Argentina.
- Bravard, J.P. y Petit, F. (1997). Les cours d'eau, dynamique du système fluvial. In: L'information géographique, volume 62, N°2. p. 93.
- CAMESSA - Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (2018). Informe Anual 2018. Disponible en: <http://portalweb.camessa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/Informe%20Anual%202018.pdf>

- Cánovas del Castillo, E., V. (1998). Tratado básico de presas. Tomo II, Colección Señor N° 11 Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid, España.
- Canter, L. (2008). Guidance Related to the Summary and Abstract of an EIS. National Oceanic & Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Northeast Regional Office, Gloucester (MA).
- Castelli, L. y Spallasso, V. (2007). Planificación y Conservación del Paisaje. Herramientas para la Protección del Patrimonio Natural y Cultural. Fund. Naturaleza para el Futuro. 1a ed. Buenos Aires.
- Cernea, M. M. (2001). Reasentamiento de Población y Estudios Sociales. Disponible en: <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/235961468340761911/pdf/671900SPANISH00nOyOesudiosOsociales.pdf>
- Cernea, M. M. (2004). Social impacts and social risks in hydropower programs: Preemptive planning and counter-risk measures. In Keynote address: Session on social aspects of hydropower development. United Nations Symposium on Hydropower and Sustainable Development Beijing, China.
- CFI - Corporación Financiera Internacional (2005). Manual para la preparación de un plan de acción para el reasentamiento. Washington, DC.
- Chehébar, C.; Novaro, A.; Iglesias, G.; Walker, S.; Funes, M., Tammone, M. y Didier, K. (2013). Identificación de áreas de importancia para la biodiversidad en la estepa y el monte de Patagonia. Administración de Parques Nacionales, Wildlife Conservation Society, INIBIOMA y The Nature Conservancy.
- Chow, V. T.; Maidment, D. R. y Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Ediciones McGraw-Hill. Colombia.
- CMR- Comisión Mundial de Represas (2000). Represas y Desarrollo: Un Nuevo Marco para la Toma de Decisiones. Earthscan. Londres.
- Codina, R. (2001). Calidad Visual Vulnerable del Paisaje: un indicador para evaluar el impacto ambiental. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, N° 18, pp. 43-51.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2014). Manual para elaboração de estudos para o licenciamento com avaliação de impacto ambiental. Anexo único (artigo 1º da Decisão de Diretoria N° 217/2014/I, de 06/08/2014).
- CONEVAL - Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2013). Manual para el Diseño y la Construcción de Indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México. México.
- CONICET; IANIGLA; SAyDS (2014). Manual del Inventario Nacional de Glaciares. Disponible en: http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/wp-content/uploads/legales/manual_inventario_v1.3_02-03-14.pdf
- Consejo de Europa (2000). Convenio Europeo del Paisaje. Ciudad de Florencia. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/planes-y-estrategias/desarrollo-territorial/090471228005d489_tcm30-421583.pdf
- Da Costa, M.R., Moretti Mattos, T., Muñoz-Mas, R., Martínez-Capel, F., Fernandes, H., Araújo, F.G. (2015). Estimación de caudales ecológicos basada en simulación del hábitat físico en un pequeño río del sudeste de Brasil. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 41:245-252.
- Daroni, S.D. (2010). Inventario de presas y centrales hidroeléctricas de la República Argentina. Ministerio del Interior de la Nación. Argentina.
- Decreto 2109 (1994). Decreto Reglamentario de la Ley N° 5951. Impacto Ambiental, Artículo 7. Documento de síntesis. Mendoza, Argentina.
- Díaz, S. y Pascual, U. (2018). Assessing nature's contributions to people. Science, Vol. 359, Issue 6373, pp. 270-272. DOI: 10.1126/science.aap8826.
- Diez Hernández, J. M. y Burbano, I. (2007). Tecnología Ecológica para la Planificación de Cuencas Hidrográficas: Regímenes Caudales Ambientales. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Vol 5 N°. PP 20-31.
- Dingman, S. L. (1994). Physical Hydrology. Macmillan Publishing Company, 575 p.
- EBRD - European Bank for Reconstruction and Development (2016). Resettlement Guidance and Good Practice.
- Eletrobras; Departamento Nacional de Aguas e Energía Eléctrica; Ministério das Minas e Energia Brasil (1997). Instruções para estudos de viabilidade de aproveitamentos hidrelétricos. Ficha técnica.
- Espinoza, G. (2002). Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Cooperación Técnica N° ATN/JF-6618-RG. Programa de apoyo para el mejoramiento de la gestión ambiental de países de América Latina y el Caribe. BID -CED Santiago, Chile.
- European Commission (2009). Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document N°23. Guidance Document on Eutrophication Assessment in the Context of European Water Policies.

European Commission (2015). Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. CIS guidance document N° 31.

Gabinete Nacional de Cambio Climático. Ministerio de Energía. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático. Versión I - 2017.

Gabinete Nacional de Cambio Climático. Ministerio de Energía. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático. Versión I - 2017.

Gallego-Lopez, C.; Essex, J. (with input from DFID) (2016). Designing for infrastructure resilience. Evidence on Demand. UK. Disponible en: http://dx.doi.org/10.12774/eod_tg.july2016.gallegolopezsessex4

Global Water Partnership (2011) ¿Qué es la GIRH? Disponible en (Page last edited: 21/12/2011): <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/ACERCA/por-que/PRINCIPALES-DESAFIOS/Que-es-la-GIRH/>

Gómez, A.; Wagner, L.; Torres, B.; Martín, F.; Rojas F. (2014). Resistencias sociales en contra de los megaproyectos hídricos en América Latina. Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe. No. 97, pp. 75-96.

González de Vallejo, L. (2004). Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Madrid.

González M.; C. A. (1989). Simulación hidrológica. Ingeniería Agrícola. Ingeniería e Investigación. Issue 19, p. 63-70, eISSN 2248-8723. Print ISSN 0120-5609. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingeinv/article/view/19673/20744>

Gullison, R.E.; Hardner, J.; Anstee, S.; Meyer, M. (2015). Buenas prácticas para la recopilación de datos de línea base de biodiversidad. Preparado para el Grupo de Trabajo sobre Biodiversidad de Instituciones Financieras Multilaterales y la Iniciativa Intersectorial sobre Biodiversidad (CSBI).

Haines-Young, R.H. y Potschin, M.B. (2009): Methodologies for defining and assessing ecosystem services. Final Report, JNCC, Project Code C08-0170-0062, 69 pp.

Hynes, H. B. N. (1970). The ecology of running waters. University of Toronto Press, Toronto, Canadá.

HELCOM (2006). Desarrollo de herramientas para la evaluación de la eutrofización en el mar Báltico Balt. Sea Environ. Proc. No 104.

IANIGLA - Inventario Nacional de Glaciares. (2018). Resumen ejecutivo de los resultados del Inventario Nacional de Glaciares. IANI-GLA-CONICET,

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Disponible en: http://www.glaciaresargentinos.gob.ar/?page_id=2571

IBAMA. (2007). Termo de referência para elaboração do estudo de impacto ambiental e o respectivo relatório de impacto ambiental - EIA/RIMA. Aproveitamento hidroelétrico Belo Monte (PA). Brasil.

ICE/BID. (2012). Proyecto hidroeléctrico reventazón: estudios ambientales adicionales. Parte e: plan de manejo de la biodiversidad.

IFC-WBG. (2015). Hydroelectric Power A Guide for Developers and Investors.

IFC-WBG. (2015). Hydroelectric Power A Guide for Developers and Investors.

International Hydropower Association. (2011). Hydropower Sustainability Assessment Protocol. Downloaded from <http://www.hydro-sustainability.org> on 05 December 2012 Pp33-42.

International Rivers Network/Red Internacional de Ríos (2002) Guía Ciudadana sobre la Comisión Mundial de Represas. Berkeley, California, USA. Traducción por Samuel DuBois. Disponible en: <https://www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/wcdguide-s.pdf>

IPCC (2013). Cambio Climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Resumen técnico y preguntas frecuentes. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

Kirchherr, J. & Charles, K.J. (2016). The social impacts of dams: A new framework for scholarly analysis. Environmental Impact Assessment Review. Disponible en:

Kumar, A.; Schei, T.; Ahenkorah, A.; Caceres Rodriguez, R.; Devernay, J-M.; Freitas, M.; Hall, D.; Killingtveit, A.; Liu, Z. (2011). Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Chapter-5-Hydropower-1.pdf>

Lattera, P.; Barral, P.; Carmona, A.; Nahuelhual, L. (2015). ECOSER: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial. <http://eco-ser.com.ar/> Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_pt99_protocolo_colaborativo_de_evaluacion_y_mapeo_de_servicios_ecosistemicos_y_vulnerabilidad_socio-ecologica_para_el_ordenamiento_territorial.pdf

Ledec G. & Quintero J.D. (2003). Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects, Latin America and the Caribbean Region, Sustainable Development Working Paper 16. The World Bank Latin America and the Caribbean Region.

Liaudat, E. y Ortega E. (2008). Hidroelectricidad: un plan posible. En: Actas del V Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. Tucumán, 3 al 6 de noviembre, Comité Argentino de Presas.

MAB - Movimento dos Atingidos por Barragens (2014). Populações Atingidas por Barragens. Movimento dos Atingidos por Barragens.

Matteucci, S. D. y Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.

Menéndez Arán, D. (2016). Desvío de río para la construcción de presas. Departamento de Construcciones Facultad de Ingeniería - UBA. PRESAS (74.08 / 94.06).

Menéndez Arán, D.; Rodríguez Diez, A. y Goyheneche, P. (2018). Hacia la consolidación de un consenso en la industria: definición de las distintas etapas de ejecución en proyectos hidroeléctricos. Ministerio de Energía y Minería de la Nación. Argentina.

MEyM - Ministerio de Energía y Minería (2018) Marco de Gestión de Riesgo Ambiental y Social. Programa RenovAr. Banco Mundial Garantía FODER - Fondo de Energías Renovables. Documento Preliminar.

MAyDS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2018). Plan Nacional de Restauración de Bosques Nativos. Programa Nacional de Protección de los Bosques Nativos. Dirección Nacional de Bosques.

MAyDS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2015). Estrategia Nacional de Biodiversidad. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/estrategia-biodiversidad_2016-2020.pdf

MAyDS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y Aves Argentinas (2017). Categorización de las Aves de la Argentina según su estado de conservación. Disponible en: <http://avesargentinas.org.ar/sites/default/files/Categorizacion-de-aves-de-la-Argentina.pdf>

Ministerio de Energía de Chile (2014). Valor paisajístico en el SEIA. Aplicación a proyectos de líneas de transmisión eléctrica y sus subestaciones.

Ministerio de la salud de la Nación (s.f.). Directrices para la prevención y control de Aedes aegypti. pp. 08. Disponible en: <http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000235cnt-01-directrices-dengue-2016.pdf>

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (1994). Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. Grandes presas. Serie de monografías. Centro de publicaciones Secretaria General Técnica MOPU.

Ministerio de Salud de la Nación (2010). Enfermedades infecciosas leishmaniasis visceral Diagnóstico de Leishmaniasis Visceral. Guía para el equipo de salud. Disponible en: http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000798cnt-2012-03-15_leishmaniasis-visceral-guia.pdf

Ministerio de salud de la Nación (2012). Argentina se perfila como país libre de paludismo ante la OPS. Disponible en: <http://www.msal.gob.ar/prensa/index.php/noticias-de-la-semana/487-argentina-se-perfila-como-pais-libre-de-paludismo-ante-la-ops>

Ministerio de salud de la Nación (s.f.). Paludismo/Malaria. Información para equipos de salud. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/salud/epidemiologia/paludismo>

Ministerio de Salud la Nación (2010). Curso sobre Enfermedades Vectoriales para Agentes Comunitarios en Ambiente y Salud. Módulo IV: Leishmaniasis. Disponible en: <http://www.msal.gob.ar/images/stories/bes/graficos/0000000171cnt-07-2-3-3-H-modulo-leishmaniasis.pdf>

MME - Ministério de Minas e Energia (2012). Metodologia para Avaliação Socioambiental de Usinas Hidroelétricas. Série de estudos do meio ambiente. Governo Federal do Brasil.

MOP - Ministerio de obras Públicas (s.f.). Manual de Participación Ciudadana. Gobierno de Chile.

Morello, J.; Matteucci S. D.; Rodríguez, A. F.; Silva, M. (2012). Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos, la ed. - Buenos Aires : Orientación Gráfica Editora, 752 p.

SAyDS - Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2019b). Guía para la Elaboración de una Evaluación Ambiental Estratégica. Buenos Aires. Argentina. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/evaluacion-ambiental/estrategica/guia-elaboracion>

Schumm, S.,A. (1963). Tentative Classification of Alluvial River Channels. Geological Survey Circular 477, U.S. Geological Survey, Washington 25, D. C. Washington.

SDHyPC - Secretaría de Derechos Humanos y Pluralismo Cultural (2011). Primer Plan Nacional de Acción en Derechos Humanos (2017-2020). Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_nacional_de_derechos_humanos_2018.pdf

SEA - Servicio de Evaluación Ambiental (2014). Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental del Reasentamiento de Comunidades Humanas. República de Chile.

SEA - Servicio de Evaluación Ambiental (2019). Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental del Valor Paisajístico en el SEIA. República de Chile. Disponible en: <https://www.sea.gob.cl/documentacion/guias-evaluacion-impacto-ambiental/articulo-11-ley-19-300>

Secretaría de Energía (1987). Manual de Gestión Ambiental para Obras Hidráulicas con Aprovechamiento Energético, Secretaría de Energía. Aprobado por Res. S.E. 475/1987 y 718/1987

Subsecretaría de Recursos Hídricos (2010). Inventario de Presas y Centrales Argentinas, Tomo I.

Thomas R. Payne & Ian G. Jowett.(2013). SEFA - Computer Software System for Environmental Flow Analysis Based on the Instream Flow Incremental Methodology. Proceedings of the 2013 Georgia Water Resources Conference, April 10-11, Athens, Georgia.

Tarback, E. J. & Lutgens, F. K. (2005). Ciencias de la Tierra. Pearson Educación S. A., Madrid.

U.S. EPA - Agencia de Protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos; U.S. AID - Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional; CCAD - Comisión Centro Americana Ambiente y Desarrollo. (2011). Guía de Revisión Técnica de EIA: Generación y Transmisión de Energía. Volumen I.

UVa - Universidad de Valladolid (2017). Estudio de Caudal Ecológico Aprovechamientos hidroeléctricos Río Santa Cruz - Argentina. Preparado para UTE Represas Patagonia. Argentina. Disponible en: <http://saludsantacruz.gob.ar/secretariadeambiente/wp-content/uploads/2017/11/2.-Caudal-Ecologico.pdf>

Vallarino Cánovas del Castillo, E. (1998). Tratado básico de presas. 4ª edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España.

Villarreal, H.; Álvarez, M.; Córdoba, S.; Escobar, F.; Fagua, G.; Gast, F.; Mendoza, H.; Ospina, M.; y Umaña, A. (2006). Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad: 185-226 (en) Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá. Colombia.

Walantus L. H.; Spinelli G. R.; Rossi G. C. (s/f). Vigilancia Epidemiológica. Seguimiento de criaderos de mosquitos de interés sanitario, en la zona de afectación de la represa de Yacyretá. Convenio Vigilancia Epidemiológica. Seguimiento de Criaderos de Mosquitos de Interés Sanitario, entre la Universidad Nacional de Misiones y Entidad Binacional Yacyretá. disponible en: <http://www.ege.fcen.uba.ar/wp-content/uploads/2016/02/41-Mosquitos-en-la-zona-de-afectaci%C3%B3n-de-la-represa-de-Yacyret%C3%A1.pdf>

Watkins, G.; Atkinson, R.; Canfield, E.; Corrales, D.; Dixon, J.; Factor, S.; Hardner, Jared; Hausman, H.; Hawken, I.; Huppman, R.; Josse, C.; Langstroth, R.; Pilla, E.; Quintero, J.; Radford, G.; Rees, C.; Rice, D.; Villalba, A. (2015). Guía para evaluar y gestionar los impactos y riesgos para la biodiversidad en los proyectos respaldados por el Banco Interamericano de Desarrollo. Unidad de Salvaguardias Ambientales (VPS/ESG) Nota Técnica N°IDB-TN-932.

World Bank (2017) Hydropower Sector Climate Resilience Guidelines Beta version 15 (Excerpt corresponding to the Chapter 3 Climate resilience guidelines for the hydropower sector).

World Bank (Editor) (2010). Participatory Monitoring and Evaluation, in Topics: Community Driven Development (b). Washington D.C.

World Commission on Dams (2011). Dams And Development A New Framework For Decision-making. Earthscan Publications Ltd, London And Sterling, Va, 2001.

WWF - World Wildlife Fund (2010). Factsheet. Caudal ecológico. Salud al ambiente, agua para la gente. Disponible en: http://awsasets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf

' ' s ! \$ 4 - 4 - z \$ ' / A Z ' ' % & ' / z % ' ' / ! ' ' & z ' ' / ' / Z & 4 ' ' ! \$ z + ' ' & z % | / \$ z ' 4 x ' & \$ / z %



Secretaría de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación