



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**MONITOREO AMBIENTAL DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE  
UNA HIDROELÉCTRICA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

**Sergio Rolando Mendizábal Rosales**

Asesorado por el Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Guatemala, agosto de 2018



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONITOREO AMBIENTAL DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE  
UNA HIDROELÉCTRICA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**SERGIO ROLANDO MENDIZÁBAL ROSALES**

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO FRANCISCO MELINI SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2018



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales
EXAMINADOR	Ing. Buenaventura Coronado Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
EXAMINADOR	Ing. Juan Luis Guzmán Román
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **MONITOREO AMBIENTAL DURANTE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA HIDROELÉCTRICA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de agosto de 2017.

**Sergio Rolando Mendizábal Rosales**





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la más importante influencia en mi vida, en mi carrera y por todas las bendiciones que recibo cada día.
<b>Mi madre</b>	Maria del Carmen Rosales de Mendizábal, por todo su apoyo y enseñanzas con su ejemplo.
<b>Mi esposa</b>	Carol Pereira de Mendizábal, por su amor y apoyo incondicional, sin quien habría sido imposible realizar este proyecto.
<b>Mis hijos</b>	María Fernanda, Stephanie y Kristian Mendizabal Pereira, por ser el motor que me motiva en todo proyecto.
<b>Mi familia y amigos</b>	A todos los que contribuyeron directa o indirectamente en la realización de este trabajo.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la casa de estudios que me brindó los conocimientos y la base para aplicarlos en mi experiencia profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme albergado en sus aulas y fomentado en mí la pasión por mi carrera.
<b>Asesor Ing. Guillermo Melini</b>	Por su motivación, tiempo, dedicación y paciencia suministrados en todo el desarrollo del presente trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. EL SECTOR ELÉCTRICO EN GUATEMALA.....	1
1.1. Antecedentes generales .....	1
1.2. El sector eléctrico en la actualidad .....	2
1.3. Actividades del sector eléctrico.....	4
2. LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	7
2.1. Las fuentes de energía eléctrica.....	7
2.2. Las energías renovables .....	9
2.3. La energía hidroeléctrica en Guatemala.....	12
3. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	13
3.1. Tipos de centrales hidroeléctricas .....	14
3.2. Principales componentes de una central hidroeléctrica .....	15
3.3. Potencia hidroeléctrica .....	17
4. MARCO INSTITUCIONAL VIGENTE DEL SECTOR ELÉCTRICO.....	19
4.1. Generalidades .....	19
4.2. Ministerio de Energía y Minas .....	19
4.3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) .....	22

4.4.	Administrador del Mercado Mayorista (AMM) .....	23
4.5.	Ley Forestal (INAB).....	23
4.6.	Otras instituciones.....	25
4.6.1.	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) .....	25
4.6.2.	Municipalidades.....	27
5.	APLICACIÓN DE LA NORMATIVA AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN GUATEMALA.....	31
5.1.	Normativa Ambiental .....	32
5.2.	Instrumentos de evaluación ambiental .....	34
5.3.	Evaluación ambiental inicial .....	38
5.4.	Estudio de evaluación de impacto ambiental .....	39
5.5.	Trámite para la aprobación de un estudio de evaluación de impacto ambiental .....	39
5.5.1.	Presentación del estudio de evaluación de impacto ambiental (EEIA) ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) .....	42
5.5.2.	Documentación legal que se debe acompañar al Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA).....	43
5.5.3.	Consultas a otras instituciones.....	44
5.5.3.1.	Consejo Nacional de Áreas Protegidas .....	47
5.5.3.2.	Instituto Nacional de Bosques .....	50
5.5.3.3.	Instituto de Antropología e Historia (IDAEH) .....	53
5.5.3.4.	Licencia ambiental.....	54

5.5.4.	Emisión de licencia forestal por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) .....	55
5.5.4.1.	Solicitud de emisión de licencia .....	56
5.5.4.2.	Emisión de la licencia y obligaciones derivadas del plan de manejo .....	57
5.5.4.3.	Garantía de las obligaciones .....	58
5.5.4.4.	Incumplimiento de obligaciones ambientales .....	60
5.6.	Consulta popular.....	62
5.6.1.	Definición.....	62
5.6.2.	Trámite de la consulta popular.....	63
6.	ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO .....	67
6.1.	Hidrología .....	67
6.1.1.	Datos de precipitación lluviosa .....	69
6.1.2.	Aforos suplementarios .....	69
6.1.3.	Flujo promedio total .....	70
6.1.4.	Distribución estacional del flujo.....	71
6.1.5.	Flujo mínimo .....	71
6.1.6.	Flujos de crecida.....	72
6.2.	Geología .....	75
6.3.	Geomorfología.....	78
6.4.	Geología estructural .....	79
6.5.	Estratigrafía .....	79
6.6.	Caracterización geotécnica .....	81
6.7.	Evaluación de los peligros geodinámicos .....	82
6.7.1.	Riesgos de menor importancia .....	83
6.7.2.	Predicción de estos movimientos .....	84
6.7.3.	Actuaciones para minimizar los daños .....	84

6.8.	Generación de energía y potencia .....	85
6.8.1.	Cálculo de potencia.....	85
6.8.2.	Cálculo de la generación anual .....	86
6.8.3.	Generación de energía en función de la capacidad instalada.....	89
7.	EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO.....	91
7.1.	Descripción general del entorno biótico y abiótico .....	91
7.1.1.	Flora .....	93
7.1.2.	Fauna .....	97
7.1.3.	Áreas protegidas y ecosistemas frágiles .....	99
7.2.	Identificación de impactos ambientales.....	104
7.3.	Matrices de identificación de impactos.....	105
7.4.	Evaluación de impacto social .....	111
7.5.	Síntesis de la evaluación de impactos ambientales .....	113
7.5.1.	Impactos negativos significativos .....	114
7.5.2.	Impactos positivos significativos.....	114
7.6.	Medidas de mitigación.....	115
7.6.1.	Programa de reforestación y monitoreo ambiental.....	123
7.6.1.1.	Generalidades .....	123
7.6.1.2.	Lineamientos estratégicos.....	126
7.6.2.	Plan de seguridad para la protección y salud humana .....	133
7.6.3.	Responsabilidad Social Empresarial (RSE) .....	138
7.6.4.	Otras variables que requieren de monitoreo, dependiendo de las necesidades de información..	142
7.6.4.1.	Lluvia.....	143



7.6.4.2.	El volumen de agua almacenada en el reservorio .....	145
7.6.4.3.	El volumen de sedimento que ingresa al reservorio .....	147
7.6.4.4.	La calidad del agua a la salida de la represa y en algunos puntos a lo largo del río.....	151
CONCLUSIONES .....		201
RECOMENDACIONES .....		203
BIBLIOGRAFÍA.....		205
ANEXOS .....		211



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Esquema de una central hidroeléctrica a pie de presa.....	13
2. Generación en horas pico .....	89
3. Generación de energía anual .....	90
4. Cuadro de estilos .....	93
5. Criterios de valoración de impactos ambientales .....	106
Continuación Figura 5 .....	107
6. Proyecto hidroeléctrico supuesto. Matriz de identificación de impactos en la etapa de preparación del sitio .....	108
7. Proyecto hidroeléctrico supuesto. Matriz de identificación de impactos en las etapas de construcción de obra civil.....	109
8. Proyecto hidroeléctrico supuesto. Matriz de identificación de impacto en las etapas de operación y abandono.....	110
9. Proyecto hidroeléctrico. Medidas ambientales de mitigación propuestas.....	116
10. Potenciales impactos negativos. Medidas de mitigación.....	117
11. Esquema de fosa séptica .....	160
12. Esquema de planta de tratamiento.....	161
13. Efectos de temperatura en oxígeno disuelto .....	169
14. Monitoreos entomológicos según etapas del proyecto hidroeléctrico ..	193

## TABLAS

I.	Listado taxativo del MARN.....	36
II.	Cálculo de potencia .....	86
III.	Cálculo de la generación anual.....	87
IV.	Costos de capacitaciones .....	127
V.	Especies forestales en áreas abiertas .....	128
VI.	Especies a plantar en bosque secundario .....	129
VII.	Plantaciones frutales.....	129
VIII.	Desarrollo de plantaciones.....	130
IX.	Precipitaciones en Proyecto Hidroeléctrico Pojom II.....	144

## GLOSARIO

<b>Aforo</b>	Aforar es medir un caudal. En hidrología superficial puede ser necesario medir desde pequeños caudales (unos pocos litros/seg.) hasta grandes ríos con caudales de centenares o miles de m <sup>3</sup> /seg.
<b>AMM</b>	Administrador del Mercado Mayorista.
<b>Canal</b>	Conducto artificial por donde se conduce el agua para distribuirla, para producir energía eléctrica.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>Comercialización eléctrica</b>	Es el proceso final en la entrega de la electricidad desde la generación hacia el consumidor.
<b>Compuertas</b>	Una compuerta hidráulica es un dispositivo hidráulico-mecánico destinado a regular el pasaje de agua u otro fluido en una tubería, en un canal, presas, esclusas, obras de derivación u otra estructura hidráulica.
<b>CONAP</b>	Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
<b>DIGARN</b>	Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales.

<b>Distribución eléctrica</b>	Es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (baja tensión).
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima.
<b>EEIA</b>	Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental.
<b>Embalse o reservorio</b>	Es la acumulación de agua producida por una construcción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce.
<b>Estratigrafía</b>	Parte de la geología que estudia la disposición y las características de las rocas sedimentarias y los estratos.
<b>Fuentes renovables</b>	Las que son producidas por la naturaleza de forma constante sin agotarse. Constituyen fuentes renovables el agua de los ríos y lagos, el sol, el viento, el calor de la tierra, la biomasa, etc.
<b>Generación eléctrica</b>	Producción de energía eléctrica.
<b>Generador</b>	Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes), transformando la energía mecánica en eléctrica.

<b>Geodinámica</b>	Es la rama de la geología que estudia los agentes o fuerzas que intervienen en los procesos dinámicos de la Tierra.
<b>Geomorfología</b>	Rama de la geografía física y de la geología que tiene como objetivo el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado en describir, entender su génesis y su actual comportamiento.
<b>Hidroeléctrica</b>	Planta por medio de la cual se obtiene energía eléctrica por fuerza hidráulica.
<b>Hidrología</b>	Estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre.
<b>IDAEH</b>	Instituto de Antropología e Historia.
<b>INAB</b>	Instituto Nacional de Bosques.
<b>INDE</b>	Instituto Nacional de Electrificación.
<b>LGE</b>	Ley General de Electricidad.
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.

<b>PER</b>	Plan de Electrificación Rural.
<b>RECSA</b>	Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental.
<b>Represa</b>	O presa, consta de una barrera de hormigón, piedra u otro material, que se constituye sobre un río, arroyo o canal para embalsar el agua en su cauce. Luego esta agua embalsada puede aprovecharse para la producción de energía eléctrica.
<b>RLGE</b>	Reglamento de la Ley General de Electricidad.
<b>Sostenible</b>	Tipo de desarrollo que puede mantenerse por sí mismo sin que se vean afectados los recursos del planeta. Este tipo de desarrollo no precisa una intervención humana o exterior, ya que puede sostenerse de manera autónoma.
<b>SSO</b>	Salud y Seguridad Ocupacional.
<b>Transformador</b>	Dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.



<b>Transmisión eléctrica</b>	Es la parte del sistema de suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas (alta tensión).
<b>Tubería forzada</b>	Es la tubería que lleva el agua a presión desde el canal o el embalse hasta la entrada de la turbina.
<b>Turbina</b>	Rueda hidráulica, con paletas curvas colocadas en su periferia, que recibe el agua por el centro y la despide en dirección tangente a la circunferencia, con lo cual aprovecha la mayor parte posible de la fuerza motriz.



## RESUMEN

Este trabajo incluye detalles relevantes en relación a las actividades recientes relacionadas al sector de generación de energía eléctrica renovable en Guatemala y cómo se ha ido desarrollando el sector hidroeléctrico en el país, el cual fomenta la construcción de megaproyectos que promueven el desarrollo local. Para ilustrar, se incluye una breve descripción de tipos de centrales hidroeléctricas y sus principales componentes, así como la potencia instalada.

Dada la importancia que conlleva la construcción de este tipo de proyectos, se hace un análisis del marco institucional vigente para el mencionado sector eléctrico, mismo que regula principalmente la construcción de proyectos hidroeléctricos. Dentro de estos, se mencionan regulaciones relativas a Ministerio de Energía y Minas, Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Asociación del Mercado Mayorista, Instituto Nacional de Bosques, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y Municipalidades, cuyos entes regulan y normalizan los procesos necesarios para la construcción y monitoreos de una hidroeléctrica. Incluye también el procedimiento para la aprobación de un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, lo cual da una guía al contratista de la obra de los procesos durante la etapa de construcción.

Técnicamente, este trabajo contiene un análisis de estos aspectos: hidrología, geología, geomorfología, geología estructural, estratigrafía, caracterización geotécnica, evaluación de los peligros geodinámicos, generación de energía y potencia. Finalmente, se incluyen los aspectos ambientales que deben ser evaluados y monitoreados durante la construcción de una hidroeléctrica, para dar una guía a los constructores de este tipo de

megaproyectos, dentro de los que se mencionan: el entorno biótico y abiótico, flora, fauna, áreas protegidas y ecosistemas frágiles, identificación de impactos ambientales, matrices de identificación de impactos, evaluación de impacto social, síntesis de la evaluación de impactos ambientales, medidas de mitigación, programa de reforestación y monitoreo ambiental, plan de seguridad para la protección y salud humana, responsabilidad social empresarial (RSE), entre otros.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Por medio del presente trabajo de investigación se pretende suministrar una guía de consulta por medio de la cual los ingenieros constructores puedan realizar los estudios previos y monitoreos medioambientales, durante la edificación de un proyecto hidroeléctrico en todas sus etapas.

### **Específicos**

1. Facilitar al profesional constructor, por medio de la presente herramienta, el medio necesario para el debido seguimiento en campo durante la construcción de un proyecto hidroeléctrico, dándole la importancia necesaria al tema medioambiental.
2. Profundizar en el tema de monitoreos medioambientales, dándole especial énfasis para que por medio de este documento el desarrollador analice y cree conciencia sobre los parámetros a medir, y además sobre que estos dependerán de la situación geográfica, altura, morfología del terreno y aspectos de tipo social en el sitio de construcción.



## INTRODUCCIÓN

La construcción de proyectos hidroeléctricos en Guatemala ha ido en aumento y es una forma de aprovechar las riquezas disponibles de la topografía del país y los climas que favorecen la generación de energía eléctrica con recursos renovables, tal es el caso de los ríos con caídas que permiten un aprovechamiento de la energía cinética, al utilizar la velocidad de los mismos, así como el potencial que se debe a dichas caídas. Sin embargo, se considera que es muy importante dar a conocer a los profesionales constructores que, para mantener la calidad de dichos recursos renovables, es necesario conocer primero los impactos que pueden afectarlos, tanto positiva como negativamente, por lo cual debe cumplirse con regulaciones que deben conocerse y ser tomadas en cuenta durante la etapa de estudio de pre factibilidad. Dichos impactos que usualmente son eventuales durante la construcción y que son siempre significativos pueden ser mitigados mediante medidas aplicadas oportunamente. Los costos ambientales y sociales pueden ser evitados o reducidos a un nivel aceptable si se evalúan cuidadosamente los problemas potenciales y se implantan medidas correctivas, que comúnmente pueden ser costosas.

Una importante medida de mitigación radica en la adecuada selección de una empresa diseñadora con amplia experiencia en el diseño de proyectos hidroeléctricos, lo cual evitará inconvenientes durante el proceso de la generación, debidos a un diseño de ingeniería ineficiente que solo estime la parte económica. Además, la empresa que construya las obras debe estar comprometida, como política propia y contractualmente, a preservar los recursos renovables.

Hay impactos ambientales directos asociados con la construcción de la represa (por ejemplo: el polvo, la erosión, problemas con el material prestado y con los desechos), pero los impactos más importantes son el resultado del embalse del agua, la inundación de la tierra para formar el embalse y la alteración del caudal de agua, aguas abajo. Estos efectos ejercen impactos directos en los suelos, la vegetación, la fauna, las tierras silvestres, la pesca, el clima y la población humana del área. Además de los efectos directos e indirectos de la construcción de la represa sobre el medio ambiente, se deberán considerar los efectos del medio ambiente sobre la represa. Los principales factores ambientales que afectan el funcionamiento y la vida de la represa son aquellos que se relacionan con el uso de la tierra, el agua y los otros recursos en las áreas de captación aguas arriba del reservorio (como la colonización o la deforestación), que pueden causar una mayor acumulación de limos y cambios en la cantidad y calidad del agua del reservorio y del río.

El beneficio obvio del proyecto hidroeléctrico es la energía eléctrica, misma que puede apoyar el desarrollo económico y mejorar la calidad de la vida en el área servida. Los proyectos hidroeléctricos requieren mucha mano de obra y ofrecen oportunidades de empleo. Los caminos y otras infraestructuras pueden dar a los pobladores mayor acceso a los mercados para sus productos, escuelas para sus hijos, cuidados de salud y otros servicios sociales.

Además, la generación de la energía hidroeléctrica proporciona una alternativa a la quema de los combustibles fósiles, o a la energía nuclear, puesto que permite satisfacer la demanda de energía sin producir agua caliente, emisiones atmosféricas, ceniza, desechos radioactivos ni emisiones de CO<sub>2</sub>. El desarrollo de la agricultura local mediante el uso del riego puede, a su vez, reducir la presión que existe sobre los bosques primarios, los hábitats intactos de la fauna y las áreas en otras partes que no sean adecuadas para la



agricultura. Las represas pueden crear pesca en el embalse y posibilidades para producción agrícola en el área del embalse, que pueden más que compensar las pérdidas sufridas por estos sectores debido a su construcción.

Por lo tanto, el costo-beneficio que estimulan las hidroeléctricas es considerable, pero deberán existir documentos que comprometen a los constructores para mantener en las condiciones más similares a las encontradas tanto los recursos naturales (flora, fauna, suelo, aire, entre otros) como el desarrollo de las comunidades aledañas a dichos proyectos, para lo cual se debe realizar una consulta popular y obtener así la aprobación de las comunidades para este tipo de proyectos. Esto se resume en la obtención de Licencia Ambiental, Estudio de Impacto Ambiental, Plan de Gestión Ambiental, todos de gestión obligatoria previa a obtener la Licencia de Construcción del proyecto.



# 1. EL SECTOR ELÉCTRICO EN GUATEMALA

## 1.1. Antecedentes generales

En Guatemala, previo a la promulgación de la Ley General de Electricidad (LGE), Decreto 90-96 del Congreso de la República, funcionaban como agentes del mercado del sector eléctrico, el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), que cubría la distribución de energía eléctrica del área rural, así como la generación y transmisión; y la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), que cubría el área central.

A principios de 1990, el sector eléctrico atravesó por una de las etapas más críticas, en la que fue necesario racionar el suministro de electricidad en las distintas regiones del país, como consecuencia de la falta de nuevos proyectos de generación de energía y el inminente aumento de la demanda. Por ello, a partir de 1996 se puso en marcha una política de modernización del sector eléctrico que preveía: a) la entrada en vigor de la LGE; b) la reestructuración de las dos mayores empresas eléctricas públicas; c) la privatización del sector de la distribución y de la mayor parte de la producción; d) la creación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), entidad encargada de la regulación del sector eléctrico y de la protección de los derechos de los clientes.

## **1.2. El sector eléctrico en la actualidad**

El sector eléctrico guatemalteco cuenta con un número significativo de agentes que participan en las diversas actividades de esta industria, siendo estas la generación, transmisión, distribución y comercialización. Las actividades del mercado eléctrico son desarrolladas a través de distintas entidades. En Guatemala se permite la operación de distintas empresas en un ambiente de total libertad y competencia, sin privilegios, derivado del marco regulatorio y normativo vigente actualmente.

La situación del sector eléctrico guatemalteco en la actualidad es producto de la reforma que se dio en el año 1996, con la emisión de su marco legal. Posteriormente a la Ley General de Electricidad (LGE), se emitieron el Reglamento de la Ley General de Electricidad (RLGE), Acuerdo Gubernativo 256-97, y el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo 299-98.

En Guatemala, el sector eléctrico está conformado por tres entidades: Ministerio de Energía y Minas (MEM); Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), y Administrador del Mercado Mayorista (AMM). Previo a la promulgación de la LGE, la oferta de energía eléctrica que había en ese entonces no satisfacía las necesidades de la población, siendo este un obstáculo para el desarrollo del país. Por ello se buscó el aumento de la producción, transmisión y distribución de la energía, liberalizando el sector.

La LGE, entre otros aspectos, fue creada con el objeto de: a) buscar la modernización del sector; b) la promoción de la libre competencia dentro del sector, permitiendo la libre generación, transporte y distribución de electricidad; c) evitar la monopolización del sistema de generación de energía eléctrica, en

armonía con el artículo 130 de la Constitución Política de la República de Guatemala (CPRG), que prohíbe los monopolios; y d) separar las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, entre otros.

Como producto del nuevo marco legal existente en materia energética, en 1999 Guatemala adoptó el Plan de Electrificación Rural (PER) como un plan integral de inversiones en distribución y transmisión asociada para ampliar la cobertura de electrificación. En la actualidad, el PER tiene como objetivos principales los siguientes: a) introducir energía eléctrica a 280 629 nuevos usuarios, equivalentes a 1,5 millones de habitantes; b) construir obras de transmisión de energía eléctrica, y c) incrementar el índice de electrificación rural en el país<sup>1</sup>. Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM), la cobertura a nivel nacional de energía eléctrica al 31 de diciembre de 2016 fue de 92,06 %.

Según el MEM se estima que a diciembre de 2008 existía un porcentaje de cobertura eléctrica en el país de aproximadamente un 83,5 %<sup>2</sup>. Según el Dr. Hugo Arriaza, se estimaba que para el año 2010 la cobertura eléctrica alcanzaría el 87,7 %<sup>3</sup>. Dicho porcentaje es difícil de establecer a cabalidad, debido a que en los últimos años no se han efectuado censos de población que den a conocer la cantidad exacta de familias o viviendas que requieren de electrificación. De acuerdo con la información indicada por el MEM, los departamentos en los que hay menor índice de electrificación son Alta Verapaz, Petén y Baja Verapaz.

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Electrificación. *Logros del Plan de Electrificación Rural Desarrollado por el INDE*. Guatemala.

<sup>2</sup> Dirección General de Energía. *Cobertura eléctrica de Guatemala*. [www.mem.gob.gt](http://www.mem.gob.gt). Consulta: septiembre 2017.

<sup>3</sup> ARRIAZA, Hugo. *Diagnóstico del sector energético en el área rural de Guatemala*. p. 20

### 1.3. Actividades del sector eléctrico

Las actividades principales del sector eléctrico son: la generación, la transmisión, la distribución y la comercialización de energía.

- Generación: se entiende por generación la actividad consistente en la transformación de una fuente de energía (primaria o secundaria; renovable o no renovable), en energía eléctrica, por medio de una central de generación.

Según el artículo 6 de la Ley General de Electricidad (LGE), es generador la persona individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que comercializa total o parcialmente su producción de electricidad. Las centrales de generación de energía eléctrica pueden instalarse libremente en el país, sin más limitaciones que las que se den de la conservación del medio ambiente y de la protección a las personas, sus derechos y sus bienes. Para utilizar con fines de generación aquellos que sean bienes del Estado, es necesaria la autorización del MEM cuando la potencia exceda de 5 MW<sup>4</sup>.

- Transmisión: se entiende por transmisión la actividad consistente en el transporte y transformación de electricidad. El sistema de transmisión está integrado por la infraestructura de transporte: líneas de transmisión y subestaciones; operando básicamente en tres niveles de voltaje: 230, 138 y 69 kilovoltios -kV-. El sistema de transmisión se divide en Sistema Principal y Sistema Secundario. El Sistema Principal está compartido por los generadores y las interconexiones a otros países. El Sistema

---

<sup>4</sup> ARRIAZA, Hugo. *Diagnóstico del sector energético en el área rural de Guatemala*. p. 27

Secundario es el medio de interconexión de un generador a la red principal<sup>5</sup>.

La red de transmisión de energía tiene que garantizar que toda la energía necesaria en cada momento del día y de la noche sea distribuida desde las centrales hasta los lugares donde se necesita. Según el artículo 6 de la Ley General de Electricidad (LGE), es transportista la persona, individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad.

- **Distribución:** las empresas distribuidoras se encargan de llevar la energía eléctrica a los usuarios finales. El sistema de distribución está integrado por líneas, subestaciones y redes de distribución, las cuales operan en tensiones menores a 34.5 kV. Actualmente participan en el mercado eléctrico dos empresas privadas: EEGSA y ENERGUATE, y adicionalmente alrededor de 14 empresas municipales. Según el artículo 6 de la LGE es distribuidor la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica.
- **Comercialización:** se entiende por comercialización la actividad consistente en comprar y vender bloques de energía eléctrica, en calidad de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo de la energía. Según el artículo 6 de la LGE es comercializador la persona, individual o jurídica, cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía eléctrica con carácter de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo.

---

<sup>5</sup> ARRIAZA, Hugo. *Diagnóstico del sector energético en el área rural de Guatemala*. p. 29





## 2. LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

### 2.1. Las fuentes de energía eléctrica

Según la Organización Latinoamericana de Energía, “las fuentes de energía son aquellos elementos de la naturaleza que pueden generar energía utilizable por el hombre”<sup>6</sup>. Se puede afirmar que son todas aquellas elaboraciones naturales y componentes de la naturaleza de los cuales el ser humano extrae energía para la realización de un trabajo determinado. Las fuentes de energía son el resultado de un largo proceso de transformación que comienza con las radiaciones solares. La mayoría de las fuentes de energía derivan de la energía emitida por el sol.

Según la organización ambientalista internacional Greenpeace, “las fuentes de energía se pueden clasificar en dos grandes grupos: primarias y secundarias; y renovables y no renovables (en atención a su capacidad de regeneración)”<sup>7</sup>.

Las fuentes de energía primarias son los recursos energéticos potenciales que se encuentran directamente en la naturaleza: el sol, el viento, los ríos, los lagos, el calor de la tierra, el carbón, el gas natural, el petróleo, la biomasa, etc.

Las fuentes de energía secundarias son fruto de la transformación efectuada por el hombre con la ayuda de innovaciones tecnológicas, con el

---

<sup>6</sup> Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). *Guía práctica de la energía para Latinoamérica y El Caribe*. p. 8.

<sup>7</sup> Greenpeace México. *Energías renovables*. <http://www.greenpeace.org/mexico/>. Consulta: septiembre 2017.

objetivo de hacer que las fuentes de energía primaria sean más convenientes y se adapten mejor a sus necesidades. Un ejemplo de fuente de energía secundaria es la energía eléctrica, pues se obtiene de la transformación de la energía potencial, que contienen las fuentes primarias, en energía mecánica, que a su vez se transforma en energía eléctrica.

Por su parte, las fuentes renovables son aquellas que son producidas por la naturaleza de forma constante sin agotarse. Constituyen fuentes renovables el agua de los ríos y lagos, el sol, el viento, el calor de la tierra, la biomasa, etc.

Las fuentes no renovables son aquellas que necesitan períodos muy largos para regenerarse o que no se regeneran. Ejemplos de fuentes no renovables son los combustibles fósiles, tales como el petróleo, gas natural, uranio y carbón.

En la actualidad, el petróleo, el gas y el carbón proporcionan alrededor del 80 % de la energía utilizada en el mundo. En los últimos años, el consumo total de dichas fuentes de energía se ha triplicado, y se espera que para los próximos años la demanda se incremente más del 70 % en las economías en desarrollo, según la Agencia Internacional de Energía<sup>8</sup>.

Según J. Luis C. Aguado, “se espera que la nueva demanda esté cubierta principalmente por combustibles fósiles. Para el medio ambiente, la utilización de combustibles fósiles supone un inminente cambio climático debido a los gases de efecto invernadero que estos producen”<sup>9</sup>. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, “se espera que para el 2030, las emisiones

---

<sup>8</sup> International Energy Agency. *Energy efficiency*. <http://www.iea.org>. Consulta: septiembre 2017.

<sup>9</sup> C. AGUADO, J. Luis. *En busca de energías limpias*. Argentina, 2009. <http://www.suite101.net>. Consulta: septiembre 2017.

de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aumenten en un 57 %”.<sup>10</sup> Se entiende por dióxido de carbono un gas compuesto por átomos de oxígeno y carbono, y que es uno de los gases de efecto invernadero que contribuyen a que la Tierra tenga una temperatura tolerable para la especie humana. La existencia de dióxido de carbono en la Tierra debe ser moderada, pues un exceso de este acentuaría desmesuradamente el calentamiento de la Tierra.

Ante esta situación, a nivel mundial están en desarrollo algunas políticas energéticas tales como: a) diversificar las fuentes para producir energía, incrementando la dependencia de fuentes renovables; b) la difusión de la eficiencia y el ahorro energético en todos los sectores, y c) desarrollar nuevas tecnologías que limiten las emisiones a la atmósfera de los combustibles fósiles<sup>11</sup>.

## **2.2. Las energías renovables**

Las fuentes renovables de energía son aquellas que tienen como característica común que no se terminan o que se renuevan por naturaleza<sup>12</sup>. De acuerdo con la Organización Latinoamericana de Energía, “son aquéllas a las que se puede recurrir de forma permanente, y que tienen un impacto ambiental prácticamente nulo en la emisión de gases de efecto invernadero”<sup>13</sup>.

Según Jon Erickson, el efecto invernadero es conocido como “el fenómeno por el cual la atmósfera de la tierra retiene parte de la energía que el suelo

---

<sup>10</sup> International Energy Agency. *Energy efficiency*. <http://www.iea.org>. Consulta: septiembre 2017.

<sup>11</sup> Ídem.

<sup>12</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Energías renovables en Guatemala*. Guatemala, 2009. p. 2.

<sup>13</sup> Organización Latinoamericana de Energía, (OLADE). *Guía práctica de la energía para Latinoamérica y El Caribe*. p. 9.

emite por haber sido calentado por la radiación solar, el cual constituye uno de los principales factores que provocan el calentamiento de la Tierra”<sup>14</sup>.

Las energías renovables crecen con una tendencia constante en todo el mundo, en 2007 habían presentado un crecimiento del 50 % de la potencia global desde 2004. Se considera que esto se debe a que en la actualidad se busca la generación de energía eléctrica con emisiones de dióxido de carbono cercanas a cero, así como también se busca satisfacer la demanda energética a nivel mundial, la cual no podrá mantenerse por mucho tiempo utilizando únicamente fuentes de energía no renovables. Por ello las energías renovables son importantes, pues impulsan el desarrollo de las empresas locales y nacionales, creando fuentes de trabajo. Las energías renovables se clasifican en:

- Energía solar: esta energía es resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el interior del sol. Esa radiación solar se puede transformar directamente en electricidad (solar eléctrica) o en calor (solar térmica). El calor se obtiene mediante colectores térmicos y la electricidad a través de paneles fotovoltaicos. La energía solar eléctrica es utilizada para viviendas, automóviles, redes de distribución, faros, entre otros. Por su parte, la energía solar térmica se utiliza para la calefacción de viviendas, para el agua caliente, climatización de piscinas, entre otras. El calor también puede utilizarse para producir vapor y generar electricidad<sup>15</sup>.
- Energía geotérmica: esta se obtiene del aprovechamiento del calor que emana de la profundidad de la Tierra y que se encuentra acumulado en

---

<sup>14</sup> ERISCKSON, Jon. *El efecto invernadero: el desastre de mañana, hoy*. p. 29.

<sup>15</sup> Greenpeace México. Energías renovables. <http://www.greenpeace.org/mexico/>. Consulta: septiembre 2017.

la corteza terrestre. Se produce cuando el vapor de los yacimientos es conducido por tuberías. Al centrifugarse, se obtiene una mezcla de agua y vapor seco, el cual es utilizado para la activación de turbinas que generan electricidad.

- **Energía eólica:** este tipo de energía es la producida por la fuerza del viento. Las centrales eólicas están formadas por molinos. La energía del viento pone en movimiento las aspas y hace que los aparatos puedan transformar la energía cinética en energía eléctrica. Se considera una forma indirecta de energía solar, puesto que el sol, al calentar las masas de aire, produce un incremento de la presión atmosférica, lo cual provoca el desplazamiento de estas masas a zonas de menor presión.
- **Energía biomásica:** la biomasa es el combustible energético que se obtiene de los recursos biológicos. Es pues, cualquier sustancia orgánica, vegetal o animal destinada a fines energéticos. Se refiere a la madera, las cosechas o sus residuos, a la basura del arbolado urbano que es quemada para hacer girar las turbinas y obtener electricidad<sup>16</sup>. La energía de la biomasa corresponde a toda aquella energía que pueda obtenerse de ella, a través de su quema directa o bien, de su procesamiento para conseguir otro tipo de combustible<sup>17</sup>.
- **Energía hidráulica:** es la energía que proviene del movimiento del agua. Fue la primera fuente de energía utilizada por el ser humano para sustituir sus propias fuerzas y la de los animales<sup>18</sup>.

---

<sup>16</sup> Greenpeace México. Energías renovables. <http://www.greenpeace.org/mexico/>. Consulta: septiembre 2017.

<sup>17</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Energías renovables en Guatemala*. Guatemala, 2009. p. 3.

<sup>18</sup> DOMÍNGUEZ GÓMEZ, José A. *Energías alternativas*. p. 28.

### 2.3. La energía hidroeléctrica en Guatemala

La matriz energética de Guatemala es hidrotérmica, con un 57 % de generación térmica y un 43 % de generación hidroeléctrica<sup>19</sup>. Según el Dr. Hugo Arriaza, “se espera que en el año 2020 la generación de energía por medio del agua llegará hasta el 57 % a medida que entren en funcionamiento las centrales que actualmente se están diseñando o construyendo”<sup>20</sup>.

Se ha estimado que el potencial técnicamente aprovechable de los ríos del país es de aproximadamente 5 000 MW, de los que en la actualidad únicamente se utiliza el 14,1 % (705 MW de capacidad instalada)<sup>21</sup>. Se entiende por capacidad instalada la prestación de energía de las centrales de generación conectadas al sistema eléctrico nacional, de acuerdo con las condiciones propias de su construcción y operación; es decir, la energía total que una central o un conjunto de centrales pueden llegar a generar.

---

<sup>19</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Política energética y minera*. Guatemala, 2009. P. 11.

<sup>20</sup> ARRIAZA, Hugo. *Diagnóstico del sector energético en el área rural de Guatemala*. p. 21.

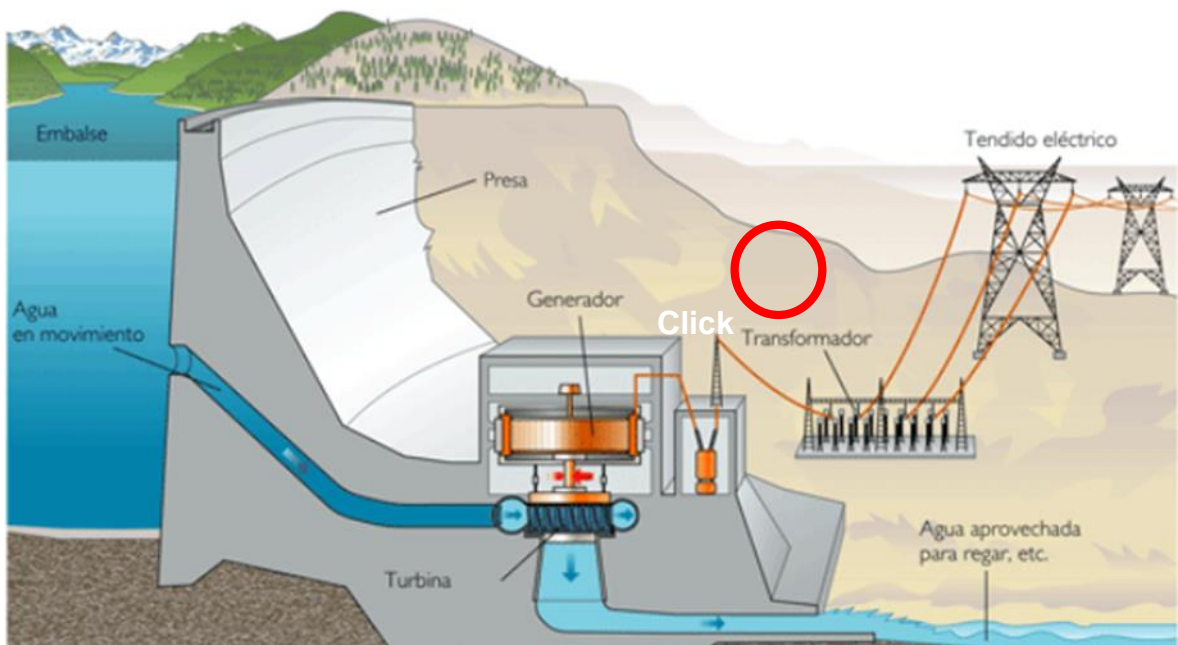
<sup>21</sup> Dirección General de Energía. *Subsector eléctrico y las energías renovables en Guatemala*. Guatemala, Ministerio de Energía y Minas, p. 21.

### 3. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

“Las centrales hidroeléctricas aprovechan, mediante un desnivel, la energía potencial contenida en la masa de agua que transportan los ríos para convertirla en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a alternadores”<sup>22</sup>.

A continuación se muestra un esquema explicativo de una central hidroeléctrica:

Figura 1. Esquema de una central hidroeléctrica a pie de presa



Fuente: *Central hidroeléctrica a pie de presa*. <http://www.renovables-energia.com>. Consulta: junio de 2017.

### **3.1. Tipos de centrales hidroeléctricas**

Desde el punto de vista de cómo utilizan el agua para la generación se pueden clasificar en:

- Centrales a filo de agua: también denominadas centrales de agua fluyente o de pasada, utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, pues no disponen de embalse. Turbinan el agua disponible en el momento, limitadamente a la capacidad instalada. En estos casos las turbinas pueden ser de eje vertical, cuando el río tiene una pendiente fuerte u horizontal cuando la pendiente del río es baja.
- Centrales con embalse: es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica. Utilizan un embalse para reservar agua e ir graduando el agua que pasa por la turbina. Es posible generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes. Requieren una inversión mayor.
- Centrales de bombeo: son un tipo especial de centrales hidroeléctricas que posibilitan un empleo más racional de los recursos hidráulicos de un país. Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel a lo largo del día, las centrales de bombeo funcionan como una central convencional generando energía. Al caer el agua, almacenada en el embalse superior, hace girar el rodete de la turbina asociada a un alternador. Después el agua queda almacenada en el embalse inferior. Durante las horas del día en la que la demanda de energía es menor el agua es bombeada al



embalse superior para que pueda hacer el ciclo productivo nuevamente. Para ello la central dispone de grupos de motores-bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores.

Por su capacidad instalada las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Nano: vatios hasta 1 kW
- Pico: 1 kW hasta 10 kW
- Micro: 10 kW hasta 50 kW
- Mini: 50 kW hasta 1000 kW
- Pequeñas: 1 MW hasta 5 MW
- Mediana: 5 MW hasta 30 MW
- Grande: arriba de 30 MW<sup>23</sup>

### **3.2. Principales componentes de una central hidroeléctrica**

A continuación se definen los principales componentes de una central:

- “La presa: el primer elemento que se halla en una central hidroeléctrica es la presa o azud, que se encarga de atajar el río y remansar las aguas. Con estas construcciones se logra un determinado nivel del agua antes de la contención y otro nivel diferente después de la misma. Ese desnivel se aprovecha para producir energía.

---

<sup>23</sup> Escuela de Ingeniería de Antioquia. *Mecánica de fluidos y recursos hidráulicos*. <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/index.html>. Consulta: 2017.

- Los aliviaderos: son elementos vitales de la presa que tienen como misión liberar parte del agua detenida sin que esta pase por la sala de máquinas. Se encuentran en la pared principal de la presa y pueden ser de fondo o de superficie.

La misión de los aliviaderos es la de liberar, si es preciso, grandes cantidades de agua o atender necesidades de riego. Para evitar que el agua pueda producir desperfectos al caer desde gran altura, los aliviaderos se diseñan para que la mayoría del líquido se pierda en una cuenca que se encuentra a pie de presa, llamada de amortiguación. Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas de acero que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según la demanda de la situación.

- Obras de toma: las obras de toma de agua son construcciones adecuadas que permiten recoger el líquido para llevarlo hasta las máquinas por medios de canales o tuberías. Estas tomas, además de unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, poseen unas rejillas metálicas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc., puedan llegar a los alabes y producir desperfectos.
- El canal de derivación: se utiliza para conducir agua desde la presa hasta las turbinas de la central. Generalmente es necesario hacer la entrada a las turbinas con conducción forzada, siendo por ello preciso que exista una cámara de presión donde termina el canal y comienza la turbina. Es bastante normal evitar el canal y aplicar directamente las tuberías forzadas a las tomas de agua de las presas.

- Chimenea de equilibrio: la chimenea de equilibrio consiste en un pozo vertical situado lo más cerca posible de las turbinas. Cuando existe una sobrepresión de agua esta encuentra menos resistencia para penetrar al pozo que a la cámara de presión de las turbinas, haciendo que suba el nivel de la chimenea de equilibrio. En el caso de depresión ocurrirá lo contrario y el nivel bajará. Con esto se consigue evitar el golpe de ariete.
- Tubería de presión: las estructuras forzadas o de presión suelen ser de acero con refuerzos regulares a lo largo de su longitud o de concreto armado, reforzado con espiras de hierro que deben estar ancladas al terreno mediante solera adecuada.
- Casa de máquinas: es la construcción en donde se ubican las máquinas (turbinas, generadores, alternadores, etc.) y los elementos de regulación y comando<sup>24</sup>.

### 3.3. Potencia hidroeléctrica

“La potencia de una central hidroeléctrica se mide generalmente en kilovatios (KW) y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$P = 9.81 * \eta_t * \eta_g * Q * h^{25}$$

Dónde:

P = potencia en kW

$\eta_t$  = rendimiento de la turbina hidráulica (entre 0,75 y 0,95)

$\eta_g$  = rendimiento del generador eléctrico (entre 0,92 y 0,97)

---

<sup>24</sup> European Small Hydropower Association (ESHA). *Guía para el diseño de una pequeña central hidroeléctrica*. Consulta: 2017.

<sup>25</sup> Ídem.

$Q$  = caudal turbinable en  $m^3/s$

$h$  = desnivel disponible en la presa entre aguas arriba y aguas abajo, en metros  
(m)

## 4. MARCO INSTITUCIONAL VIGENTE DEL SECTOR ELÉCTRICO

### 4.1. Generalidades

A partir de la entrada en vigencia de la Ley General de Electricidad (LGE) en 1996, quedaron determinados con claridad los aspectos asociados a la rectoría, facilitación, regulación y coordinación comercial de las actividades del sector eléctrico<sup>26</sup>. El modelo de desarrollo del sector eléctrico, basado en los nuevos planteamientos contenidos en la LGE, está sustentado en tres instituciones que tienen funciones específicas de facilitación, regulación y coordinación comercial de las actividades de las empresas de dicho sector<sup>27</sup>.

El sector eléctrico en Guatemala está integrado por las siguientes instituciones:

### 4.2. Ministerio de Energía y Minas

El MEM es el ente rector en materia energética. Está encargado de otorgar las autorizaciones para generar, transportar y distribuir energía eléctrica. Según el artículo 34 de la Ley del Organismo Ejecutivo (LOE), Decreto 114-97 del Congreso de la República, al MEM le corresponde atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la

---

<sup>26</sup> Dirección General de Energía. *Subsector eléctrico y las energías renovables en Guatemala*. p. 12.

<sup>27</sup> ARRIAZA, Hugo. *Diagnóstico del sector energético en el área rural de Guatemala*. p. 24.

energía y de los hidrocarburos, y a la explotación de los recursos mineros. En materia de energía eléctrica tiene las siguientes funciones:

- Estudiar y fomentar el uso de fuentes nuevas y renovables de energía; promover su aprovechamiento racional y estimular el desarrollo y aprovechamiento racional de energía en sus diferentes formas y tipos, procurando una política nacional que tienda a lograr la autosuficiencia energética del país.
- Cumplir las normas y especificaciones ambientales que en materia de recursos no renovables establezca el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).
- Emitir opinión en el ámbito de su competencia sobre políticas o proyectos de otras instituciones públicas que incidan en el desarrollo energético del país.
- Ejercer las funciones normativas y de control y supervisión en materia de energía eléctrica que le asignen las leyes.

De conformidad con la ley se puede establecer que el MEM debe coadyuvar con las entidades responsables en el establecimiento de regulación ambiental para alcanzar un desarrollo eléctrico que esté en concordancia con el cuidado del medio ambiente. Asimismo, se establece que es función del MEM la de velar por la adecuada ejecución de los proyectos, a través de la implementación de un sistema de monitoreo que vele por los intereses del Estado en cada una de las dependencias involucradas.

El Acuerdo Gubernativo No. 382-2006, Reglamento Orgánico Interno del MEM, establece en su artículo 15 la naturaleza y competencia de la Dirección General de Energía (DGE), definiéndola como la dependencia que tiene bajo su responsabilidad el fomento, control, supervisión, vigilancia técnica y fiscalización del uso técnico de la energía. Asimismo, en el artículo 16 se establecen sus funciones generales, algunas de las cuales se indican a continuación:

- Ejecutar las políticas, planes de Estado y programas indicativos de las diversas fuentes energéticas.
- Velar por que el proceso de autorización de instalaciones de centrales y prestación del servicio de transporte y el servicio de distribución final de electricidad y constitución de servidumbres se realice conforme a la Ley General de Electricidad (LGE).
- Promover y desarrollar programas dirigidos al estudio, uso eficiente, conservación de las fuentes energéticas y divulgación de los logros obtenidos para vincularlos al desarrollo del país.
- Estudiar y emitir dictamen sobre los expedientes en materia de su competencia.
- Estudiar y preparar guías, circulares, disposiciones y resoluciones que regulen las diferentes actividades técnicas inherentes a sus funciones y atribuciones.

De acuerdo con lo que establece el Reglamento Orgánico del Ministerio de Energía y Minas (MEM), se puede establecer que la Dirección General de

Energía (DGE) es el ente encargado de la gestión de las autorizaciones definitivas y temporales para la utilización de bienes de dominio público para la instalación de plantas generadoras y para la prestación de servicios de transporte y distribución final de electricidad.

#### **4.3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)**

La CNEE es un organismo técnico del MEM con independencia funcional, encargado de formular, implantar y fiscalizar el marco regulatorio que define las reglas para el desarrollo de las actividades inherentes al sector eléctrico y la actuación de los agentes económicos que intervienen en el mismo.

Según la Ley General de Electricidad (LGE), “es el ente regulador que crea condiciones propicias y apegadas a la ley para que las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica sean susceptibles de ser desarrolladas por toda persona individual o jurídica que desee hacerlo, fortaleciendo este proceso con la emisión de normas técnicas, precios justos, medidas disciplinarias y todo el marco de acción que permita, a los empresarios y usuarios, condiciones de seguridad y reglas de acción claras para participar con propiedad en el sector eléctrico”.<sup>28</sup>

Asimismo, de conformidad con la ley, el MEM tiene funciones tales como: velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios; proteger los derechos de los usuarios; prevenir conductas que atenten contra la libre empresa; actuar como árbitro en las controversias que surjan entre los agentes del sector eléctrico; emitir las normas técnicas relacionadas con el sector eléctrico y supervisar su cumplimiento.

---

<sup>28</sup> Decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala. Ley General de Electricidad.



#### **4.4. Administrador del Mercado Mayorista (AMM)**

El AMM está constituido como una sociedad privada, bajo la forma de una sociedad sin fines de lucro. Está encargado del conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto y largo plazo entre los agentes del mercado.<sup>29</sup> La principal función del AMM es la coordinación de la operación de las plantas de generación; las interconexiones internacionales y líneas de transporte para que el conjunto de operaciones del mercado mayorista se lleve a cabo en un marco de libre contratación de energía eléctrica. Asimismo, el AMM se encarga de establecer precios de mercado de corto plazo para las transferencias de potencia y energía entre sus agentes, y garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica en el territorio nacional.

#### **4.5. Ley Forestal (INAB)**

El artículo 1 de la Ley Forestal, Decreto Legislativo 101-96, declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación y la conservación de los bosques, para lo cual se propiciará el desarrollo forestal y su manejo sostenible, mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Reducir la deforestación de tierras de vocación forestal y el avance de la frontera agrícola, a través del incremento del uso de la tierra de acuerdo con su vocación y sin omitir las propias características de suelo, topografía y clima.

---

<sup>29</sup> Administrador del Mercado Mayorista. : <http://www.amm.org.gt/>. Consulta: 23 de junio de 2017.

- Promover la reforestación de áreas forestales actualmente sin bosque, para proveer al país de los productos forestales que requiera.
- Incrementar la productividad de los bosques existentes, sometiéndolos a manejo racional y sostenido de acuerdo a su potencial biológico y económico, fomentando el uso de sistemas y equipos industriales que logren el mayor valor agregado a los productos forestales.
- Apoyar, promover e incentivar la inversión pública y privada en actividades forestales para que se incremente la producción, comercialización, diversificación, industrialización y conservación de los recursos forestales.
- Conservar los ecosistemas forestales del país, a través del desarrollo de programas y estrategias que promuevan el cumplimiento de la legislación respectiva.
- Propiciar el mejoramiento del nivel de vida de las comunidades al aumentar la provisión de bienes y servicios provenientes del bosque para satisfacer las necesidades de leña, vivienda, infraestructura rural y alimentos<sup>30</sup>.

De acuerdo a la descripción del cambio climático, la Ley Forestal fortalecerá el proyecto ya que, como es sabido, la contaminación del ambiente está dada por el gas denominado dióxido de carbono, pero puede ser minimizado con la reforestación y la disminución de la deforestación.

---

<sup>30</sup> Ley Forestal. Artículo 1.

[https://www.rgp.org.gt/docs/legislacion\\_registral/Ley%20Forestal.pdf](https://www.rgp.org.gt/docs/legislacion_registral/Ley%20Forestal.pdf). Consulta: octubre 2017.

#### **4.6. Otras instituciones**

Adicionalmente a las instituciones que conforman el sector eléctrico en Guatemala, durante la tramitación de la autorización para la construcción y operación de una central hidroeléctrica también intervienen otras instituciones gubernamentales, las cuales se indican a continuación:

##### **4.6.1. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)**

El MARN es la entidad del sector público especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales del Sector Público. Le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollan y dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales.<sup>31</sup>

Según el artículo 29 bis de la Ley del Organismo Ejecutivo (LOE), adicionado a esta por medio del Decreto 90-2000 del Congreso de la República, el MARN tiene a su cargo, entre otras, las funciones siguientes, las cuales se señalan por tener incidencia en el tema de la generación de energía eléctrica:

- Formular participativamente la política de conservación, protección y mejoramiento del ambiente y de los recursos naturales, y ejecutarla en conjunto con las otras autoridades con competencia legal en la materia correspondiente, respetando el marco normativo nacional e internacional vigente en el país.

---

<sup>31</sup> Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.marn.gob.gt/>. Consulta: 24 de junio de 2017.

- Formular las políticas para el mejoramiento y modernización de la administración descentralizada del sistema guatemalteco de áreas protegidas, así como para el desarrollo y conservación del patrimonio natural del país, incluyendo las áreas de reserva territorial del Estado.
- En coordinación con el Consejo de Ministros, incorporar el componente ambiental en la formulación de la política económica y social del Gobierno, garantizando la inclusión de la variable ambiental y velando por el logro de un desarrollo sostenible.
- Ejercer las funciones normativas, de control y supervisión en materia de ambiente y recursos naturales que por ley le corresponden, velando por la seguridad humana y ambiental.
- Formular la política para el manejo del recurso hídrico en lo que corresponda a contaminación, calidad y renovación de dicho recurso.
- Controlar la calidad ambiental; aprobar las evaluaciones de impacto ambiental; practicarlas en caso de riesgo ambiental y velar por que se cumplan e impongan sanciones por su incumplimiento.

La Ley General de Electricidad (LGE) establece que, previo a solicitar la autorización para la construcción de una central hidroeléctrica, es necesario presentar un Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) aprobado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entidad que fue sustituida por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)<sup>32</sup>. En la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se establecía que el

---

<sup>32</sup> Decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala. Ley General de Electricidad.

órgano encargado de la aplicación de dicha ley era la CONAMA. Sin embargo, por medio del decreto 90-2000 del Congreso de la República, el cual reformó la Ley del Organismo Ejecutivo (LOE), se creó el MARN. Con la emisión de dicho decreto, fueron derogados los artículos de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente que se relacionaban con la CONAMA.

La norma de la Ley General de Electricidad (LGE) relacionada con la necesidad de la presentación de un EEIA para la solicitud de autorización para uso de bienes de dominio público ante el Ministerio de Energía y Minas (MEM), está en concordancia con el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, que indica que para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o al ambiente, o bien, pueda introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje, será necesario, previo a su desarrollo, la elaboración de un EEIA.

#### **4.6.2. Municipalidades**

El artículo 2 del Código Municipal, Decreto 12-2002 del Congreso de la República, define el municipio como la unidad básica de la organización territorial del Estado y espacio inmediato de participación ciudadana en asuntos públicos. Se caracteriza primordialmente por sus relaciones permanentes de vecindad, multiétnicidad, pluriculturalidad y multilingüismo, organizado para realizar el bien común de todos los habitantes de su distrito.

La Constitución Política de la República de Guatemala (CPRG), en su artículo 253, reconoce la autonomía a las municipalidades. De acuerdo a lo establecido en dicha norma y derivado de la autonomía que se les reconoce, se pudo establecer que las municipalidades tienen dentro de sus principales

funciones la facultad de elegir a sus propias autoridades; obtener y disponer de sus recursos, y atender los servicios públicos locales, el ordenamiento territorial de su jurisdicción y el cumplimiento de sus fines propios.

Las municipalidades del lugar en donde se pretenda desarrollar un proyecto hidroeléctrico intervienen en las autorizaciones que este pueda requerir, principalmente en cuanto a la emisión de licencias de construcción y cualquier otra autorización que esté dentro de sus facultades. El gobierno del municipio corresponde con exclusividad al Concejo Municipal, de conformidad con el artículo 33 del Código Municipal. Según su artículo 35, dentro de las principales funciones del Concejo Municipal relacionadas con el tema se encuentran:

- Iniciativa, deliberación y decisión de los asuntos municipales.
- El ordenamiento territorial y control urbanístico de la circunscripción municipal.
- La emisión y aprobación de acuerdos, reglamentos y ordenanzas municipales.
- La organización de cuerpos técnicos, asesores y consultivos que sean necesarios al municipio, así como el apoyo que estime necesario a los consejos asesores indígenas de la alcaldía comunitaria o auxiliar, así como de los órganos de coordinación de los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES) y de los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COMUDES).

- Proponer la creación, modificación o supresión de arbitrios al Organismo Ejecutivo, quien trasladará el expediente con la iniciativa de ley respectiva al Congreso de la República.
- La elaboración y mantenimiento del catastro municipal en concordancia con los compromisos adquiridos en los acuerdos de paz y la ley de la materia.
- La promoción y protección de los recursos renovables y no renovables del municipio.

En el mismo sentido, si el asunto afectara en particular los derechos e intereses de comunidades indígenas del municipio o de sus autoridades propias, el Concejo Municipal realizará consultas a solicitud de las comunidades o autoridades indígenas, inclusive aplicando criterios propios de las costumbres y tradiciones de las comunidades indígenas. Por último, con base en el artículo 64 del Código Municipal, los vecinos tienen el derecho de solicitar al Concejo Municipal la celebración de consultas cuando se refiera a asuntos de carácter general que afectan a todos los vecinos del municipio.





## **5. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN GUATEMALA**

En Guatemala, los aspectos del cuidado del medio ambiente se rigen principalmente por la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, cuyo objetivo principal es normar, asesorar, coordinar y verificar el cumplimiento de las acciones tendientes a la prevención del deterioro ecológico y el mejoramiento del medio ambiente.

Mediante esta ley se crea la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) como el ente encargado de su aplicación. Posteriormente, mediante el Decreto 90-2000 se crea el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), entidad que sustituyó a la CONAMA. En este mismo decreto se otorga al MARN la responsabilidad de la aplicación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente y su reglamento.

En el artículo 8 del cuerpo legal antes citado se establece la necesidad de contar con un Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA), para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que, por sus características, pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional.

## 5.1. Normativa Ambiental

Como se señaló anteriormente, en un proyecto hidroeléctrico la fuente renovable que se utilizará para la generación de la energía es el agua. Por ello el MARN debe buscar la máxima protección de dicho recurso, así como el menor efecto para el medio ambiente.

Por tal razón es que, previo a aprobar un Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA), se cuidará principalmente que el recurso hídrico sea correctamente aprovechado, de manera que no se prive del acceso al agua a las comunidades aledañas, buscando que el agua de los ríos, utilizada para las hidroeléctricas, sea también aprovechada para canales de riego y el sostenimiento en general de los habitantes situados en el área de influencia del proyecto.

Algunos de los impactos potenciales que la construcción y operación de una hidroeléctrica (dependiendo de su tamaño) podrían provocar al medio ambiente se mencionan a continuación:

- En el medio físico:
  - Emisión de gases en la atmósfera por los motores de combustión de la maquinaria y equipo de construcción.
  - Emisión de sonidos altos, derivada del uso de la maquinaria y equipo de construcción.
  - Cambio de pendientes naturales del terreno, sedimentación de material suelto en taludes y eventualmente en cauces de los ríos, como consecuencia de la alteración del suelo por el movimiento de tierras.

- En el medio biótico:
  - Disminución y daño a la fauna del área derivadas de la construcción de las obras, que requieren el corte de árboles.
  - Daño sobre organismos acuáticos y sistemas de riego de los pobladores de las comunidades aledañas, como consecuencia del cambio del régimen de los caudales que podrían provocar la presa y las obras de derivación.
  
- En el medio socioeconómico:
  - Efecto sobre recursos culturales e históricos, consecuencia del movimiento de tierra.
  - Trastorno del paisaje derivado del tránsito de camiones, la remoción de la cobertura vegetal, entre otros.
  - Accidentes laborales que podrían suscitarse durante los trabajos de construcción.

En muchos casos los impactos ambientales que la construcción y operación de una central hidroeléctrica podrían tener son meros pronósticos y especulaciones de estos efectos. Es por ello que para la adecuada determinación, medición y monitoreo de los impactos ambientales provocados, es importante contar con un programa de control y seguimiento, el cual permita establecer con claridad las consecuencias ambientales del desarrollo del proyecto.

Tomando en cuenta los riesgos y consecuencias que la construcción y operación de una central hidroeléctrica pueda provocar en el medio ambiente, es necesario que en el Instrumento de Evaluación Ambiental que se presente al

MARN se tengan previstas las medidas de mitigación adecuadas para prevenir, controlar y disminuir los impactos al ambiente físico, biótico y socioeconómico, y maximizar los impactos positivos significativos que se originen de la construcción del proyecto.<sup>33</sup>

El Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (RECSA), Acuerdo Gubernativo Número 431-2007, es el instrumento en el cual se establecen los Instrumentos de Evaluación Ambiental y el procedimiento necesario para su presentación en el MARN.

En el artículo 2 de la citada normativa se establece que su aplicación corresponde a las siguientes direcciones del MARN: a) Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales (DIGARN); b) Dirección General de Coordinación Nacional (DGCN); y c) Dirección General de Cumplimiento Legal (DGCL), las cuales, a su vez, conforman el Sistema de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental. Este Sistema tiene, entre otras funciones, la de conocer y analizar los instrumentos de evaluación ambiental que se le presenten.

## **5.2. Instrumentos de Evaluación Ambiental**

De conformidad con el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (RECSA), son Instrumentos de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental aquellos documentos técnicos en los cuales se encuentra contenida la información necesaria para realizar una identificación y evaluación ordenada de los impactos o riesgos ambientales de un proyecto, obra, industria o actividad, desde la fase de planificación hasta las fases de ejecución, operación

---

<sup>33</sup> Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). *Manual de buenas prácticas para proyectos hidroeléctricos*. p. 47.

y abandono. Dentro de estos instrumentos se encuentra el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA).

En ese orden de ideas, el artículo 12 del citado reglamento establece una lista de los instrumentos de evaluación ambiental, los cuales se enumeran a continuación: a) Evaluación Ambiental Estratégica; b) Evaluación Ambiental Inicial y Autoevaluación Ambiental; c) Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental; d) Evaluación de Riesgo Ambiental; e) Evaluación de Impacto Social; f) Diagnóstico Ambiental; y g) Evaluación de Efectos Acumulativos.

Es importante mencionar que el Instrumento de Evaluación Ambiental que se debe presentar para la obtención de la Licencia Ambiental para la construcción de un proyecto hidroeléctrico, está determinado por el tipo de central que se pretende construir. Las distintas obras, proyectos y megaproyectos que se pueden desarrollar en el país, incluyendo las centrales de generación, están clasificadas de acuerdo con el Listado Taxativo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

El Listado Taxativo es elaborado por el MARN conforme al Estándar Internacional del Sistema Código Internacional Industrial Uniforme (CIIU) de todas las actividades productivas, el cual es emitido mediante un Acuerdo Ministerial. El Listado Taxativo vigente actualmente es el Acuerdo Gubernativo No. 134-2005.

A continuación se presenta la forma en que se clasifican los proyectos de generación de energía eléctrica producida por fuentes renovables de acuerdo con el Listado Taxativo:

Tabla I. **Listado Taxativo del MARN**

<b>Clasificación de Proyectos de Generación de Energía de acuerdo con el Listado Taxativo</b>	
<b>Categoría</b>	<b>Capacidad</b>
Categoría A: Proyectos, obras o actividades del más alto impacto ambiental, potencial y riesgo ambiental. (Megaproyectos)	Mayor o igual a 2MW
Categoría B1: Proyectos, obra o actividades de moderado a alto impacto ambiental potencial o riesgo ambiental.	Menor a 2MW y mayor a 1MW
Categoría B2: Proyectos, obras o actividades de moderado a bajo impacto ambiental potencial o riesgo ambiental.	Menor a 1 MW
Categoría C: Proyectos, obras o actividades de bajo a casi nulo impacto ambiental potencial o riesgo ambiental.	No aplicable a hidroeléctricas

Fuente: ALDANA, Astrid. *Análisis de los requisitos legales para la construcción y operación de una central hidroeléctrica en Guatemala*. Consulta: octubre 2017.

De acuerdo a la clasificación anterior, se requerirá la presentación de un diferente Instrumento de Evaluación Ambiental para cada proyecto determinado.

Derivado de las consultas realizadas a profesionales en materia ambiental y solicitantes de las licencias ambientales, se estableció que en el caso de proyectos hidroeléctricos, en su mayoría, se presentan desde el inicio del trámite Estudios de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIAs), ya que generalmente la construcción de un proyecto hidroeléctrico conlleva consecuencias de alto a mediano impacto ambiental.

Así que, de conformidad con el artículo 17 del Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (RECSA), el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) es el documento técnico que permite identificar y predecir, con mayor profundidad de análisis, los efectos sobre el ambiente que ejercerá un proyecto, obra, industria o actividad que se ha considerado como de

alto impacto ambiental potencial en el Listado Taxativo (categoría A o megaproyectos) o bien, como de alta significancia ambiental a partir del proceso de Evaluación Ambiental.

En cuanto a la necesidad de la elaboración y presentación del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA), es necesario recalcar lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, que establece que para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje, será necesario previamente a su desarrollo un EEIA, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), ahora Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. De conformidad con dicha norma se establece que se requiere un EEIA toda vez el proyecto que se pretende construir, por sus características, vaya a producir un deterioro a los recursos renovables.

La interpretación de esta norma debe hacerse partiendo de que, no obstante se establece que todo proyecto, obra, industria que se pretenda construir requiere la aprobación de un EEIA, hay una limitación a esta condición, que consiste en las características del proyecto. De esta manera, si por sus características se considera que un proyecto no tendrá efectos negativos para el medio ambiente, la presentación del EEIA no será necesaria, siendo el MARN la institución facultada por la ley para determinar este extremo, tal como se expresa más adelante.

Para la elaboración de los instrumentos de evaluación ambiental, incluyendo el EEIA, el MARN, a través de la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales (DIGARN), se encarga de la elaboración de

manuales específicos que contienen las directrices o especificaciones para su desarrollo.

Estas directrices o especificaciones son conocidas como Términos de Referencia y constituyen lineamientos que los solicitantes deben observar en el desarrollo de un Instrumento de Evaluación Ambiental y su presentación ante el MARN. Los manuales que contienen los Términos de Referencia son aprobados por medio de Acuerdos Ministeriales.

### **5.3. Evaluación Ambiental Inicial**

Según el artículo 29 del Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (RECSA), el procedimiento administrativo para los proyectos, obras, industrias o actividades nuevas iniciará su trámite con la presentación de la Evaluación Ambiental Inicial por parte del proponente, ante la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales (DIGARN). La Evaluación Ambiental Inicial se utiliza para determinar si un proyecto, obra, industria o actividad requiere o no de un análisis más profundo por medio de otro instrumento de evaluación ambiental, como podría ser el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA).

Derivado de este artículo se puede establecer que el MARN), a través del equipo de técnicos de la DIGARN, tiene la facultad de establecer si un proyecto requiere o no de la elaboración y presentación de un EEIA, guiándose de acuerdo con lo establecido en el Listado Taxativo, por las características específicas del proyecto, así como en la Evaluación Ambiental Inicial.



#### **5.4. Estudio de evaluación de impacto ambiental**

Las centrales hidroeléctricas que requieren de la aprobación de un Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIAI) para su construcción y operación, son aquellas que se encuadran dentro de la categoría A, de conformidad con el Listado Taxativo del MARN. Al pertenecer a dicha categoría se entiende que estas centrales deben tener, como mínimo, una capacidad de generación de 2MW.

#### **5.5. Trámite para la aprobación de un estudio de evaluación de impacto ambiental**

Los requisitos que deben observarse para la aprobación de un Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) se encuentran establecidos en el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (RECSA), Acuerdo Gubernativo 4312007, el cual fue modificado con posterioridad por los acuerdos gubernativos número 33-2008; 89-2008 y 173-2010. Para la revisión de los EEIA presentados al MARN se fija un plazo de dos meses, para aquellos proyectos encuadrados dentro de la categoría A (con capacidad mayor a 2MW) y cuatro meses para los megaproyectos de alcance nacional<sup>34</sup>.

Nótese que en la norma citada anteriormente se hace una diferencia entre el plazo aplicable a los proyectos encuadrados dentro de la categoría A y los megaproyectos de alcance nacional. Esto llama la atención, debido a que, de conformidad con el Listado Taxativo del MARN, no existe una distinción entre los proyectos situados en la categoría A y los megaproyectos. Únicamente se establece que se encuadrarán dentro de la categoría A aquellos

---

<sup>34</sup> Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental. Acuerdo Gubernativo No. 431-2007. Artículo 33.

proyectos, obras o actividades del más alto impacto ambiental, potencial y riesgo ambiental (megaproyectos). Con base en esto, ambos tipos de proyecto se encuadrarían dentro de la categoría A, y de conformidad con el artículo 33 del RECSA el plazo para su revisión debería ser de 2 meses.

Con base en lo anterior, y tomando en cuenta la diferencia que el RECSA hace entre los proyectos pertenecientes a la categoría A y megaproyectos de alcance nacional, se considera que queda a discreción de la entidad encargada de la revisión del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA), en este caso la DIGARN, determinar qué tipo de proyecto se encuadra en cada categoría y, consecuentemente, aplicar el plazo de acuerdo con el RECSA.

En cuanto a la revisión y aprobación de los Estudios de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIAs), estas generalmente no se cumplen dentro del plazo establecido. Esto se debe a distintas razones, entre las que sobresalen la carga de trabajo que existe y el hecho de que la DIGARN puede solicitar “opinión” a otras entidades gubernamentales durante el proceso de revisión del EEIA, tales como el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Instituto de Antropología e Historia (IDAEH), entre otras.

El artículo 41 del RECSA reconoce la facultad de la DIGARN para hacer las consultas necesarias, sin embargo, establece que son de carácter obligatorio aquellas que estén relacionadas con proyectos, obras, industrias o actividades relacionadas con las funciones y facultades del MEM, y/o aquellas que se vayan a desarrollar dentro de áreas protegidas legalmente declaradas.

Así se logra establecer que la DIGARN tiene la obligación de hacer la consulta únicamente al Ministerio de Energía y Minas (MEM) y al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP); y estará facultado, mas no obligado, a

solicitar opinión a las entidades públicas que considere conveniente (INAB, IDAEH, entre otras).

La consulta al MEM se debe hacer principalmente en el caso de la aprobación del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) para el funcionamiento de proyectos mineros; mientras que, en el caso de las centrales hidroeléctricas, la DIGARN no hace la consulta respectiva, debido a que luego de la aprobación del EEIA el interesado deberá acudir al MEM a solicitar la autorización para el uso del recurso hídrico.

Lo relacionado con la consulta que se debe realizar al CONAP, y aquellas posibles opiniones que podría solicitar la DIGARN principalmente al IDAEH y al INAB, se abordará a detalle posteriormente en el presente capítulo.

Una de las razones por las cuales la revisión del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) puede tomar más tiempo del señalado en el RECSA podría ser en el caso de que la información suministrada por el proponente se presente incompleta. En este caso, DIGARN solicitará dicha información y, mientras esta no se complete, el procedimiento quedará suspendido. En caso de que el proyecto no corresponda a la categoría que el proponente señale se le comunicará a este por escrito a fin de que cumpla con el trámite correspondiente.

Con base en lo anterior, a continuación se enumeran los diferentes requisitos que deben cumplirse durante el trámite para la aprobación de un Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) en el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

### **5.5.1. Presentación del estudio de evaluación de impacto ambiental (EEIA) ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)**

El EEIA puede presentarse ante las oficinas centrales del MARN o en cualquiera de sus delegaciones, en cada departamento de la República. Para su presentación deben tomarse como base los Términos de Referencia para la Elaboración de un EEIA, aprobados previamente por el MARN.

Es importante tomar en cuenta que el EEIA debe ser elaborado por un Consultor Ambiental o grupo de Consultores Ambientales (organizados individualmente o como personas jurídicas). Dichos consultores deben estar previamente registrados en el MARN. La Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales (DIGARN), dentro de las funciones que señala el Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (RECSA), tiene la obligación de mantener un registro de Consultores Ambientales o Proveedores de Servicios Ambientales, técnicos en la materia, que tengan el conocimiento y experiencia en la elaboración de instrumentos de evaluación ambiental.

Los consultores o empresas consultoras que se dediquen a la prestación del servicio de consultoría para la elaboración de instrumentos de evaluación ambiental deben solicitar a la DIGARN su registro en la base de datos respectiva. La DIGARN extiende a cada consultor una Licencia Ambiental de Registro de Empresa Consultora, documento que debe renovarse periódicamente y con el cual quedan facultados para la elaboración del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) y del resto de instrumentos de evaluación ambiental.

Se considera que el requisito solicitado a los consultores, de registrarse como consultor autorizado previamente a elaborar un EEIA, es una atribución que tiene la DIGARN debido a la gran importancia que reviste el EEIA. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) tiene la responsabilidad de velar por la aplicación de la Ley de Mejoramiento del Medio Ambiente y, en general, debe supervisar para que se tenga el mayor cuidado y aprovechamiento del medio ambiente y de los recursos naturales.

El EEIA es un instrumento multidisciplinario en el cual intervienen diversas áreas de la ciencia y se abordan temas muy específicos en cada materia. Esto hace que el EEIA sea un documento bastante complejo, cuya elaboración requiere sólidos conocimientos del tema ambiental y una amplia experiencia en estos temas.

La DIGARN, por medio del registro de consultores, cumple con una función previa a la revisión y aprobación del EEIA, consistente en asegurarse de que dicha persona o empresa sean profesionales que cuenten con un amplio conocimiento y experiencia en el tema, y que, por lo tanto, se encargarán de establecer con claridad y veracidad los riesgos ambientales que el proyecto representa, así como fijarán correctamente las medidas de mitigación aplicables en cada caso.

#### **5.5.2. Documentación legal que se debe acompañar al Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA)**

- Carta de presentación del proyecto firmada por el representante legal de la entidad proponente o por el propietario, en su caso.
- Ubicación del proyecto.

- Certificación del Registro de la Propiedad del predio en donde se va a desarrollar el proyecto. Si esta no se tuviera aún, puede acompañarse alguno de los siguientes documentos: a) Contrato de arrendamiento; b) Promesa de compraventa del bien inmueble.
- Planos debidamente sellados, timbrados y firmados por el profesional que los realizó en original y copia.
- Certificación de colegiado activo del consultor o consultores que participaron en el instrumento (en original o copia legalizada).
- Registro actualizado del consultor en el MARN (original o fotocopia legalizada).
- Declaración jurada del consultor o empresa consultora en la cual se declarará que la información vertida en el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) es verdadera y correcta, y que cumple con los requisitos establecidos en la regulación ambiental vigente en el momento de su presentación ante el MARN.
- Expediente completo digital (en un disco compacto).

### **5.5.3. Consultas a otras instituciones**

Del contenido que debe incluirse en el EEIA de acuerdo con los Términos de Referencia se puede inferir que este es de carácter multidisciplinario, pues intervienen diversas disciplinas y ciencias específicas.

La DIGARN podrá solicitar opinión a otras entidades públicas para los diferentes instrumentos de evaluación ambiental, incluyendo el EEIA. Si transcurridos quince días contados a partir del día siguiente de la presentación de la solicitud de la DIGARN o las Delegaciones, la entidad pública correspondiente no hubiere emitido la opinión solicitada, el MARN podrá resolver con la información que se tenga.

De esta manera, la Ley faculta a la DIGARN o al MARN a seguir adelante con el trámite de la evaluación y aprobación del EEIA, en caso la institución gubernamental a la cual se haya hecho alguna consulta no responda dentro del término de 15 días. Esto se hace con el objeto de agilizar la tramitación de la aprobación del Estudio.

No obstante, en la práctica, según el MARN la DIGARN, en ocasiones, otorga más tiempo del establecido a las instituciones a las que hace una consulta, excediéndose así del tiempo establecido en la ley. Se considera que lo anterior se debe a que la DIGARN no solo busca dar la participación al resto de instituciones involucradas, sino también a que prefiere evitar cualquier tipo de responsabilidad que podría corresponderles por continuar el trámite, habiendo obviado la opinión de alguna institución porque no la prestó en tiempo.

Generalmente, cada institución tiene sus atribuciones específicas, las cuales se encuentran establecidas en su Ley Orgánica y reglamentos correspondientes. Dichas normas otorgan a cada institución el marco legal y la competencia para actuar dentro de la administración pública.

Por ello se considera que, no obstante determinada institución no cumpla con dar su opinión en el término señalado en el RECSA, el MARN, a través de

la DIGARN debe contar con la aprobación u opinión correspondiente. Esto se debe a que cada institución tiene sus atribuciones específicas y en muchos casos la ley lo reconoce como el ente rector de las actividades relacionadas con el ámbito de su competencia.

Por ejemplo, la Ley Forestal establece que el Instituto Nacional de Bosques (INAB) es el órgano de dirección y autoridad competente del sector público agrícola en materia forestal. La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente no reconoce al MARN facultades para actuar en materia forestal y, por lo tanto, podría señalársele alguna responsabilidad por aprobar un Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) sin contar con la opinión del INAB.

Reforzando el punto anterior, según la Ley del Organismo Ejecutivo, el MARN es la entidad del sector público especializada en materia ambiental, a la cual le corresponde formular la política de conservación, protección y mejoramiento del ambiente y de los recursos naturales, y ejecutarla en conjunto con las otras autoridades con competencia legal en la materia correspondiente, en armonía con el marco normativo nacional e internacional.

El MARN, por lo tanto, debe contar con la colaboración de todas las instituciones relacionadas con el medio ambiente, de manera que presten su opinión en forma oportuna dentro del plazo establecido. Se considera que en ningún caso el MARN debería obviar la opinión de alguna institución, atribuyéndose de esta manera facultades que no le corresponden de conformidad con la ley.

A continuación se enumeran algunas de las posibles y principales instituciones a las que la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos



Naturales (DIGARN) podría acudir para hacer una consulta, previo a la aprobación de un Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) en el caso de proyectos hidroeléctricos.

Es importante recapitular lo establecido en el artículo 41 del RECSA, en el cual se indica que es obligatoria la consulta al MEM (la cual únicamente se hace en relación con proyectos mineros) y la consulta al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) si el proyecto se encuentra dentro de un área protegida.

#### **5.5.3.1. Consejo Nacional de Áreas Protegidas**

En el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA), dentro del apartado de Descripción del Ambiente Biótico, se requiere que el proponente indique si el proyecto se encuentra dentro de un área protegida, cercano a esta o fuera de la misma. Las áreas protegidas se dividen en: a) zona natural o núcleo; b) zonas modificables; c) zonas de uso múltiple, sostenible, de recuperación y cultural; d) zonas de protección; e) zonas de uso extensivo, y f) zonas de amortiguamiento<sup>35</sup>.

La Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales (DIGARN), durante el proceso de revisión del EEIA, verifica si el proyecto que se pretende construir se encuentra dentro de un área protegida. Para ello cuenta con una base de datos y mapas, proporcionados por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), con los cuales se establece si el proyecto está dentro de un área protegida.

---

<sup>35</sup> Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). *Manual de buenas prácticas para proyectos hidroeléctricos*. p. 49

En caso de que la DIGARN tuviera duda sobre la ubicación de un proyecto, y si este afecta o no un área protegida determinada, entonces se hace obligatoria la consulta al CONAP, para que sea esta institución la que determine que efectivamente el proyecto se encuentra en un área protegida. De esta manera, si alguna parte del proyecto se ubicara en un área protegida, por mínimo que esto fuera, incluso en la zona de amortiguamiento, es obligación de la DIGARN solicitar opinión al CONAP, y sin su aprobación no procederá con la revisión y autorización del EEIA. Por el contrario, si el proyecto hidroeléctrico que se pretende construir no se encuentra dentro de un área protegida, la DIGARN podrá continuar su trámite.

De acuerdo a disposiciones del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), es también un deber del proponente verificar que el proyecto que desea construir no se ubica dentro de un área protegida; principalmente si está interesado en lograr las autorizaciones ambientales en el menor tiempo posible. De esta manera, si el proponente, previo a presentar el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) ante el MARN, ya tiene conocimiento de que el proyecto, o una parte de este, se encuentra dentro de un área protegida, es aconsejable que solicite previamente la autorización al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Así, luego de obtener la autorización del CONAP, el EEIA se remitiría al MARN para su aprobación final (ya contando con el visto bueno respecto a la ubicación del proyecto en el área protegida). Con esta información la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales (DIGARN) no debería tener ningún problema para aprobar el EEIA (en cuanto al tema de áreas protegidas), ni tampoco sería necesario hacer ninguna consulta posterior al CONAP.

Según lo establecido en el artículo 20 de la Ley de Áreas Protegidas, las empresas públicas o privadas que tengan o desarrollen instalaciones o

actividades comerciales, industriales, turísticas, pesqueras, forestales, agropecuarias, experimentales o de transporte dentro del perímetro de las áreas protegidas, deberán celebrar, de mutuo acuerdo con el CONAP, un contrato en el que se establecerán las condiciones y normas de operación, determinadas por un EEIA presentado por el proponente al CONAP, que con su opinión lo remitirá al MARN para su evaluación, siempre y cuando la actividad que se pretende desarrollar sea compatible con los usos previstos en el plan maestro de la unidad de conservación de que se trate.

Según el artículo 18 de la Ley de Áreas Protegidas (reformado por el Decreto No. 11096), el manejo de cada una de las áreas protegidas del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) estará definido por su respectivo Plan Maestro, que Es el documento rector para la ordenación territorial, gestión y desarrollo de las áreas protegidas. Contiene las políticas, directrices generales y programas de manejo, conservación, investigación, ordenación y uso de los recursos. Tiene una vigencia de 5 años<sup>36</sup>.

Derivado de lo anterior se hace énfasis en la importancia de presentar el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) previamente ante el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), si ya se tiene conocimiento y certeza de que el proyecto se encuentra dentro de un área protegida. Durante la aprobación en el CONAP intervienen el Departamento Forestal, Departamento de Planificación, Departamento Jurídico, entre otros.

La Secretaría Ejecutiva del CONAP dicta una resolución, la cual, si aprueba el Estudio, es trasladada al Departamento Jurídico para el

---

<sup>36</sup> Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). *Manual de buenas prácticas para proyectos hidroeléctricos*. p. 9

otorgamiento del contrato con el proponente. Posteriormente, el CONAP remite el expediente al MARN para continuar su trámite.

### **5.5.3.2. Instituto Nacional de Bosques**

La DIGARN, durante la fase de revisión y aprobación del EEIA, debe evaluar, en el apartado relacionado con la descripción del ambiente biótico, la flora y la fauna del lugar. Como parte de este análisis está obligada a confirmar si el área en la cual se pretende construir un proyecto, y su respectiva línea de transmisión, tiene cobertura forestal y en consecuencia provocará la tala de bosques.

Es importante tomar en consideración que la construcción y operación de una central hidroeléctrica conlleva, en materia forestal, los siguientes impactos: tala de árboles derivada de las obras de infraestructura que sean necesarias para la instalación de la hidroeléctrica como tal, así como la apertura de caminos de acceso; el corte de árboles que se requiera para las líneas de transmisión, cuya instalación es necesaria para conectar la hidroeléctrica al Sistema Nacional Interconectado, de manera que la energía que se produzca pueda ser transportada a donde se requiera.

El cuerpo normativo que regula todo lo relativo al recurso forestal y su aprovechamiento es la Ley Forestal, Decreto No. 101-96 del Congreso de la República, y su reglamento, que es la resolución 143-2005 del Instituto Nacional de Bosques (INAB). De conformidad con su artículo 67, la Ley Forestal establece que adquieren la obligación de repoblación forestal las personas individuales o jurídicas que corten bosques para construir obras para el aprovechamiento de recursos hídricos, o que como resultado de estos proyectos necesiten inundar áreas de bosque; o bien, quienes corten bosques

para tender líneas de transmisión, entre otras. Nótese que dicho artículo hace referencia exclusivamente al término “bosque”. Para la aplicación de este precepto es importante comprender qué es un bosque, y diferenciarlo de lo que constituye una plantación.

La Ley Forestal, en el artículo 4, establece que es bosque el ecosistema en donde los árboles son las especies vegetales dominantes y permanentes; mientras que se conoce como plantación una masa arbórea, o bosques establecidos por siembra directa o indirecta de especies forestales.

Básicamente, los criterios que se utilizan para diferenciar ambos términos son los siguientes: se considerará bosque el área cubierta por árboles de distinta especie, mientras que se tomará como plantación aquella área cubierta de árboles, todos de la misma especie. En una plantación, derivado de la intervención humana, hay cierto distanciamiento entre cada árbol, lo cual va formando surcos y hace que los árboles crezcan en forma ordenada. Por su parte, se tratará de un bosque si se observa que los árboles han crecido de forma natural, desigual, sin formar surcos, abriéndose camino entre otros para crecer. En un bosque los árboles crecen desigualmente, no todos tienen el mismo tamaño. Por su parte, en una plantación se puede observar que todos los árboles o la mayoría ocupan el mismo espacio y tienen la misma altura.

La diferenciación entre lo que es un bosque y una plantación es tan importante debido a que dependiendo qué se determine que es el área en la que se pretende realizar la tala, así será el trámite a seguir. El Instituto Nacional de Bosques (INAB) deberá conceder la licencia forestal respectiva en caso se trate de un bosque, sin embargo, si se determina que es una plantación, el propietario del terreno en donde esta se encuentra no tiene obligación de

solicitar autorización al INAB y puede disponer de ella, aunque se trate de una gran área cubierta de árboles de gran tamaño.

Como consecuencia de lo anterior, y de la falta de regulación apropiada para tratar lo relativo a las plantaciones, el país se ve en riesgo de perder cada día más su cobertura forestal. Se considera que es preciso regular correctamente este tema. Si bien es cierto que la plantación es obra humana, y el propietario de un terreno tiene derecho a disponer del bien como mejor lo considere, al talar una plantación se están viendo afectados los beneficios que los árboles aportan para las poblaciones cercanas. Al brindar un beneficio a los habitantes de estas comunidades, los efectos de una plantación dejan de ser exclusivos del propietario de esta, y pasan a formar parte del medio ambiente, en el cual se desenvuelven todos. Por ello es bastante discutible el hecho de que para talar una plantación no se requiera de ninguna autorización por parte del INAB.

En atención a lo anterior, y de conformidad con la Ley, la DIGARN solicita opinión al INAB sobre si el suelo en donde se va a desarrollar el proyecto es un área forestal, y si fuera así, si el área forestal es tipo bosque o tipo plantación.

Como se indicó anteriormente, el RECSA no establece la obligatoriedad de la consulta que se realiza al Instituto Nacional de Bosques (INAB), por lo cual la DIGARN podría no llevarla a cabo. Un factor muy importante que contribuirá al éxito de la aprobación del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA), y al correcto cumplimiento de la normativa ambiental, consiste en la declaración que el proponente haga en el EEIA sobre la cobertura forestal del área.

Dentro del apartado relacionado con la descripción del ambiente biótico del lugar, el proponente debe indicar claramente si el área en la cual desea desarrollar el proyecto tiene o no cobertura forestal. Esto no será una tarea difícil, tomando en cuenta que el EEIA es elaborado con la participación de distintos técnicos que fácilmente pueden determinar esto.

De esta manera, si el proponente lo establece, con mayor razón la DIGARN debe hacer uso de su facultad de hacer consultas a las instituciones públicas que considere, solicitando la opinión respectiva al INAB. En el caso de que el solicitante indicara en el EEIA que el área no tiene cobertura forestal, y los técnicos de la DIGARN, al realizar su visita de campo, establecieran que esto no es así, de igual manera podrán hacer la consulta respectiva al INAB.

Si el INAB determinara que se trata de una plantación, como se indicó anteriormente, no corresponde solicitar ninguna autorización por la tala que pudiera darse; mientras que, si estableciera que el área es un bosque, deberá tramitar la Licencia Forestal respectiva. Dicho trámite deberá iniciarse posteriormente a la aprobación del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) por parte del MARN. Para abordar los temas en el orden de su trámite en la práctica, el procedimiento a seguir para la obtención de la Licencia Forestal correspondiente se detalla al final del presente capítulo.

#### **5.5.3.3. Instituto de Antropología e Historia (IDAEH)**

El EEIA debe contener un apartado relacionado con la descripción del ambiente socioeconómico y cultural del área en la cual se desea desarrollar el proyecto, buscando la protección de los elementos arqueológicos y paleontológicos, entre otros. La DIGARN podrá solicitar opinión al IDAEH, si tuviera conocimiento de que en el área existen o puedan existir vestigios

arqueológicos, para que dicha institución rinda su opinión. El conocimiento que la DIGARN podría tener sobre esto debería ser a raíz de lo establecido en el EEIA presentado, ya que, si el proponente tiene conocimiento de la existencia o probabilidades de que existan reliquias arqueológicas en el área, tiene el deber de hacerlo constar.

De cualquier manera, si esto no se indicara en el EEIA, al igual que en el tema de la determinación de la cobertura forestal del área, los técnicos de la DIGARN, en su visita de campo establecerán la existencia o posible existencia de elementos arqueológicos y paleontológicos en el área, y determinarán la necesidad de hacer la consulta al IDAEH. Si el IDAEH establece la existencia o que es probable que existan elementos arqueológicos en el área, obligará al proponente a que los trabajos de excavación y desarrollo de la obra se hagan con el acompañamiento de un arqueólogo, lo cual quedará como una de las obligaciones que el solicitante debe cumplir, dentro de la resolución de aprobación del EEIA.

#### **5.5.3.4. Licencia ambiental**

La licencia de evaluación ambiental podrá solicitarse al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) una vez se hayan cumplido los requisitos establecidos en la resolución de aprobación del estudio. El MARN procederá previo pago por parte del interesado, en un plazo máximo de ocho días, a la emisión de la licencia respectiva. En caso de que los requisitos establecidos en la resolución no hubieran sido satisfechos a cabalidad, el MARN le comunicará la situación y le dará un plazo no mayor de 30 días para que sean satisfechos.



El Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (RECSA) no establece un plazo para la solicitud de otorgamiento de la licencia respectiva por parte del MARN. De esta manera, un estudio puede ser aprobado, habiéndosele fijado ciertas condiciones y obligaciones de cumplimiento de diversos compromisos, pero estos podrían o no cumplirse. Si estos no se cumplen, el efecto será que no se puede solicitar la emisión de la Licencia Ambiental y que, naturalmente, esta no será extendida.

Para el inicio de los trabajos, la(s) municipalidad(es) del lugar en donde se va a desarrollar la construcción del proyecto solicitan que el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) se encuentre previamente aprobado, para extender la licencia de construcción respectiva. Sin embargo, esta es una exigencia que dependerá de la municipalidad del lugar en donde se pretenda desarrollar el proyecto. De igual manera, solicitarán la presentación de la Licencia Forestal respectiva, cuyo trámite y requisitos para su otorgamiento se desarrollan posteriormente en el presente capítulo.

#### **5.5.4. Emisión de Licencia Forestal por el Instituto Nacional de Bosques (INAB)**

Tal como se indicó anteriormente, el cuerpo normativo que regula todo lo relacionado con la emisión de licencias forestales en el país es la Ley Forestal, cuya aplicación corresponde al INAB. De igual manera, es conveniente recordar que la emisión de licencia forestal será obligatoria únicamente en aquellos casos en que la(s) zona(s) en donde se pretende desarrollar el proyecto tengan cobertura forestal de bosque y no de plantación (a lo cual se hizo referencia con anterioridad).

#### **5.5.4.1. Solicitud de emisión de licencia**

Las solicitudes se deben presentar en los municipios y departamentos de la República, así como en la ciudad capital. De conformidad con el artículo 50, la licencia deberá solicitarse al INAB, ajustándose a las disposiciones del Código Procesal Civil y Mercantil, Decreto Ley 107. La solicitud deberá acompañarse con su respectivo Plan de Manejo.

Se entiende por Plan de Manejo el programa de acciones desarrolladas técnicamente que conducen a la ordenación silvicultural de un bosque, con valor de mercado o no, asegurando la conservación, mejoramiento y acrecentamiento de los recursos culturales<sup>37</sup>. En general, el Plan de Manejo establecerá dos puntos importantes: a) cómo, cuándo y dónde se va a requerir realizar la tala de árboles; y b) cómo, cuándo y dónde se va a llevar a cabo la reforestación. Al igual que la DIGARN, el INAB establece requisitos básicos para el técnico que estará a cargo de la elaboración del Plan de Manejo respectivo. Según el artículo 51 de la Ley Forestal se requiere que este sea elaborado por profesionales en el campo forestal (ingeniero agrónomo, ingeniero o técnico forestal, técnicos universitarios con especialidad en silvicultura o manejo de bosques, peritos forestales y profesionales con postgrado en la materia). De igual manera, se requiere que dichos profesionales se encuentren debidamente inscritos en el INAB.

Según lo establecido en la Ley Forestal, el INAB, como requisito para emitir la licencia respectiva, solicita únicamente el Plan de Manejo correspondiente. No se hace mención ninguna sobre la aprobación previa del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA). Se cometió esta omisión

---

<sup>37</sup> Decreto No. 101-96 del Congreso de la República. *Ley Forestal. Artículo 4.* Guatemala, 1996.

en la Ley Forestal, no obstante esta es posterior a la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, aprobada en 1986. No obstante lo anterior, el INAB sí requiere la aprobación previa del EEIA para la admisión para su trámite de la solicitud de la licencia forestal respectiva.

En el caso de las centrales hidroeléctricas, aunque el INAB no requiriera la aprobación previa del Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) para el otorgamiento de la licencia forestal, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) sí requiere de dicha aprobación para la Solicitud de la Autorización de Uso de Bienes de Dominio Público, por lo que, de una u otra manera, la elaboración del EEIA es obligatoria.

#### **5.5.4.2. Emisión de la licencia y obligaciones derivadas del Plan de Manejo**

En el artículo 49 se establece que la licencia será la autorización para implementar el plan de manejo. Por ello, para la obtención de este requisito, es indispensable contar con la aprobación por parte del INAB del Plan de Manejo. Para resolver, el INAB tiene un término de 60 días contados a partir de la admisión administrativa de la solicitud (recepción).

Luego de la aprobación del Plan de Manejo Forestal y de la emisión de la licencia, el solicitante adquiere la obligación de reforestar las áreas con bosque que utilice para la realización de obras de infraestructura. El solicitante tiene la obligación de ubicar un terreno apropiado para llevar a cabo la reforestación. Es importante tomar en cuenta que dicha reforestación se deberá llevar a cabo en el mismo departamento en donde se encuentre ubicado el proyecto. Además de la respectiva repoblación forestal, la persona o entidad a cuyo favor se otorgó la licencia quedará obligada a darle mantenimiento a su plantación

durante un mínimo de 4 años. Nótese que a partir de que se da la repoblación forestal se habla de una plantación, ya no de un bosque. Esto debido a que aunque el proponente del Plan de Manejo desarrolle este a cabalidad y cumpla con su obligación de reforestar el área, se tratará de una plantación, la cual no tendrá el mismo valor y riqueza natural que tiene un bosque.

Por esta razón, y por el gran valor que los recursos forestales tienen para el país, es que debe tomarse muy en cuenta la correcta elaboración del Plan de Manejo y su respectivo cumplimiento. En conclusión, se pueden resumir las obligaciones que el solicitante adquiere con objeto de la emisión de la Licencia Forestal:

- Dar cumplimiento al Plan de Manejo respectivo.
- Pagar un monto equivalente al 10 % del valor de madera en pie, de conformidad con los valores fijados en publicación anual que realiza INAB en el Diario de Centroamérica. Dicho pago deberá hacerse efectivo al momento de ser autorizada la licencia<sup>38</sup>.
- Llevar a cabo la reforestación de acuerdo con el Plan de Manejo.
- Prestar garantía como cumplimiento de las obligaciones adquiridas, de conformidad con la ley.

#### **5.5.4.3. Garantía de las obligaciones**

Adicionalmente al cumplimiento del Plan de Manejo, el solicitante debe garantizar las obligaciones adquiridas. Dicha garantía puede prestarse bajo cualquiera de las siguientes opciones:

---

<sup>38</sup> Decreto No. 101-96 del Congreso de la República. *Ley Forestal. Artículo 87.* Guatemala, 1996.

- Que efectúe las reforestaciones y les de mantenimiento durante los tres años siguientes por su propia cuenta, garantizando la ejecución ante el INAB mediante:
  - Fianza o depósito monetario
  - Garantía hipotecaria
  - Bonos del Estado
  - Cualquier otra garantía suficientemente satisfactoria a juicio del INAB.
  
- Que haya establecido una reforestación que tenga entre uno y diez años de establecida al momento de solicitar el aprovechamiento, además de estar inscrita en el INAB como bosque artificial, lo cual no debe corresponder a compromisos anteriores de reforestación.
  
- Que cubra al Fondo Forestal Privativo el costo de reforestación establecido, así como el costo de mantenimiento por tres años más (de acuerdo con los precios publicados por el INAB en el año en que se efectúe el aprovechamiento forestal)<sup>39</sup>.

Generalmente, las obligaciones derivadas del Plan de Manejo Forestal son garantizadas por el solicitante por medio de fianza de cumplimiento, emitida a favor del INAB, la cual debe estar vigente únicamente durante los 3 años que establece la Ley. Adicionalmente, la última forma de garantizar la obligación que se refiere a pagar al Fondo Forestal Privativo el costo de reforestación correspondiente, consiste en que el solicitante de la licencia no queda obligado a hacer ninguna reforestación, únicamente debe efectuar el pago. Dichos fondos pasan a formar parte del Fondo Forestal Privativo, el cual es propiedad

---

<sup>39</sup> Decreto No. 101-96 del Congreso de la República. *Ley Forestal. Artículo 56.* Guatemala, 1996.

del INAB. Lamentablemente el INAB no tiene la obligación, de acuerdo con la Ley, de reforestar. Por ello, al pasar a formar parte del Fondo Forestal Privativo, este dinero se destina a sufragar gastos administrativos de la institución, tales como mantenimiento de equipo, pago de salarios, etc.

De acuerdo con lo anterior se desnaturaliza la garantía que debe prestarse al INAB como cumplimiento de la obligación de reforestar. Para muchos solicitantes podría resultar más fácil hacer el pago al Fondo Forestal Privativo que obligarse a desarrollar la reforestación. Con ello no se estaría asegurando que la cobertura forestal que tuvo que talarse para la construcción de un proyecto va a ser reforestada en otra área.

Se hace necesario que el INAB, en su función de órgano de dirección y autoridad en materia forestal, tenga preferencia por aceptar aquellas garantías que permitan la repoblación forestal, a manera de proteger dichos recursos. Se considera importante que, para el mejor cuidado de los recursos forestales, se reforme esta norma, con el objetivo de eliminar este tipo de garantía.

#### **5.5.4.4. Incumplimiento de obligaciones ambientales**

Derivado de lo estudiado a lo largo de este capítulo, se han abordado los distintos requisitos necesarios en materia ambiental para la construcción y operación de un proyecto hidroeléctrico. Las instituciones buscan garantizar el cumplimiento de las obligaciones adquiridas por los solicitantes de las licencias respectivas. No obstante la garantía prestada, en ocasiones puede darse el incumplimiento de las obligaciones ambientales adquiridas.

En el caso aplicable al INAB, el artículo 97 de la Ley Forestal establece el delito de incumplimiento del Plan de Manejo Forestal, sancionando con multa no menor a Q. 2 000,00 (en proporción al daño realizado), a quien por incumplimiento de las normas establecidas en el Plan de Manejo Forestal dañare los recursos forestales. Asimismo, el artículo 419 del Código Penal establece el delito de incumplimiento de deberes, en el caso de que un funcionario o empleado público omitiere, rehusare hacer o retardare algún acto propio de su función o cargo. Se prevé una pena de prisión de uno a tres años al responsable de la comisión de este delito.

Dicha pena podría aplicarse a cualquiera de los funcionarios del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), Instituto de Antropología e Historia (IDAEH), o alguna institución que, teniendo la obligación de velar por la protección de los recursos naturales, áreas protegidas, bosques, etc. (de acuerdo con cada caso), no cumpliera con sus obligaciones y permitieran la construcción de proyectos hidroeléctricos sin la observancia de los requisitos establecidos en las normas ambientales.

De igual manera, el Tratado de Libre Comercio (CAFTA-DR) tiene dentro de sus objetivos principales en materia ambiental lograr la aplicación efectiva de la legislación aplicable en cada uno de los países que forma parte de dicho tratado. Derivado de esto, el Estado de Guatemala tiene la obligación de velar por la correcta aplicación de la legislación ambiental por parte de cada institución, de manera que se logre una adecuada coordinación y se de el cumplimiento de la normativa ambiental.

## 5.6. Consulta Popular

### 5.6.1. Definición

“Las consultas populares o sufragios populares, en derecho constitucional y en la historia constitucional, son deliberaciones públicas tomadas por el país (toma de decisiones) como cuerpo electoral y cuerpo de legislación. Existen distintos tipos de consultas que se toman en el ejercicio de una forma de participación política, y cada vez el pueblo llega a la decisión de forma directa sobre algo sometido a su voluntad, por medio de los órganos del Estado en que los ciudadanos ejercen una forma de democracia directa”<sup>40</sup>.

La consulta popular es una manifestación de la democracia constitucional en la cual, mediante la ampliación del sufragio y el libre acceso a los cargos públicos, la totalidad del pueblo organizado en cuerpo electoral participa en el proceso de poder, lo que hace indirectamente al elegir a sus representantes y directamente por medio del referéndum y el plebiscito. Denominada en la doctrina *referéndum consultivo*, una consulta popular refiere las funciones de sufragio y ejercicio del voto en virtud del cual el pueblo, mediante el cuerpo electoral, decide en última instancia resoluciones que le afectan en forma directa. Tiene, en general, dos componentes:

- El órgano facultado que acepta, discute y aprueba una decisión política importante, que habrá de reflejar sus efectos en la estructura normativa del Estado y, por tanto, en la población.

---

<sup>40</sup> REYES, Silvia. *La obligación de someter a consulta popular decisiones políticas*. Consulta: octubre 2017.



- El pueblo, en el que radica la soberanía, que por medio del voto acepta y rechaza la propuesta aprobada, de donde deriva su voluntad de adoptar o no la decisión sobre la que se pronuncia en las urnas.

“La consulta requiere de la previa, suficiente y comprensiva información que debe darse a la población para que concurra al acto electoral con pleno conocimiento de su propósito, el principio de la soberanía popular se realiza así en la praxis a través de un proceso dialéctico en el que el momento de la decisión mayoritaria no tiene por qué excluir el momento previo de la orientación de la decisión, que puede corresponder a una élite o minoría intelectual”<sup>41</sup>. Cabe a este respecto la cita del profesor Pérez Luño, que indica “que a pesar de necesaria interdependencia real y creciente de todos los países en el mundo contemporáneo, las viejas fuerzas históricas de los nacionalismos y la idea tradicional de la soberanía no han perdido su vigencia ni empuje. Siempre que dicha élite se halle comprometida con la masa en la elaboración común de un determinado programa de acción”<sup>42</sup>.

### **5.6.2. Trámite de la consulta popular**

La Carta Magna es la que establece en el artículo 173 el procedimiento consultivo, en el cual regula que las decisiones políticas de especial trascendencia deberán ser sometidas a procedimiento consultivo de todos los ciudadanos, tal es el caso de los proyectos hidroeléctricos. La consulta debe ser convocada por el Tribunal Supremo Electoral (TSE), a iniciativa del Presidente de la República o del Congreso, que fijarán con precisión la/las pregunta/s que se realizarán a los ciudadanos. La Ley Constitucional Electoral regulará lo relativo a esta institución.

---

<sup>41</sup> REYES, Silvia. *La obligación de someter a consulta popular decisiones políticas*. Consulta: octubre 2017, p. 6.

<sup>42</sup> *Ibíd*em, p. 6.

Como lo establece la Carta Magna, la Ley Electoral y de Partidos Políticos regula el procedimiento a seguir en el caso de que exista un asunto de especial trascendencia para Guatemala. El artículo 250 de la Ley Electoral y de Partidos Políticos establece lo siguiente: “convocatoria y procedimiento: de acuerdo con la Constitución Política de la Republica, la consulta popular será convocada en todos los casos por el Tribunal Supremo Electoral”<sup>43</sup>. El proceso consultivo se regirá, en lo aplicable, por las normas que para elecciones establece la ley y su reglamento, así como por las específicas que emita el TSE. La mayoría relativa será el sistema aplicable a las consultas populares.

Deben tomarse en cuenta estos artículos del Reglamento de la Ley Electoral y de Partidos Políticos, Acuerdo Número 018-2007:

“Artículo 129. Procedimiento en General. En todo lo que sea aplicable, la consulta popular utilizará los procedimientos establecidos en el Artículo 250 y en los contenidos en el reglamento en referencia.

Artículo 130. Convocatoria. Procede realizar consulta popular en los casos establecidos en la Constitución Política de la República de Guatemala, en las demás leyes y sobre los tratados o convenciones internacionales, que para ser ratificados por Guatemala tengan como requisito previo que se hubiere realizado consulta popular y que la misma sea afirmativa. La convocatoria a Consulta Popular será publicada con anticipación no menor a noventa días de la fecha de su celebración. Se realizará un día domingo y contendrá la temática que se someta a consulta para aprobación o improbación de los ciudadanos guatemaltecos.

Artículo 131. Publicidad de la consulta popular. El TSE deberá publicitar por los medios de comunicación social a su alcance y de preferencia en el propio idioma de la jurisdicción electoral, el contenido de la consulta popular y los colores o símbolos que identifican la aprobación o improbación de la misma.

---

<sup>43</sup> REYES, Silvia. *La obligación de someter a consulta popular decisiones políticas*. Consulta: octubre 2017, p. 34.

Artículo 132. Forma de elaborar la consulta popular. La consulta popular deberá ser elaborada con preguntas en sentido afirmativo, que no den lugar a duda al ciudadano, sobre la intención del cuestionamiento. La respuesta a cada pregunta será SÍ o NO<sup>44</sup>.

El procedimiento para elaborar la papeleta electoral de consulta popular, en lo aplicable, será el mismo de cualquier otra clase de comicios. Si fuere sometido a consulta popular un texto que tendría carácter obligatorio para la población, el TSE establecerá los procedimientos aplicables, según el caso. También deben examinarse estos otros artículos:

“Artículo 133. Calificación de la consulta popular. En lo que fuere aplicable, para la calificación de la consulta popular se utilizarán los procedimientos regulados en la Ley y el Reglamento.

Artículo 134. Comunicación de los resultados. El TSE elaborará la resolución que define el resultado de la consulta popular, tomando en consideración lo estipulado en Artículos 209 y 210 de la Ley Electoral y de Partidos Políticos y aplicará en lo que fuere procedente el procedimiento para la comunicación de resultados, utilizado en las otras clases de comicios<sup>45</sup>.

Recientemente en Guatemala se cuenta con una guía para llevar a cabo consultas a los pueblos indígenas sobre los proyectos que se impulsen en sus comunidades, en cumplimiento al Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). La guía establece que se deberán hacer consultas a los pueblos indígenas en proyectos relacionados a temas del medio ambiente, hidroeléctricos, asuntos de educación y seguridad, así como sobre medidas administrativas en sus territorios. El presidente Jimmy Morales<sup>46</sup> anunció que esa guía será enviada al Organismo Legislativo para que sirva

---

<sup>44</sup> REYES, Silvia. *La obligación de someter a consulta popular decisiones políticas*. Consulta: octubre 2017, p. 35.

<sup>45</sup> *Ibíd*em, p. 36.

<sup>46</sup> Presidente de la República de Guatemala, período 2016-2019.

como un documento para elaborar la iniciativa de Ley de Consulta a los Pueblos Indígenas, la cual se encuentra en discusión. Hasta ahora, Guatemala no cuenta con una normativa para consultar a las comunidades indígenas sobre los proyectos, como los hidroeléctricos y de explotaciones de minerales, que han sido causa de constantes enfrentamientos y protestas.

Por su parte, la ministra de trabajo Aura Leticia Teleguario explicó que se creará una unidad rectora que asesorará a los diferentes sectores sobre la consulta. La funcionaria dijo que esta entidad estará integrada por representantes del Ministerio de Trabajo y del Ministerio de Energía y Minas, líderes indígenas y del sector empresarial. Teleguario comentó que el Congreso tendrá un plazo de un año para aprobar la ley.

Desde hace casi 12 años el Congreso de Guatemala tiene en sus manos resolver los conflictos que ha generado la falta de un instrumento para reglamentar las consultas populares de los pueblos indígenas a través de la elaboración de un decreto; sin embargo, no fue sino hasta que la Corte de Constitucionalidad (CC) lo emplazó que se delegó a tres comisiones para buscar una solución.

## **6. ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO**

Guatemala es un país con biodiversidad y variedad climática, con una superficie de 108 889 km<sup>2</sup> y una población actual de alrededor de 19 000 000 de habitantes. Se estima que la potencia para generación de energía a través de fuentes hidráulicas es de 5 000 MW, de las cuales únicamente se aprovecha el 17 % aproximadamente; el restante 83 % debe ser aprovechado con fines productivos.

La generación a partir de una corriente de agua es una de las fuentes de energía renovables más usadas en el mundo para generar electricidad, como se ha mencionado. Los sistemas de pequeña escala pueden contribuir a brindar el servicio de electricidad en zonas no electrificadas y fortalecer la red interconectada. Generalmente estos proyectos son a filo de agua, es decir que desvían temporalmente una parte del caudal de la corriente para la producción de energía hidroeléctrica.

### **6.1. Hidrología**

Los estudios de hidrología proporcionarán datos importantes sobre el flujo del agua, el cual es uno de los parámetros relevantes usados en la planificación hidroeléctrica. Toda planificación en términos hidrológicos se basa en la suposición de que la historia de la presencia de agua se repetirá en el futuro. En otras palabras, los planes de control y uso del agua que han sido observados en el pasado se repetirán en el futuro dentro de límites razonablemente

similares, excepto en el caso de que los flujos del agua hayan sido modificados por el hombre.

La precipitación y, por lo tanto, el suministro de agua, varía ampliamente de una localidad a otra, de temporada a temporada y de un año a otro. Cada una de estas variaciones tiene un impacto profundo en la planificación del control y uso de los recursos hídricos.

Es evidente que la planificación y el desarrollo de los recursos hídricos no pueden siempre posponerse a favor de un largo período de observación y acumulación de datos. Por otro lado los riesgos de un súper-desarrollo y de un diseño erróneo son igualmente evidentes. Puede ocurrir que un proyecto fracase en alcanzar los objetivos previstos debido a omisiones estructurales atribuibles a un conocimiento insuficiente de las posibilidades de crecidas, por ejemplo.

El problema es determinar hasta qué punto son justificables la ampliación y la interpolación de registros para la planificación y el desarrollo. Los organismos responsables de revisar, aprobar y financiar los proyectos propuestos deben confiar en la integridad, habilidad y juicio de los planificadores.

Una información documentada sobre los recursos hídricos de una región se puede conseguir normalmente en la sede de los organismos centrales nacionales, en este caso, instituciones como el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) o el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), y otras entidades en las cuales se pueden conseguir libros sobre datos anuales y otros registros estadísticos. Los registros que se necesitan son series

diarias o mensuales. Registros cortos pueden ser completados con técnicas de correlación que utilizan registros de áreas vecinas.

### **6.1.1. Datos de precipitación lluviosa**

Los datos sobre precipitación lluviosa se utilizan para reforzar los datos cortos o fragmentarios sobre corrientes. Los registros que se necesitan son series históricas de precipitaciones mensuales o anuales. Por varias razones, la evaluación correcta de precipitaciones representativas de un área más amplia puede conducir a resultados muy aproximados.

La precipitación de lluvia (mm/año) puede ser convertida en flujo (m/año) cuando se conocen las características del área de captación. Sin embargo, no se aconseja este procedimiento de no ser para valuaciones preliminares y cuando no se pueden conseguir otros datos sobre el flujo.

### **6.1.2. Aforos suplementarios**

Para la identificación del proyecto y para estudios de reconocimiento, un cálculo aproximado del flujo del río es normalmente suficiente. Previo a llevar a cabo los diseños de factibilidad para las represas, canales, equipo electromecánico y, en particular, el cálculo de producción de energía, debe establecerse una distribución probable estacional de flujo.

Si no existen registros previos del flujo de un río, el enfoque alternativo es establecer una estación de aforo del río de corto plazo, cerca del sitio propuesto para el proyecto hidroeléctrico. Esto requiere que se realicen mediciones, manualmente o por medio de un equipo automático, durante un período de uno o dos años.

Los registros de corto plazo se relacionarán con las observaciones del flujo o de la precipitación de largo plazo de un sitio que se encuentre en la misma región hidrológica. Por medio de modernas técnicas estadísticas de correlación se pueden extender los registros observados a un período aceptable de tiempo. En general, las estaciones de medición de la precipitación lluviosa han estado funcionando por mucho más tiempo que las estaciones de medición del flujo de un río, y por lo tanto pueden utilizarse como medio para extender un registro del flujo de corto plazo.

Existen ciertas características del flujo del río que se deben desarrollar y evaluar: flujo promedio total, distribución estacional del flujo, flujo mínimo, flujo de la crecida, de los cuales se hará mención más adelante.

### **6.1.3. Flujo promedio total**

Al realizar la investigación sobre los recursos hídricos, el estado de los datos hidrológicos se encuentra normalmente en una de las situaciones mencionadas a continuación (en cada caso se indican las mediciones que se deben llevar a cabo):

- Los registros de flujo han sido establecidos cerca del sitio del proyecto:
  - El flujo promedio registrado es transportado al sitio del proyecto (entrada) después de la adaptación por la diferencia en el tamaño de la captación.
- Los registros del flujo han sido establecidos en un río contiguo:
  - El flujo promedio registrado es transportado al sitio del proyecto después de la adaptación por la diferencia en el tamaño de la



captación. Si los registros de la precipitación lluviosa son disponibles para las dos captaciones, se hacen correcciones para las posibles diferencias en la distribución de la precipitación.

- No existe ningún registro del flujo en el área:
  - El flujo estimado promedio debe basarse en la precipitación lluviosa medida o estimada, multiplicando por el factor apropiado de fuga de la captación, por otro lado debe iniciarse un aforo suplementario prontamente para obtener registros para el proyecto.

#### **6.1.4. Distribución estacional del flujo**

La distribución estacional, como se describe en los registros observados del río mismo, o como se transporta de captaciones contiguas, normalmente es adecuada para la simulación de la producción de energía. Si el proyecto es en la corriente del río se deben buscar valores diarios del flujo durante el proceso de establecimiento de registros del flujo. Valores mensuales podrían sobreestimar la producción de energía de hasta un 10-20 %, de manera que se debe tener mucho cuidado a la hora de manipular los datos en mención.

#### **6.1.5. Flujo mínimo**

Los registros de descarga de la corriente proporcionan la información básica para la mayoría de los estudios sobre recursos hídricos. Los registros deben ser continuos durante un período de tiempo que será típico para las condiciones que se deben anticipar a la hora de llevar el proyecto. Para un proyecto en que se planifica el uso de agua por desviación directa de una

corriente sin regulación, un período prolongado de flujos críticamente bajos limitará la extensión hasta la cual un suministro seguro de agua puede ser provisto. Un período correspondiente al período crítico debería ser analizado en la investigación.

El flujo mínimo y su probabilidad estadística pueden estimarse analizando registros de flujo bajo en la región. Pequeñas captaciones tienen condiciones muy específicas de flujo bajo. Estas solo pueden determinarse con mediciones directas en el sitio en cuestión.

#### **6.1.6. Flujos de crecida**

El estudio de las crecidas en las investigaciones de factibilidad involucra aquellas fases de la hidrología, meteorología y análisis estadístico que pertenecen a la estimación de los volúmenes de las crecidas, velocidad de descarga, duración, período y frecuencia en condiciones hipotéticas.

El objetivo en este apartado no es el de discutir detalladamente los procedimientos y las técnicas de estudio de las crecidas, sino el de presentar la naturaleza y el alcance de los estudios necesarios. El estudio de la crecida constituye una rama muy especializada de la hidrología y debe ser llevado a cabo bajo la supervisión estrecha de un hidrólogo de crecidas muy calificado.

El estudio de las crecidas se necesita por dos objetivos generales:

- Control de la crecida, donde una de las funciones principales del proyecto es la protección de la tierra, de las comunidades u otros valores económicos de los daños periódicos por causas de crecidas.

- Diseño hidráulico, con el objetivo de proporcionar información para la seguridad del proyecto y la construcción de represas y vertederos, diques u otras estructuras.

El proceso de determinar de forma progresiva el perfil y los tiempos de una crecida mientras pasa por puntos sucesivos a lo largo de una corriente se conoce como recorrido de la crecida. Si la única detención o almacenamiento de la crecida está constituido por el cauce de la corriente de agua o por la inundación del valle, el proceso se llama recorrido de la creciente. Si la ola de la crecida pasa por un embalse el proceso se llama recorrido del embalse.

Dentro de la planificación es necesario tomar en cuenta cómo se realizará la desviación durante la construcción, ya que cuando las estructuras hidráulicas, represas o construcciones similares, se construyen en el río es necesario desviar o controlar de otro modo los flujos normales de la corriente y las crecidas como se puede anticipar durante el período de construcción. Para este propósito se debe proporcionar al diseñador las hidrográficas de las crecidas para las crecidas anticipadas con una frecuencia de 5,10 y 25 años. Para condiciones extremadamente peligrosas, pueden considerarse crecidas mayores.

El término crecida de diseño se refiere a la hidrografía de la crecida o al valor de descarga máxima definitivamente adoptado como base del diseño de un proyecto en particular o diseño de una sección del mismo, tomando en cuenta tanto características de la misma, frecuencias, potencialidades de la crecida, como el aspecto económico y otras consideraciones prácticas que entran en la escogencia de los criterios de descarga del diseño.

El cálculo de la crecida de diseño adoptado como base para determinar la capacidad del vertedero para represas grandes y el fracaso del cual resultaría en daños desastrosos para la propiedad o riesgos contra la vida, debe corresponder a la crecida máxima probable. En áreas escasamente desarrolladas o bajo otras condiciones, donde hay riesgo de pérdidas humanas o grandes daños contra la propiedad resultantes del fracaso de la estructura de la represa, o el salto de los diques no es serio, la crecida de diseño escogida puede ser menor que la crecida máxima probable. La magnitud de la crecida de diseño estará influenciada por consideraciones económicas tales como el equilibrio de la construcción y los costos de mantenimiento del vertedero y otras obras de protección contra el costo de la reposición o de la reparación del daño de la estructura que resulta del paso de crecidas excesivas.

Cuando la construcción de una represa o de otras obras se planifica en relación tan estrecha con las áreas urbanas o rurales que su fracaso probablemente resultaría en pérdidas humanas serias o en daños extensos a la propiedad, la estructura debe diseñarse para que tenga la capacidad de flujo máximo probable. En este caso, el flujo del diseño y el flujo máximo probable son los mismos.

El flujo y su probabilidad estadística pueden evaluarse analizando los registros de los flujos de la región. Cuando no se consiguen registros significativos de los flujos se puede usar la fórmula racional, incorporando el tamaño de la captación, la intensidad de la precipitación lluviosa y una fracción estimada del agua de lluvia.

En embalses grandes se reducen los picos de flujo. Es necesario describir el comportamiento típico de la afluencia para calcular las dimensiones de los vertederos y las entradas. Además hay métodos para diseñar diagramas

sintéticos de tales crecidas, mismos que por ser un tema muy extenso y delicado no son objeto de este apartado.

## **6.2. Geología**

Además de la hidrología y la topografía, la geología es el parámetro físico más importante en la planificación y diseño de los proyectos hidroeléctricos sobre recursos hídricos. El conocimiento de la geología y los datos sobre las propiedades físicas de la superficie y el subsuelo se necesitan al inicio del proceso de investigación. Las investigaciones en el terreno, por lo tanto, deben empezar lo más pronto posible, coordinándolas con las inspecciones topográficas y la planificación del proyecto.

El primer paso en la investigación geológica y geotécnica de los proyectos es la preparación de mapas geológicos. Tales mapas usualmente se basan en mapas topográficos y observaciones de la superficie complementadas con información del análisis de laboratorio de las muestras colectadas. Cuando la geología es compleja o la superficie está cubierta, se hacen necesarias investigaciones del subsuelo.

Los exámenes del subsuelo para la ubicación de la represa, canales o túneles y demás estructuras importantes, se llevan a cabo para determinar la naturaleza de las condiciones de los cimientos y los materiales que se encuentran. Se presta atención particular a las dificultades poco comunes de la construcción y a la posibilidad de fugas.

La disponibilidad de materiales para la construcción, como tierra, arcilla, arena, materiales de filtro, agregados de concreto armado, cemento, madera y roca son factores importantes que influyen en la selección del tipo de estructura

y los costos de construcción. Los depósitos de material de calidad satisfactoria deben ser localizados, probados y puestos en los mapas.

Los métodos de exploración del subsuelo que son usados con más frecuencia son el muestreo por medio de perforación, perforaciones testigo, pozos de exploración, zanjas, calicatas. Las muestras que se sacan de tales exploraciones están sujetas a pruebas de laboratorio por medio de las cuales se obtienen datos sobre sus propiedades en ingeniería.

Las investigaciones sobre refracción sísmica y mediciones de resistividad eléctrica se usan frecuentemente para obtener datos sobre espesor de sobrecarga, características de la roca, fallas, etc. La impermeabilidad al agua de las formaciones subterráneas es a menudo de mucha importancia y se llevan a cabo pruebas de filtración, junto con la perforación, y las perforaciones testigo, para obtener valores de filtración. Estos se usan para determinar la conveniencia de la formación para la corriente de agua y para evaluar las medidas preventivas contra la filtración.

En ciertos casos se llevan a cabo pruebas de destrucción para medir la resistencia de la roca en los puntos sujetos a fatiga extraordinaria. Tales pruebas, denominadas fractura hidráulica, se realizan para verificar si las tensiones internas del cuerpo rocoso son suficientes para permitir el diseño de canales de agua, pozos y túneles sin revestimiento. En estas pruebas la roca se somete a tensión de rotura para obtener los parámetros requeridos del diseño.

- Sedimentos

Para la planificación y el diseño de los embalses se necesitan datos sobre el transporte anual de sedimentos. Para el diseño de embalses pequeños, instalaciones de desviación, canales, sedimentadores, etc., para los cuales la operación de limpieza es parte de los criterios de diseño, es importante el conocimiento de la distribución del tamaño de los granos del material transportado. La limpieza es posible solo si la carga es libre de forma razonable de grava gruesa, guijarros y rocas.

Frecuentemente no existen datos sobre sedimentos al inicio de las investigaciones. Un programa de muestreo iniciado como parte de las investigaciones del proyecto solo proporcionará datos por un período de dos a cuatro años. Además, puesto que es difícil adquirir datos confiables sobre sedimentos, es normal tener que basar la planificación del manejo de los sedimentos en datos escasos, a menudo de calidad cuestionable.

La comparación con datos de otras captaciones similares es entonces una posibilidad a la que se recurre con frecuencia. Aunque sea a menudo necesaria, esta técnica debe ser aplicada con cuidado, considerando los antecedentes geológicos de la captación, las actividades humanas, etc.

Se debe prestar una atención particular al muestreo durante las épocas de crecida. Para la mayoría de los ríos, la parte principal de toda la carga anual de sedimentos es transportada durante las crecidas, a veces en una única crecida.

Para la mayoría de los objetivos de la planificación la descarga de sedimentos se expresa en términos de peso de los sedimentos por unidad de tiempo, mientras que los depósitos de sedimentos se expresan en volumen.

Para el diseño de las estructuras y de las turbinas, se necesita conocer la naturaleza de los sedimentos que está determinada por los análisis del tamaño.

En el momento actual no se dispone de medios prácticos para remover los depósitos de sedimentos de los embalses de tamaño mediano o grande; sería de vital importancia para el diseño de los embalses si tales medios fueran disponibles en el futuro.

### **6.3. Geomorfología**

El monitoreo ambiental tiene por objetivo realizar evaluaciones constantes en la zona de aprovechamiento hidroeléctrico, tanto durante la fase de construcción como en la fase de operación, con la finalidad de verificar el funcionamiento de las medidas de mitigación. La información que se obtenga servirá para la toma de decisiones en el caso de ser necesarios para que la central hidroeléctrica siga operando en situaciones normales. Entre otros aspectos el monitoreo ambiental permitirá la detección de impactos no previstos y propondrá ante estos las medidas de mitigación que correspondan.

Con la implementación de este monitoreo ambiental se busca identificar, caracterizar y localizar los principales cambios que se desarrollen durante la construcción y funcionamiento de la central hidroeléctrica, referente a deslizamientos de tierras, derrumbes y desprendimientos. La periodicidad será de por lo menos cada 180 días, principalmente en el cauce y las riberas del río aguas abajo de la casa de máquinas, con el objetivo de detectar cambios que puedan afectar la infraestructura de generación.



#### **6.4. Geología estructural**

Dentro de la geología general es muy importante tomar en cuenta datos de la cartografía geológica del área a investigar, la cual constituirá una ayuda valiosa en interpretar los datos de clasificación del terreno, la información sobre agua subterránea y muchos otros factores que influyen los planes físicos.

En cuanto a la geología estructural y de los cimientos, regularmente se considera que la conveniencia de las condiciones de los cimientos para las represas u otras estructuras principales debe determinarse por medio de un examen en el terreno de un ingeniero geólogo competente. Se podrían necesitar pozos de prueba o calicatas si se encuentran condiciones cuestionables. En esta fase se usan mediciones de refracción sísmica, pero raras veces se usan perforaciones testigo.

#### **6.5. Estratigrafía**

Es de gran importancia en proyectos hidroeléctricos realizar el estudio e interpretación de las rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas estratificadas, así como identificarlas y describir las secuencias, tanto vertical como horizontalmente, su cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas, particularmente en áreas de construcción como la casa de máquinas, túneles o galerías, embalse y otras obras de gran envergadura.

Este estudio permite establecer una cronología relativa del yacimiento, así como relacionar objetos encontrados en un mismo nivel unos con otros. También otorga una visión de las diferentes fases de ocupación de la vida del yacimiento. El objetivo principal de las investigaciones estratigráficas se puede resumir en los siguientes tres aspectos:

- Identificación de los materiales, el más elemental y consistente objetivo en el reconocimiento y la identificación de los diferentes tipos de materiales estratificados, conociendo su litología, texturas, estructuras, propiedades geofísicas y geoquímicas y contenido fósil.
- Delimitación de unidades lito estratigráficas, una vez alcanzado el objetivo anterior consiste en delimitar volúmenes de rocas sedimentarias en función de su litología. Estas unidades serán representables sobre mapas topográficos mediante la cartografía lito estratigráfica.
- Secciones estratigráficas, en que se estudia la relación entre cada dos unidades lito estratigráficas superpuestas, deduciendo la continuidad o discontinuidad del proceso sedimentario entre ellas.

Es de suma importancia conocer qué tipo de columna estratigráfica presenta el área de influencia del proyecto, la cual debe ser constatada según la integración de información bibliográfica y la toma de datos en campo. De dicho procesamiento de datos se identificarán las unidades estratigráficas presentadas en un Mapa Geológico.

De los resultados obtenidos se podrá identificar qué obras del proyecto serán interceptadas (obras de derivación, túnel, etc.) y en qué dirección, por qué tipo de formaciones, para la toma de decisiones debidas a la relación directa que estas puedan tener en el proceso de diseño de las obras a edificar. También es importante conocer los tipos de formaciones y su extensión, debido a que es necesario que las mismas sean tomadas en cuenta para el cálculo de agregados para el concreto y materiales de sub-base y base de carreteras, como para estimar el tipo de material a excavar y la dificultad para hacerlo.

## **6.6. Caracterización geotécnica**

La ingeniería geotécnica o simplemente geotecnia es la rama ingenieril de la geología que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes del medio geológico, aplicadas a las obras de ingeniería civil. Los ingenieros geotecnistas investigan el suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades ingenieriles y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como presas y centrales hidroeléctricas, en acciones en la rama vial como la estabilización de taludes, diseño y construcción de túneles y carreteras, diseño y construcción de cualquier tipo de estructura de contención para la prevención de riesgos geológicos, etc.

Es de especial importancia conocer las condiciones bajo las cuales determinadas rocas fueron creadas o depositadas, así como su adecuada clasificación, su edad en millones de años y los posteriores procesos estructurales o diagenéticos (procesos metamórficos, de sustitución, cristalización, plegamientos, fallamientos, etc.) que han sufrido.

Diseños para estructuras construidas por encima de la superficie incluyen cimentaciones superficiales (zapatas), cimentaciones semiprofundas (losas y cajones) y cimentaciones profundas (pilotes y pilas). Presas y diques son estructuras que pueden ser construidas de suelo o roca y que para su estabilidad y estanqueidad dependen en gran medida de los materiales sobre los que están asentados o de los cuales se encuentran rodeados. Finalmente los túneles son estructuras construidas a través del suelo o roca y cuyo método constructivo depende en gran medida de las características geológicas del terreno que se verá afectado (tipos y condiciones de litologías atravesadas,

condiciones hidrogeológicas, condiciones tectónicas, etc.), lo que influye a su vez en la duración de la obra y en sus costes.

Los ingenieros geotécnicos deben investigar el riesgo para los seres humanos, las propiedades y el ambiente de fenómenos naturales o propiciados por la actividad humana, tales como deslizamientos de terreno, hundimientos de tierra, flujos de lodo (*mudflow*) y caída de rocas (procesos de remoción en masa), así como medidas para mitigar este riesgo como diseños de estructuras de contención (anclajes y muros), control de aguas de infiltración y de escorrentía en el medio geológico (subdrenes, cunetas, filtros).

#### **6.7. Evaluación de los peligros geodinámicos**

Los riesgos geológicos relacionados con los procesos geodinámicos externos son eventos que pueden ocasionar daños a las personas, a sus bienes o al medio ambiente. Su origen puede ser natural pero también pueden ser provocados o verse agravados por la acción humana, denominándose en este caso riesgos inducidos.

Los principales riesgos geológicos relacionados con la geodinámica externa están causados por las inundaciones, los movimientos gravitacionales y, en menor medida, por la expansividad de arcillas. Los terrenos dominados por rocas carbonáticas en zonas tropicales o subtropicales son propensos a sufrir fenómenos de disolución. El ataque químico prolongado del agua resulta en la ampliación de grietas, formación de sumideros o dolinas, cavernas y un sistema enredado de corrientes subterráneas. Estos fenómenos en conjunto son denominados *karst* y representan un grave riesgo para los proyectos hidroeléctricos. El reconocimiento de las áreas de trabajo puede ayudar a mostrar si existen o no indicios significativos de la presencia de manifestaciones

de *karst*, y luego de este reconocimiento se puede decir que no se esperan amenazas ligadas a estos fenómenos. Sin embargo, se deberán realizar investigaciones profundas del subsuelo (geofísica y perforaciones) en los sitios de las obras, para confirmar estos hallazgos.

En regiones calcáreas, ciertos rasgos tales como la abundancia de manantiales, las elevaciones de los afluentes respecto a su nivel base, la existencia de cavernas, etc., pueden ser utilizados para formarse una idea preliminar del grado de karsticidad de la zona. En cuanto a esto, en el área específica del proyecto se debe indicar si se observan manantiales o pequeñas quebradas permanentes, cuyos elementos no siempre pueden tomarse como indicadores de ausencia de *karst*, si se trata de pendientes muy suaves y elevaciones sobre el nivel del río no significativas.

#### **6.7.1. Riesgos de menor importancia**

- Arcillas expansivas, mediante la construcción de diques de contención o embalses, la conservación de los suelos de las cuencas fluviales, la reforestación o la limpieza de los cauces.
- No estructurales, consistentes en la elaboración de mapas de riesgo, la ordenación de la ocupación de los territorios inundables o la contratación de seguros.
- Hundimientos por disolución del subsuelo, producidos en terrenos kársticos o salinos; los hundimientos suelen generar el colapso de las construcciones o las obras públicas que se asientan sobre estos terrenos.
- Riesgos de movimientos gravitacionales, las causas naturales pueden provocar la caída de bloques o desprendimientos, el deslizamiento del manto superficial sobre una superficie de desagüe o movimientos

individuales partícula a partícula, que terminan trasladando todo el manto superficial que recibe el nombre de reptación.

- La intervención humana influye con mucha frecuencia en laderas inestables, las deforestaciones, etc.

### **6.7.2. Predicción de estos movimientos**

La predicción de estos movimientos en áreas restringidas puede realizarse con un alto grado de fiabilidad, considerando los siguientes factores:

- Existencia de pendientes no uniformes
- Determinación de antiguos movimientos en la ladera
- Cubicación del volumen de roca desplazada
- Existencia de litologías en el subsuelo
- Desprendimiento
- Deforestación

### **6.7.3. Actuaciones para minimizar los daños**

- Estructurales, uniformizando las pendientes de ladera, descargando material de la cabecera de los taludes y asentando sus bases, impidiendo la saturación del subsuelo mediante drenajes que evacuen el agua, construyendo muros, contrafuertes y escollera, sujetando con bulones los bloques y macizos rocosos que puedan desprenderse, etc.
- No estructurales, elaborando mapas de riesgo, impidiendo el asentamiento de poblaciones en laderas poco estables. Mapa de riesgo de Guatemala.

- Administrativas, planificando anticipadamente mediante la elaboración de planes de protección civil, informes sobre los movimientos de ladera, etc., que, al saturarse de agua, aumentan su volumen y pueden ocasionar daños en las construcciones y obras civiles.

## 6.8. Generación de energía y potencia

A continuación se realizará un análisis explicativo del comportamiento de la generación de energía eléctrica en función de la capacidad instalada, lo cual servirá como base para la decisión de la elección de la capacidad óptima de un proyecto dado y la definición de la oferta al mercado. Para determinar el potencial hidroenergético del proyecto hidroeléctrico se utilizará de base la hidrología de un proyecto ejemplo, y a efecto de facilidad de la presente investigación se utilizarán los caudales promedio mensuales.

### 6.8.1. Cálculo de potencia

A efecto de comprender la metodología utilizada para calcular la capacidad instalada y la generación de energía anual correspondiente, se realizarán los cálculos explicativos para una potencia de 8,0 MW u 8 000 KW. Para determinar la capacidad instalada se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = Q * H * \eta_g * \eta_t * 9.81 \text{ }^{47}$$

Donde:

---

<sup>47</sup> European Small Hydropower Association\_(ESHA). *Guía para el diseño de una pequeña central hidroeléctrica*. Consulta: octubre 2017.

Tabla II. **Cálculo de potencia**

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo de cálculo</b>
<b>P</b>	Potencia en KW	<b>8,000</b>
<b>Q</b>	Caudal de diseño en m <sup>3</sup> /s	34.08
<b>H</b>	Caída neta en metros	28.0
<b><math>\eta_g</math></b>	Eficiencia del generador	95%
<b><math>\eta_t</math></b>	Eficiencia de la turbina	90%

Fuente: ESHA. *Guía para el diseño de una pequeña central hidroeléctrica*. Consulta: octubre 2017.

Para la presente investigación se asumirán como valores fijos para todos los cálculos la caída neta y las eficiencias de la turbina y el generador.

### **6.8.2. Cálculo de la generación anual**

Para determinar la energía anual se considera el comportamiento del caudal de río como ejemplo y, como ya se indicó, se utilizarán caudales mensuales promedio, por lo que la generación anual será la suma de la generación de los meses del año. La metodología utilizada para el cálculo mensual es la siguiente:

- Primero, descontar a los caudales mensuales el caudal ecológico.
- Suponer que la central operará como una planta a filo de agua (sin regulación).
- Calcular la potencia en función del caudal mensual ya descontado el caudal ecológico
- Calcular la energía mensual, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Energía en MWh} = \text{Potencia} * \text{horas del mes} / 1000$$



- Tomar en cuenta que las horas totales de cada mes dependerán de los días de dicho mes y que la potencia del mes no puede ser mayor a la capacidad instalada.
- Finalmente, sumar las energías obtenidas en cada mes.

En el siguiente cuadro se muestra el resumen de cálculo para una capacidad instalada de 8,0 MW, lo que para efectos de este estudio debe considerarse como referencial.

Tabla III. Cálculo de la generación anual

MES	días/mes	Caudal del río	Caudal ecológico	Q (m <sup>3</sup> /s)	MW filo de agua	MWh
MAY	31	10.11	0.51	9.61	2.25	1,678.80
JUN	30	24.41	1.22	23.19	5.44	3,921.33
JUL	31	27.75	1.39	26.36	6.19	4,605.73
AGO	31	26.96	1.35	25.62	6.01	4,475.74
SEP	30	45.93	2.30	43.63	8.00	5,762.69
OCT	31	74.12	3.71	70.41	8.00	5,954.78
NOV	30	58.54	2.93	55.62	8.00	5,762.69
DIC	31	50.52	2.53	47.99	8.00	5,954.78
ENE	31	31.55	1.58	29.97	7.03	5,236.53
FEB	28	20.68	1.03	19.64	4.61	3,100.14
MAR	31	14.11	0.71	13.40	3.14	2,342.15
ABR	30	10.05	0.50	9.54	2.24	1,613.72
<b>TOTAL</b>						<b>50,409.08</b>

Fuente: GUDIEL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote, Municipio de Melchor de Mencos, Departamento de Petén.*

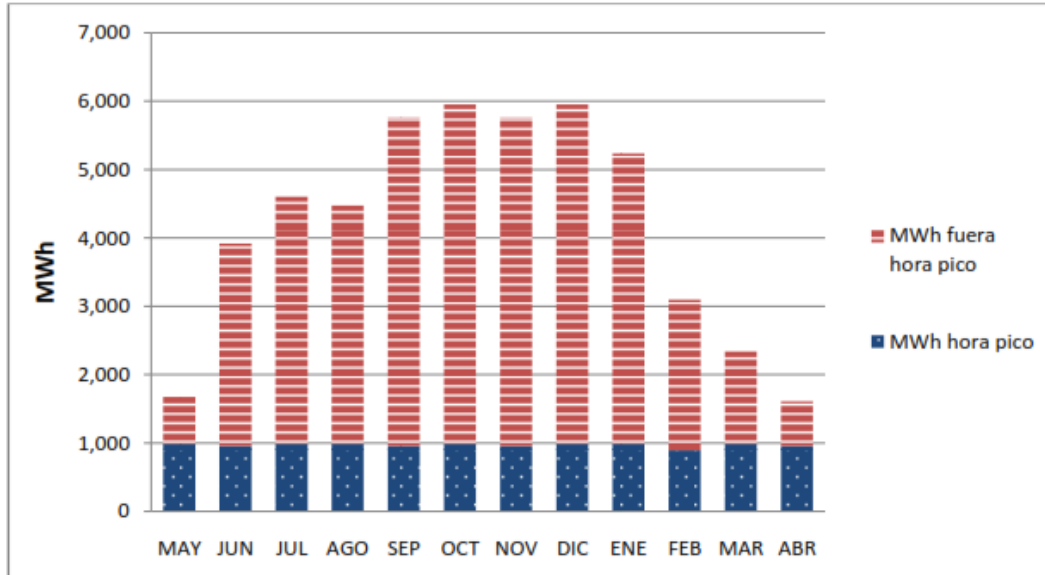
Consulta: octubre 2017.

En virtud de que el proyecto dado tiene contemplado un reservorio de regulación diaria, es necesario determinar la generación en horas pico y fuera de hora pico; para este caso se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Calcular el caudal máximo que se puede utilizar en horas pico, para ello multiplicar el caudal disponible mensual por 24 horas de almacenamiento dividido por las 4 horas asociadas al pico.
- Tomar en cuenta que, si el caudal resultante es superior al caudal de diseño, puede utilizarse dicho caudal.
- Entonces, la generación de horas pico será la potencia calculada con el caudal obtenido en horas pico, por las 4 horas del pico.
- Para calcular la generación fuera de horas pico se deberá restar, a la generación total del mes calculada dentro del análisis de filo de agua, la generación de horas pico.
- Finalmente, sumar la generación de horas pico y fuera de horas pico, de cada uno de los meses.

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento mensual de la generación en horas pico y fuera de horas pico de cálculo, para una capacidad instalada de 8,0 MW.

Figura 2. **Generación en horas pico**



Fuente: GUDIÉL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote, Municipio de Melchor de Mencos, Departamento de Petén.*

Consulta: octubre 2017.

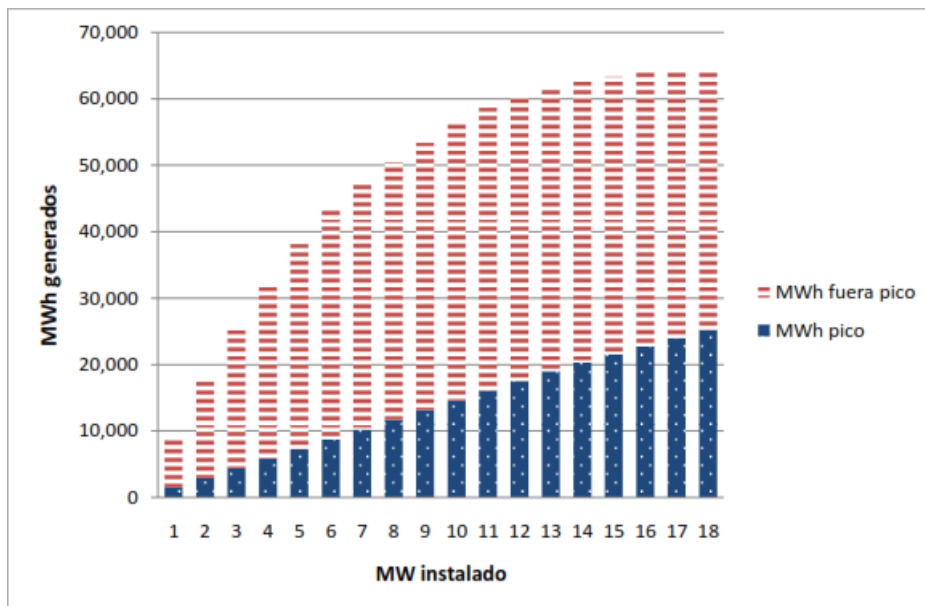
Como se puede observar en los meses de mayor caudal (septiembre a diciembre), la generación es mayor en relación a los otros meses; por otro lado, la generación mensual en horas pico es casi constante en todo el año, únicamente debe tomarse en cuenta la variación de días de cada uno de los meses del año.

### **6.8.3. Generación de energía en función de la capacidad instalada**

Utilizando la metodología descrita para el cálculo de la potencia y la generación de energía, y con el apoyo de hojas de cálculo de Excel, se

determinó el comportamiento de la generación de energía anual en función de la capacidad instalada, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 3. **Generación de energía anual**



Fuente: GUDIEL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote, Municipio de Melchor de Mencos, Departamento de Petén.*  
Consulta: octubre 2017.

Como se puede observar, en la medida que aumenta la capacidad instalada, el factor de planta disminuye; por otro lado, para capacidades instaladas superiores a los 13 MW la generación anual tiende a estabilizarse.

## **7. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO**

En el presente capítulo se abordará en forma general la descripción del entorno biótico, abiótico, social y cultural, para identificar los posibles impactos ambientales asociados a la construcción de una central generadora y sus respectivas medidas de mitigación. Además, se pretende obtener un estimado de costos asociados a las medidas de mitigación, lo cual servirá de base para posteriores análisis.

### **7.1. Descripción general del entorno biótico y abiótico**

- Medio abiótico: lo comprenden todos los fenómenos físicos (presión atmosférica, lluvia, aire, suelo, etc.) y químicos (componentes de las rocas, minerales, salinidad del agua, etc.) que afectan a los organismos.
- Medio biótico: comprende todos los seres vivos existentes en un ecosistema y las interrelaciones que se forman entre ellos: plantas, animales (incluido el hombre) y microorganismos.

Los factores abióticos son de todo tipo y pueden variar entre los diferentes ecosistemas. Por ejemplo, los factores abióticos que se encuentran en los sistemas acuáticos pueden ser cosas como la profundidad del agua, el pH, la luz del sol, la turbidez (cantidad de turbidez del agua), salinidad (concentración de sal), los nutrientes disponibles (nitrógeno, fósforo, etc.), y el oxígeno disuelto (importe de oxígeno disuelto en el agua). Las variables abióticas que se encuentran en los ecosistemas terrestres pueden incluir cosas como la lluvia, el

viento, la temperatura, la altitud, el suelo, la contaminación, los nutrientes, el pH, el tipo de suelo y la luz solar.

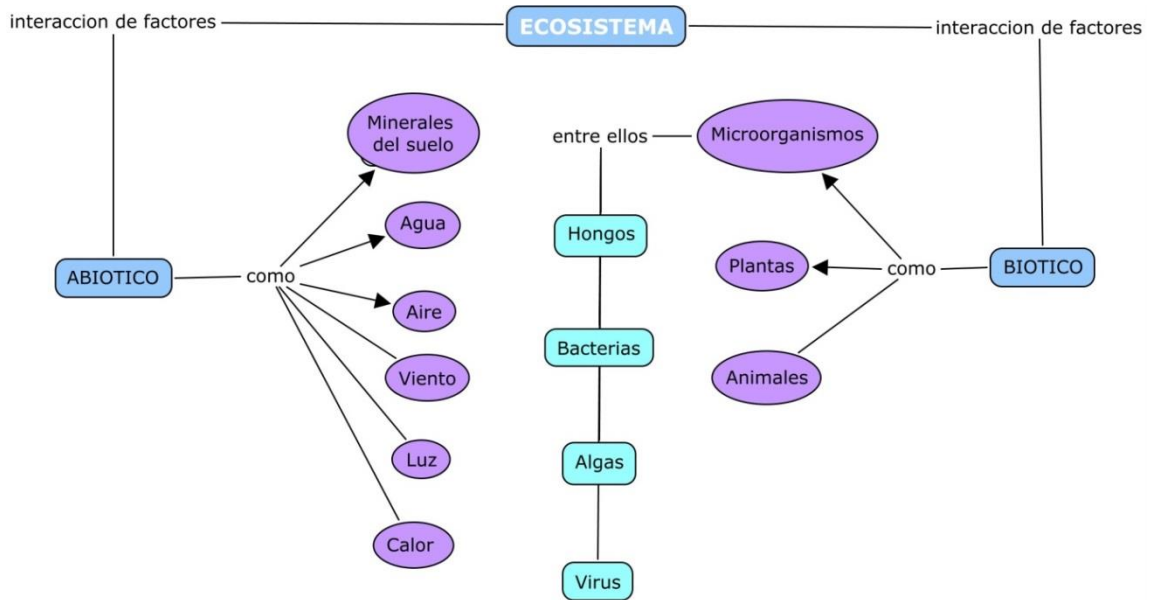
Los factores bióticos incluyen cualquiera de los animales, plantas, árboles, hierba, bacterias, musgos o mohos que se pueden encontrar en un ecosistema.

En general, los factores bióticos son los componentes vivos de un ecosistema y se clasifican en tres grupos: productores o autótrofos, consumidores o heterótrofos y descomponedores o detritívoros.

El estado actual del ambiente biótico en el área de un proyecto hidroeléctrico depende del estado de la vegetación existente, lo cual está relacionado con la tenencia de la tierra y la vocación que se le ha dado a la misma. Generalmente, una parte importante de la tierra se dedica a pastos y cultivos, también a zonas forestales de manejo. De conformidad con el sistema de clasificación de zonas de vida de Guatemala, debe identificarse la característica original del área correspondiente. Las condiciones climáticas que caracterizan la precipitación y temperatura permiten el desarrollo de una excesiva vegetación, lo cual puede ser en forma remanente.

A continuación se muestra un mapa abiótico-biótico para mostrar la interacción entre ambos medios, los cuales influyen en o afectan los ecosistemas:

Figura 4. Cuadro de estilos



Fuente: Cuadro de estilos. <http://eco-logia20.blogspot.com/2014/03/la-la-ciencia-que-estudia-los-seres.html>. Consulta: junio de 2017.

### 7.1.1. Flora

La creciente demanda por energía ha generado un interés local por la búsqueda de fuentes alternativas de recursos energéticos, lo que ha llevado a concebir las pequeñas centrales hidroeléctricas como una estrategia más amigable con el ambiente, sin embargo, se debe identificar y evaluar los impactos positivos y negativos generados por la implementación de los proyectos hidroeléctricos sobre la flora terrestre, durante las fases previas de construcción y operación del proyecto. Las actividades del proyecto que generan impacto sobre las coberturas vegetales hacen referencia a visitas de reconocimiento, apertura de senderos y veredas, compra de predios y mejoras, remoción de vegetación y descapote, disposición de sobrantes de excavación,

limpieza de la servidumbre para la línea de conexión y áreas operativas, presencia del proyecto y mantenimiento de servidumbres y vías. Normalmente, los estudios muestran que el impacto de proyectos hidroeléctricos sobre la vegetación está calificado como alto.

Los sistemas de generación de energía pueden tener impactos negativos sobre el medio ambiente, relacionados generalmente con la ocupación del terreno, la transformación del territorio, la derivación y captación de recursos hídricos superficiales, y posibles alteraciones sobre la fauna y la flora, aunque en menor cantidad en comparación con los sistemas de mayor tamaño. También para las pequeñas centrales es importante mantener un reflujo adecuado, es decir, el caudal ecológico para la conservación del ecosistema fluvial en el que se encuentra la instalación. Las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) se definen como centrales de generación de energía con una potencia de generación baja. Debido al hecho de que las PCH están incluidas entre las fuentes limpias de energía, estas pasaron a constituir un negocio atractivo, además de que la legislación vigente otorga las licencias ambientales y establece un control blando e incentivos fiscales y financieros bastante flexibles, lo que finalmente altera las dinámicas biológicas de forma peligrosa, o se establecen sin mayores precauciones. Una vez definida el área geográfica en el municipio de estudio, se debe identificar la zona en la cual el proyecto tendría influencia directa. En cada una de las áreas donde se proyecta la construcción de obras de infraestructura que impactarían superficialmente el terreno (captación, ventanas de túneles, casa de máquinas) se realiza la identificación *in situ* de los individuos.

Entre otros, los impactos que afectan la flora de las áreas de estudio son: visitas de reconocimiento, apertura de senderos y trochas, compra de predios y mejoras, remoción de vegetación y descapote, disposición de sobrantes de



excavación, limpieza de la servidumbre para la línea de conexión y áreas operativas, y mantenimiento de servidumbres y vías.

- Materiales y métodos

Debe definirse para referencia del estudio:

- Área de estudio. Ubicación exacta del proyecto, límites geográficos, coordenadas latitud/altitud, extensión, temperatura, clima, ríos que favorecen la producción hidroeléctrica.
- Muestreo de la vegetación. Registro fotográfico y colecta de muestras de material vegetal in situ de los individuos, a partir de muestreos tipo RAP (Proceso de Evaluación Rápida). Método de medición.
- Proceso de herborización. Destino del material colectado y técnicas de proceso, revisión de bibliografía especializada sobre taxonomía botánica del trópico, claves botánicas desarrolladas para vegetación de la zona y consulta con especialistas de algunos grupos taxonómicos que trabajan en los diferentes herbarios del área. Determinar si alguna de las especies registradas se encuentra en categoría de peligro, vulnerabilidad o similar. Además de esta revisión, las especies identificadas en el área de estudio se deben confrontar con las listas de especies vedadas, también disponibles en las listas rojas.

- Análisis de diversidad. Métodos de cálculo de los índices de diversidad y dominancia calculados para caracterizar las coberturas.
- Calificación y valoración ambiental. Para jerarquizar los impactos ambientales, realizar un análisis cualitativo. Valoración de si el impacto será severo o crítico. Los valores que se indican en la matriz se obtienen de los siguientes parámetros: Signo, Intensidad (I), Extensión (Ex), Momento (Mo), Persistencia (Pe) o duración, Reversibilidad (Rv), Recuperabilidad (Mci), Sinergia (Si), Acumulación (Ac), Efecto (Ef), Periodicidad (Pr).
- Materiales y equipos. Para la realización de los muestreos de campo, uso de los siguientes insumos de trabajo (p.ej): cámara digital, cortaramas, GPS (GARMIN®, GPS map 60CSx), cinta métrica, lienza, tijera podadora, formularios de campo, papelería (lápices, borradores, tabla de apoyo, marcadores indelebles, etc.), pintura asfáltica amarilla, pinceles, disolvente, bolsas plásticas transparentes para coleccionar material vegetal de 16x12" cal 4, bolsas plásticas transparentes para alcoholizar material vegetal de 20x30" cal 4, hilo de polipropileno, cinta de enmascarar, alcohol industrial al 70 %, papel periódico. Adicionalmente, para el análisis de la información se requirió de un computador con impresora e Internet, y del uso de los siguientes software: Microsoft Office Word®, Microsoft Office Excel®, Statgraphics® Centurion XV, AutoCAD® y ARC GIS 10®.

### **7.1.2. Fauna**

La construcción de proyectos hidroeléctricos puede influir sobre la fauna terrestre y acuática. En la primera, la destrucción de hábitat puede dar lugar a la migración de ciertas especies y a una dificultad en sus movimientos (efecto barrera). Asimismo, la fauna acuática puede verse afectada, sobre todo en las especies de comportamiento migratorio, obligando a la adopción de un conjunto de medidas específicas. El mantenimiento del caudal ecológico constituye uno de los condicionantes.

En el tramo aguas abajo de la presa, el régimen de explotación del embalse debe llevarse a cabo de forma que se garantice la conservación de la fauna y de las características paisajísticas de esa zona del río. Por ello, ha de respetarse en todo momento un caudal mínimo de mantenimiento, denominado a veces caudal ecológico.

Como resumen general, es de señalar que aunque la implantación de los sistemas hidroeléctricos lleva asociado un conjunto importante de impactos negativos sobre el medio ambiente, también da lugar a una serie de efectos beneficiosos que pueden finalmente suponer un balance positivo de esta actividad. Algunos Impactos a la fauna por la construcción de proyectos hidroeléctricos son:

- Alteración de comunidades acuáticas. La alteración de las comunidades acuáticas se produce por diversas razones: i) desvegetación en zonas ribereñas que limita el alimento de las comunidades; ii) extracción de áridos para la producción de hormigón; iii) aumento de sólidos en suspensión, y iv) construcción de obras civiles en el cauce del río. Las

tres últimas cambian las condiciones naturales del río, como profundidad, granulometría, sección, velocidad y turbidez.

- Medidas de mitigación: reducir las áreas completamente desvegetadas. Realizar la extracción de áridos en yacimientos ya existentes, evitando hacerlo directamente desde el cauce. Restauración de hábitats una vez finalizada la construcción.
- Efecto barrera para la población íctica, El efecto barrera genera la fragmentación de las poblaciones aguas arriba y debajo de la obra de toma, evitando el flujo de individuos en ambos sentidos del río. Este efecto es más severo en sentido contrario a la corriente.
  - Medidas de mitigación: realizar un estudio y establecer programas de traslado de especies afectadas.
- Alteración de comunidades de fauna terrestre. La construcción de obras civiles y la implementación de obras de apoyo pueden producir pérdida de hábitats de especies terrestres. La construcción de canales puede dificultar la movilidad de determinadas especies.
  - Medidas de mitigación: utilizar áreas previamente perturbadas para la construcción de obras temporales. En áreas de mayor sensibilidad, tener especial cuidado con ruidos molestos, especialmente en época de reproducción. Delimitar físicamente el área de máxima intervención, de tal forma para evitar impactos en lugares innecesarios. Revegetar una vez finalizadas las obras. Plan de rescate y relocalización de especies previo a la ejecución de obras. Construcción de atravesos o abovedado de canales.

- Pérdida de fauna nativa y/o con problemas de conservación. La construcción de las obras civiles pone en riesgo el normal desarrollo y reproducción de la fauna permanente.
  - Medidas de mitigación: plan de rescate y relocalización de especies previo a la ejecución de obras.
  
- Menoscabo en el hábitat de la fauna acuática. La disminución de caudales debido a la captación produce un muy significativo impacto sobre la fauna acuática, debido a la reducción del recurso hídrico disponible. El cambio en el régimen sedimentológico del río transforma además su mecánica fluvial, alterando las comunidades acuáticas, afectadas también por los golpes de agua producidos en la zona de restitución.
  - Medidas de mitigación: mantención de un caudal mínimo. Reincorporación de sedimentos aguas abajo del punto de restitución.

### **7.1.3. Áreas protegidas y ecosistemas frágiles**

La Ley de Áreas Protegidas de Guatemala, en su artículo 7, define:

“Son áreas protegidas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales.

Que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las

fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible”<sup>48</sup>.

Guatemala cuenta con una Ley de Áreas Protegidas desde el año 1989, bajo el decreto 4-89, del Congreso de la República. Esta se aprobó bajo los siguientes considerandos:

“Que la conservación, restauración y manejo de la fauna y flora silvestre de los guatemaltecos es fundamental para el logro de un desarrollo social y económico sostenido del país.

“Que los recursos de flora y fauna han devenido en franco deterioro, al extremo de que varias especies han desaparecido y otras corren grave riesgo de extinción.

“Que la Constitución Política de la República de Guatemala, en su artículo 64, declara de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación y que mediante una ley específica se garantizará la creación y protección de parques nacionales, reservas, los refugios naturales y la fauna y la flora que en ellos exista”<sup>49</sup>.

La declaratoria de áreas protegidas, a lo largo del tiempo, ha sufrido un proceso de cambio, dentro del cual la falta de consulta a las comunidades locales y pueblos indígenas es uno de los factores más polémicos. Esta situación se ha dado en Guatemala y en otros países. A pesar de ello, la crítica a este modelo de conservación debe superarse, a medida que las comunidades y pueblos ancestrales e indígenas se involucren como protagonistas en las propuestas de establecimiento de un área protegida y en la participación directa de su administración.

---

<sup>48</sup> Decreto 4-89 del Congreso de la República de Guatemala. *Ley de Áreas Protegidas*. Guatemala, 1989.

<sup>49</sup> Ídem.

Las áreas ambientalmente frágiles son aquellas en que una pequeña intervención de carácter antrópico puede desencadenar una serie de alteraciones del ecosistema que pueden ser irreversibles. Algunas comunidades humanas han vivido en las áreas ambientalmente frágiles durante miles de años, pero otras se han establecido en estas áreas solamente en años recientes. Debido a la fragilidad de los recursos ambientales de estas áreas, las poblaciones humanas normalmente son pequeñas y, a menudo, no han aumentado de tamaño ni densidad durante muchos siglos. A más de ser un grupo reducido, estos moradores, tradicionalmente, constituían poca amenaza para las áreas ambientalmente frágiles, porque sus sistemas de producción eran sustentables y estuvieron esparcidos a lo largo de un territorio grande; además, tenían la fuerza necesaria para impedir el ingreso de los intrusos, cazadores legales y otros. Esto está cambiando para cada una de las principales categorías de las áreas ambientalmente frágiles. Por lo tanto, la evaluación ambiental que debe realizarse antes de cualquier intervención en una de estas áreas debe considerar los cambios sociales que puedan acompañar a la inversión de desarrollo, y que tengan el potencial para cambiar el acceso y uso de los recursos en las áreas ambientalmente frágiles, como son:

- Bosques. Se considera a los bosques tropicales y templados de las regiones montañosas como ecosistemas frágiles. En parte, los bosques tropicales son frágiles, porque el alto nivel de precipitación anual se concentra en las tempestades cortas pero violentas, de modo que aún las áreas poco inclinadas se exponen a un alto nivel de erosión si no las protege la vegetación. Los bosques templados de las faldas empinadas de las montañas tienen un alto riesgo de erosión. Los bosques que se corten en las zonas propensas a la erosión y otras formas de

degradación del suelo pueden ser regenerados solamente bajo condiciones controladas y a gran costo.

- Áreas marítimas de la costa. Los esteros, manglares, pantanos y otros humedales constituyen las áreas de reproducción, los criaderos y el hábitat de muchas de las principales especies comerciales de crustáceos y peces, que se consumen en todo el mundo. Las áreas ambientales de la costa son frágiles, porque al ser afectadas por los cambios ambientales se perjudican fácilmente las complejas cadenas de alimentos y ciclos de vida de las especies. Por eso, al arrojar los desperdicios urbanos e industriales, o afluentes de los químicos agrícolas, si bien se perjudica un área relativamente pequeña, los efectos se sienten en todo el ecosistema.
- Terrenos de pasto o de praderas. Las tierras con vegetación natural o seminatural que proporcionan un hábitat para los rumiantes domésticos y la fauna, en general, se denominan terrenos de pasto. A menudo, la palabra se utiliza indistintamente para describir a las tierras áridas o semiáridas, zonas de arbustos, yermos, sabana y prado. Estas áreas se caracterizan por la baja densidad de la población, por los grupos humanos que dependen principalmente de sus rebaños de ganado doméstico, movilizándose en áreas muy amplias, y por las culturas complejas especialmente adaptadas a las condiciones severas que son propias de las áreas propensas a la sequía.
- Los proyectos de desarrollo que afectan a los terrenos de pasto, a menudo, implican el cultivo seco, silvicultura, riego, inactividad y asentamientos, ganadería, producción de leche, turismo y parques de conservación de la fauna. Es una costumbre pensar que los terrenos de



pasto son poco utilizados, de modo que posiblemente no se percaten de los efectos sociales a simple vista. Las poblaciones humanas se movilizan dentro de un territorio que muchas veces incluye tierras marginales con recursos pobres que, en la mayoría de los años, no se utilizan; sin embargo, adquieren importancia decisiva durante los años de sequía.

- Zonas de diversidad biológica única. Muchas zonas de diversidad biológica han permanecido distantes o aisladas de los procesos de desarrollo hasta los años recientes y es posible que sea incompleto el conocimiento de los científicos con respecto a toda la gama de especies que están presentes, y tal vez no estén bien definidas las funciones ambientales que cumplen. Por ejemplo, los bosques tropicales proporcionan hábitat para una variedad de especies de plantas, que es mayor que la de cualquier otro ecosistema; sin embargo, solamente una pequeña parte de estas han sido identificadas, estudiadas sistemáticamente y sujetas a una evaluación de su valor biológico, medicinal y económico. Asimismo, pueden ser consideradas zonas de diversidad biológica los bosques frágiles, las áreas marítimas de la costa y los terrenos de pasto, que constituyen los hábitats únicos de las especies nativas de plantas y animales que, al mismo tiempo, cumplen funciones ambientales a un costo mínimo o gratis. Las inversiones de desarrollo que introducen los cambios sociales que afectan a las zonas de diversidad biológica única, generalmente, son aquellas que abren las áreas anteriormente remotas para la extracción de los recursos y el establecimiento de nuevos asentamientos humanos.
- Zonas de recargas de acuíferos. Las zonas de recargas de acuíferos pueden encontrarse tanto en zonas elevadas de montañas, donde la

precipitación, en alguna de sus formas, es alta, como en llanuras de poca declividad en cotas intermedias de los diversos sistemas montañosos, con significativas precipitaciones de carácter orográfico. El drenaje de estas áreas puede tener efectos impredecibles en el régimen de caudales de los ríos y en la recarga de los acuíferos.

## **7.2. Identificación de impactos ambientales**

Los métodos de identificación y calificación de impactos ambientales ayudan a determinar el rango de los impactos potenciales, incluyendo su dimensión espacial y su período de ocurrencia. En general, los métodos identifican las interacciones entre las actividades de generación de energía a base de hidroelectricidad y los elementos del medio ambiente que podrían ser afectados por dichas actividades, dándoles una calificación y, algunas veces, un grado de cuantificación.

La evaluación ambiental debe incluir y diseñar un programa de monitoreo para el proyecto hidroeléctrico. Las siguientes variables requieren monitoreo, dependerá de las necesidades de información de la administración: la lluvia, el volumen de agua almacenada en el embalse, el volumen anual de sedimento que ingresa al embalse, la calidad del agua a la salida de la represa y, en algunos puntos a lo largo del río, la salinidad, el pH (potencial de hidrógeno), temperatura, la conductividad eléctrica, la turbiedad, el oxígeno disuelto, los sólidos suspendidos, los fosfatos, los nitratos, el caudal del río en varios puntos, aguas abajo, el volumen de agua que se utiliza en el embalse y aguas río abajo, según el tipo de uso, la generación de sulfuro de hidrógeno y metano en la represa (si existen), el muestreo limnológico de microflora, microfauna, hierbas acuáticas y organismos bénticos, evaluaciones de la pesca (especies, poblaciones, tamaño, etc.) del río y del embalse, la fauna (especies,

distribución, números), el ganado (especies, números, distribución, condición), cambios en la vegetación (cubierta, composición de especies, tasas de crecimiento, biomasa) en la cuenca hidrográfica superior, la zona debajo del embalse y las áreas aguas abajo, los impactos en las tierras silvestres, las especies, o las comunidades de plantas de especial importancia ecológica, la salud pública y los vectores de las enfermedades, la migración de la gente hacia el área y fuera de ella, los cambios en el estado económico y social de las poblaciones reasentadas y la gente que permanece en la cuenca. Se distinguen cinco fases del proyecto como momentos de daño de los distintos impactos: previa construcción, edificación de presa (embalse, canteras, central hidroeléctrica), llenado de embalse, operación del proyecto y desmantelamiento.

### **7.3. Matrices de identificación de impactos**

Una de las metodologías utilizadas en la identificación y calificación de impactos se basa en la elaboración de una matriz de verificación, la cual compara cada componente del medio ambiente con las actividades esperadas en la etapa de planificación, desarrollo, construcción, operación y mantenimiento. En cada caso se indica si la interacción es positiva (+), negativa (-), si conlleva efectos de ambos tipos (+/-), o si simplemente es insignificante o inexistente (0). A continuación se muestran los criterios utilizados para determinar la valoración de impactos ambientales.

Figura 5. Criterios de valoración de impactos ambientales

<b>Criterios</b>	<b>Especificación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>
Reversibilidad	Reversible	1	La alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible, a corto, mediano o largo plazo, debido a los procesos naturales de la sucesión ecológica y de los mecanismos de autodepuración del medio
	Irreversible	2	Supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar por medios naturales, a la situación anterior a la acción que lo produce
	Irrecuperable	3	La alteración al medio o pérdida es imposible de reparar
Duración	Temporal fugaz	1	Si el impacto permanece menos de un año
	Temporal	2	El impacto permanece entre 1 y 10 años
	Temporal pertinaz	4	Permanece por un tiempo mayor de 10 años; este también puede ser llamado impacto permanente o de duración indefinida
Tiempo en aparecer	Corto Plazo	(C)	Aparece inmediatamente o dentro de los 6 meses posteriores a la construcción o puesta en marcha
	Mediano Plazo	(M)	Aparece entre 6 meses y 5 años después de la construcción
	Largo Plazo	(L)	Se manifiesta 5 o más años después de la construcción o puesta en marcha
Relevancia para el monitoreo	Baja	(↓)	No es significativo incluirlo en el monitoreo ambiental
	Media	(⇒)	Se incluye en el monitoreo con vigilancia espaciada para el control de su evolución
	Alta	(↑)	Debe incluirse dentro del monitoreo con un programa específico de control de su evolución y de la efectividad de las medidas de mitigación aplicadas

Continuación Figura 5

<b>Criterios</b>	<b>Especificación</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Definición del impacto</b>
Naturaleza	Positivo	(+)	Interacción que implica una mejora ambiental
	Negativo	(-)	Interacción que implica afectar un medio
	No significativo	(n)	De naturaleza insignificante
	Previsible	(x)	Difícil de cuantificar sin estudios previos
Magnitud	Intensidad Baja	1	Si el área afectada es inferior a una hectárea o no afecta significativamente la línea base
	Intensidad Moderada	2	Cuando el área afectada comprende entre 1 y 10 hectáreas, pero puede ser atenuado hasta niveles poco dañinos
	Intensidad Alta	3	Cuando el área afectada por el impacto es mayor a 10 hectáreas
Importancia	Sin importancia	0	Insignificante
	Menor	1	Socialmente poco valorada
	Moderada	2	Parcialmente valorada desde el punto de vista social
	Importante	3	Demanda una atención de la sociedad
Certeza	Cierto	(c)	Cuando el impacto ocurrirá con una probabilidad > al 75%.
	Probable	(p)	Ocurrirá con una probabilidad entre 50 y 75%
	Improbable	(i)	Ocurrirá con una probabilidad menor del 50%
	desconocido	(d)	Se requieren de estudios específicos para evaluar la certeza del impacto.
Tipo	Directo	(D)	Es consecuencia directa de la construcción u operación del proyecto, el efecto tiene una incidencia inmediata
	Indirecto	(In)	Es consecuencia indirecta de la construcción u operación del proyecto, supone una incidencia retrasada en el tiempo
	Acumulativo	(Ac)	Cuando los impactos individuales repetitivos dan lugar a otros de mayor impacto, o bien al prolongarse en el tiempo, se incrementa progresivamente su gravedad al carecer el medio de mecanismos de eliminación
	Sinérgico	(Sn)	La presencia simultánea de varios agentes o acciones supone una incidencia ambiental mayor que el efecto sumado de las incidencias individuales

Fuente: GUDIEL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote*. Consulta: noviembre 2017.

De esta forma, se asegura que se están incluyendo en el análisis ambiental todas las interacciones relevantes, evitando asignar un gran esfuerzo para recopilar e interpretar información para interacciones insignificantes. El cuadro siguiente contiene la matriz de identificación de las interacciones existentes en un proyecto, entre las actividades a desarrollar en el proceso hidroeléctrico, en sus diferentes etapas y componentes ambientales.

Figura 6. Proyecto hidroeléctrico supuesto. Matriz de identificación de impactos en la etapa de preparación del sitio

Medio	Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>FÍSICO QUÍMICO</b>	Agua (cantidad)					+					
	Agua (calidad)				+	+			-	-	
	Ruidos							-	+	-	-
	Gases y polvo								+	-	-
	Suelo (cantidad)							-			
	Suelo (calidad)			-	+	+				-	-
	Uso potencial					+	+				+
<b>BIOLÓGICO</b>	Vegetación		-		+	+	-			-	
	Fauna			-	+	+	-	+	-	-	
	Organismos acuáticos					+					
<b>ECOLÓGICO</b>	C. biogeoquímicos				+	+			-	-	
<b>SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL</b>	Paisaje				+		-	+	-		+
	Riesgos	-					-	+			+
	Cultura	+		+	+	+	-		-	-	+
	Economía Regional		+			+	+		+		+
	Empleo	+	+		+	+	+		+	+	+
	Otros Proyectos		+	+		+			+		+
<b><u>NOMENCLATURA</u></b>		1. Reconocimiento de campo 2. Replanteo de topografía 3. Evaluación arqueológica 4. Evaluación forestal 5. Caracterización de los cuerpos de agua 6. Reunión con comunidades y propietarios para llegar acuerdos 7. Establecimiento de línea base para la calidad del aire y ruidos 8. Adecuación y apertura de accesos 9. Conformación de áreas de trabajo 10. Catastro de la zona y adquisición de tierras									

Fuente: GUDIEL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote*. Consulta: noviembre 2017.

Figura 7. Proyecto hidroeléctrico supuesto. Matriz de identificación de impactos en las etapas de construcción de obra civil

Medio	Componente	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>FÍSICO QUÍMICO</b>	Agua (cantidad)	+	+					+	+
	Agua (calidad)	+	+	-			-	+	+
	Ruidos		-	-	-		-	+	
	Gases y polvo		-	-	-	-	-	+	
	Suelo (cantidad)	-	+	-	-	-			+
	Suelo (calidad)	-	-			+	-	+	+
	Uso potencial	+	+	-	-	-	+	+	
<b>BIOLÓGICO</b>	Vegetación	-	-		-	-	+		+
	Fauna	-	-	-	-	-	+		+
	Organismos acuáticos	+	+					+	+
<b>ECOLÓGICO</b>	C. biogeoquímicos	+	+		-	-		+	
<b>SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL</b>	Paisaje	+	+	-	-	+	-	+	-
	Riesgos	-	-	-	+	+	-	+	-
	Cultura	+	+	+	+	-	+	+	+
	Economía Regional	+	+	+	+	+	+	+	
	Empleo	+	+	+	+	+	+	+	+
	Otros Proyectos	+	+				+		+
<b><u>NOMENCLATURA:</u></b>									
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zona de embalse</li> <li>2. Sitio de presa</li> <li>3. Casa de máquinas</li> <li>4. Sub estación</li> <li>5. Línea de transmisión</li> <li>6. Carretera</li> <li>7. Medidas de prevención ambiental</li> <li>8. Medidas de compensación ambiental</li> </ol>									

Fuente: GUDIEL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote*. Consulta: noviembre 2017.

Figura 8. Proyecto hidroeléctrico supuesto. Matriz de identificación de impacto en las etapas de operación y abandono

Medio	Componente	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>FISICO QUIMICO</b>	Agua (cantidad)								
	Agua (calidad)	-	-	-		+		+	+
	Ruidos	-	-	-					
	Gases y polvo	-	-	-					
	Suelo (cantidad)								
	Suelo (calidad)					+		+	+
	Uso potencial								
<b>BIOLOGICO</b>	Vegetación						+		+
	Fauna	-	-	-			+		+
	Organismos acuáticos							+	
<b>ECOLOGICO</b>	C. biogeoquímicos								
<b>SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL</b>	Paisaje					+		+	
	Riesgos				+	+			
	Cultura						+		
	Economía Regional								
	Empleo	+	+	+		+			+
	Otros Proyectos								+
<b><u>NOMENCLATURA:</u></b>									
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Limpieza general de la zona</li> <li>2. Clausura de caminos temporales</li> <li>3. Limpieza general del sitio intervenido</li> <li>4. Reforestación</li> <li>5. Delimitación de zona de inundación</li> <li>6. Elaboración del plan de gestión ambiental</li> <li>7. Mantenimiento y manejo de la cuenca</li> <li>8. Monitoreo y evaluación</li> </ol>									

Fuente: GUDIÉL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote*. Consulta: noviembre 2017.



#### **7.4. Evaluación de impacto social**

La implementación de microcentrales hidroeléctricas en comunidades aisladas tiene una serie de resultados que provocan un impacto importante en el ámbito social. La mayoría de estos resultados son indirectos, pues el servicio eléctrico permite que se mejoren muchos aspectos, además del desarrollo de dichas comunidades. Entre los impactos que se afrontan en una comunidad, como una problemática asociada al bajo índice de desarrollo humano, por orden de prioridad se listan a continuación:

- Pobreza extrema.
- Deficiente servicio de agua potable en cuanto a calidad.
- Falta de lugares apropiados para la disposición de excretas (letrinas), en un mayor porcentaje de comunidades del municipio.
- Débil cobertura de los servicios locales de salud.
- Inexistencia de lugares adecuados para disposición de basuras.
- Deforestación acelerada de la cobertura boscosa e incendios forestales.
- Excesiva vulnerabilidad a desastres naturales.
- Falta de drenajes.
- Escaso desarrollo turístico ante alto potencial turístico.
- Falta de carreteras asfaltadas que comuniquen a los municipios con las cabeceras departamentales.

Los estudiantes están entre los más beneficiados por los proyectos, pues mejoran sus condiciones y aumentan su tiempo de estudio en el hogar y disponen de mejores centros educativos, con buena iluminación y nuevos equipos como computadoras y televisores. También mejoran las condiciones de los docentes y se realizan cursos de alfabetización con material audiovisual.

En la salud normalmente hay mejoras en el ámbito doméstico, con la reducción de la incidencia de afecciones oculares y respiratorias –y en menor medida accidentes– causados por la combustión de velas y querosén en lámparas. En las comunidades donde hay mala salud se mejora la atención al paciente y las condiciones de trabajo gracias a la iluminación de calidad y a la adquisición de equipamiento médico moderno.

En el hogar se logra mejorar notablemente la calidad de vida. Por una parte hay una serie de beneficios derivados de disponer de iluminación económica y de gran calidad, intensidad y comodidad de uso, como son el aumento de la higiene en el hogar (por ejemplo al cocinar) y la mayor disponibilidad de tiempo, pues las familias se acuestan una hora y media más tarde en promedio. Por otro lado, se dispone de energía eléctrica para conectar cualquier tipo de electrodoméstico. El uso de refrigeradores y licuadoras, también si se da solo en las tiendas, amplía la gama de alimentos disponibles, mejorando la alimentación familiar. La utilización de televisión ofrece entretenimiento e información audiovisual sobre la actualidad nacional u otros temas de interés de los comunitarios, aumentando así su conocimiento.

Los usos comunales de la electricidad también conllevan una serie de mejoras. La iluminación de calidad y uso de aparatos eléctricos mejora la calidad y la cantidad de reuniones y fiestas. La iluminación en la plaza y en las calles de la población aumenta por una parte la vida social y la comunicación entre los comunitarios, además de ofrecer más actividades de tiempo libre, sobre todo a los niños. Por otra parte, la claridad en las calles aumenta el control social y se reducen los robos y actitudes indeseables que normalmente provienen de personas ajenas a la comunidad. También protege a los comunitarios de animales salvajes peligrosos como las víboras o tarántulas y evita caídas al caminar en la noche.

Este conjunto de mejoras contribuye a la cohesión de la comunidad y a frenar la emigración de los jóvenes comunitarios a la ciudad en busca de mejores condiciones de estudio o trabajo, evitando así la pérdida de las personas más valiosas para el futuro de la comunidad y fortaleciendo el tejido social.

Analizando los impactos desde la perspectiva de género, regularmente los resultados en educación contribuyen a la equidad de género, pues las alumnas son las que más porcentaje de estudio realizan en la noche y las mujeres son las participantes mayoritarias en los cursos de alfabetización. En cambio la esperada reducción de la carga de trabajo que suponen las tareas del hogar – realizadas principalmente por las mujeres– no tiene una incidencia significativa. La razón es que, a pesar de la mejora de condiciones para el trabajo del hogar, también se amplía el tiempo durante el que las mujeres deben atender a sus familias.

#### **7.5. Síntesis de la evaluación de impactos ambientales**

Este inciso tiene como propósito realizar la síntesis de la evaluación de los impactos ambientales que la generación de hidroenergía sobre un río puede provocar. El resultado es la valoración de la importancia del impacto ambiental, incluyendo aquellos impactos que generan efectos acumulativos y una comparación de la calificación de los impactos ambientales, en particular el balance entre los impactos negativos y positivos, y finalmente un resumen de cuáles son los impactos más importantes producidos.

### **7.5.1. Impactos negativos significativos**

Después de efectuar un análisis de las matrices de identificación y evaluación de impactos, se puede observar que los impactos negativos (significativos) sobre un entorno, derivados de la preparación del sitio, embalse del río principalmente y abandono de la etapa de exploración, son:

- Etapa de preparación del sitio y construcción: desmonte y descapote afecta directamente la vegetación, en los sitios de embalse y veredas peatonales con lo que se ahuyenta a especies de fauna y altera el paisaje.
- Durante la etapa de construcción: el uso de la maquinaria afecta la calidad de agua, provoca ruidos y emisiones de gases y partículas en suspensión, manteniendo cierta susceptibilidad a riesgos de accidentes.
- Durante la etapa de operación existe la susceptibilidad de accidentes y demás, relacionados con la salud humana.

### **7.5.2. Impactos positivos significativos**

Los impactos positivos más relevantes pueden ser:

- El establecimiento de la línea base permite una comparación del estado de los recursos bióticos y abióticos antes de las intervenciones del proyecto.
- Las actividades brindan empleo y mano de obra directa e indirecta en los diferentes poblados.

- La generación de energía a base de agua permite la estabilización de los precios de electricidad para el largo plazo, evita generación a través de combustibles fósiles, se evitan gases de efecto invernadero por esta generación fósil y, finalmente, se mejora la balanza comercial al evitar importación de combustibles fósiles.
- El desarrollo hidroeléctrico incide en lograr que se construyan carreteras y se mejoren algunas existentes, con lo cual generalmente se mejora la movilidad de los lugareños.

#### **7.6. Medidas de mitigación**

Luego del análisis de los impactos ambientales, tanto positivos como negativos, se puede determinar que un proyecto hidroeléctrico aporta más elementos positivos, sin embargo, para los impactos negativos es conveniente plantear medidas de mitigación.

Figura 9. **Proyecto hidroeléctrico. Medidas ambientales de mitigación propuestas**

<b>Impacto negativo significativo</b>	<b>Medida de mitigación propuesta</b>
Desmante y descapote afecta directamente la vegetación, en los sitios de embalse y veredas peatonales con lo que se ahuyenta a especies de fauna y altera el paisaje.	Plan de reforestación y monitoreo ambiental, que priorice vegetación herbácea y arbustiva.
<b>Durante la etapa de construcción</b> , el uso de la maquinaria afecta la calidad de agua, provoca ruidos y emisiones de gases y partículas en suspensión, manteniendo cierta susceptibilidad a riesgos de accidentes.	Desarrollar un plan de seguridad industrial para los trabajadores y gestionar horarios, principalmente de traslado de materiales y maquinaria que les sea menos perjudicial a los pobladores.  Restringir a la población en general zonas de peligro.
<b>Durante la etapa de operación</b> , existe la susceptibilidad de accidentes y demás, relacionado con la salud humana.	Implementar un plan para la seguridad y salud humana, que permita prevenir los riesgos para evitar las vulnerabilidades presentes en la zona.
<b>Posible impacto en el ámbito cultural</b>	Diseñar estrategias de información socialmente compatibles con los grupos étnicos y propietarios de fincas, que evitan riesgos por acciones de grupos opositores a la hidroelectricidad.  Implementar un programa de Responsabilidad social empresarial, que fomente la política de buen vecino

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Potenciales impactos negativos. Medidas de mitigación**

Impactos negativos potenciales	Medidas de mitigación
<b>Directos</b>	
<p>1. Efectos, ambientalmente negativos, de la construcción:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación del aire y del agua como resultado de la construcción y de la eliminación de los desperdicios.</li> <li>• Erosión del suelo.</li> <li>• Destrucción de la vegetación.</li> <li>• Problemas de saneamiento y salud en los campamentos de construcción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidas para reducir los impactos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de la contaminación del aire y agua.</li> <li>• Ubicación cuidadosa de los campamentos, edificios, excavaciones, canteras, depósitos de basura y desechos.</li> <li>• Precauciones para reducir la erosión.</li> <li>• Reclamos de la tierra.</li> </ul> </li> </ul>
<p>2. Separación de la gente que vive en la zona inundada</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reubicar a la gente en un área adecuada.</li> <li>• Proveer compensación en especie por los recursos perdidos.</li> <li>• Proporcionar los servicios adecuados de salud, infraestructura y oportunidades de empleo.</li> </ul>
<p>3. Pérdida de terreno (agrícola, bosques, pastos,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicar la represa de tal modo que se reduzcan las pérdidas.</li> </ul>

Continuación, Figura 10

<p>humedales) a causa de su inundación para formar el reservorio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir el tamaño de la represa y el reservorio.</li> <li>• Proteger áreas de igual tamaño en la región para compensar las pérdidas.</li> <li>• Crear terrenos utilizables en las áreas que, previamente, no eran apropiadas, para compensar las pérdidas.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>
<p>4. Pérdida de propiedades históricas, culturales o ascéticas a raíz de la inundación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar el sitio de la represa, o reducir el tamaño del reservorio para evitar pérdidas.</li> <li>• Recuperar o proteger el patrimonio cultural.</li> </ul>
<p>5. Pérdida de tierras silvestres y hábitat de la fauna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicar la represa o disminuir la magnitud del reservorio para evitar o reducir las pérdidas.</li> <li>• Establecer parques compensatorios o áreas reservadas.</li> <li>• Rescatar a los animales y reubicarlos.</li> </ul>
<p>6. Proliferación de las hierbas acuáticas en el reservorio y aguas abajo, impidiendo la descarga de la represa, los sistemas de riego, la navegación y la pesca, y mayores pérdidas de agua por transpiración.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar la vegetación lignosa de la zona del reservorio antes de inundarla (eliminar los nutrientes).</li> <li>• Disponer medidas para controlar la maleza.</li> <li>• Cosechar la vegetación para <i>compost</i>, forraje o biogás.</li> <li>• Regular la descarga del agua y</li> </ul>



Continuación, Figura 10

	<p>manipular los niveles de la misma para desalentar el crecimiento de la maleza.</p>
<p>7. Degradación de la calidad del agua del reservorio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar la vegetación lignosa de la zona del reservorio antes de inundarla.</li> <li>• Controlar el uso de la tierra, las descargas de las aguas servidas y la aplicación de agroquímicos en la cuenca hidrográfica.</li> <li>• Limitar el tiempo de retención del agua en el reservorio.</li> <li>• Instalar salidas a diferentes niveles para evitar la descarga de agua sin oxígeno.</li> </ul>
<p>8. Sedimentación del reservorio y pérdida de su capacidad de almacenamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar el uso de la tierra en la cuenca hidrográfica (prevenir, especialmente, la tala de los bosques para agricultura).</li> <li>• Implementar actividades de reforestación y/o conservación de suelos en las cuencas hidrográficas (efecto limitado).</li> <li>• Eliminar, hidráulicamente, los sedimentos (lavado, corrientes de agua, liberación de corrientes de alta densidad).</li> </ul>

Continuación, Figura 10

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operar el reservorio de tal manera que se reduzca la sedimentación (significa la pérdida de ciertos beneficios energéticos).</li> </ul>
<p>9. Formación de depósitos de sedimento en la entrada del reservorio, creando un efecto de contracorriente, e inundando y saturando las áreas aguas arriba.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavar el sedimento, corrientes de agua.</li> </ul>
<p>10. Lavado del lecho del río, aguas debajo de la represa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar una trampa eficiente, para eliminar el sedimento (p.ej. lavar el sedimento, corrientes de agua) para aumentar el contenido de sal de agua liberada.</li> </ul>
<p>11. Reducción de la agricultura en la planicie de inundación (recesión).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regular la liberación de agua de la represa para duplicar, parcialmente, el sistema natural de inundación.</li> </ul>
<p>12. Salinización de los terrenos aluviales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regular el flujo para reducir el efecto.</li> </ul>
<p>13. Intrusión del agua salada a los esteros y aguas arriba.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener un caudal mínimo, por lo menos, para impedir la intrusión.</li> </ul>
<p>14. Interrupción de la pesca en el río, debido a los cambios en el flujo, el bloqueo de la migración de los peces y el cambio en la calidad y limnología del agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener un flujo mínimo, por lo menos, para la pesca.</li> <li>• Instalar gradas para los peces y otros medios para que puedan pasar.</li> <li>• Proteger los sitios de desove.</li> <li>• Implementar acuacultura y desarrollar la pesca en el reservorio como</li> </ul>

Continuación, Figura 10

	compensación.
15. Se agarran las redes en la vegetación sumergida del reservorio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desbrozar, selectivamente, la vegetación antes de la inundación.</li> </ul>
16. Aumento de las enfermedades relacionadas con el agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar y operar la represa para reducir el hábitat del vector.</li> <li>• Controlar el vector.</li> <li>• Emplear profilaxis y tratar la enfermedad.</li> </ul>
17. Demandas opuestas en cuanto al uso del agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificar el manejo de la represa dentro el contexto de los planes regionales de desarrollo.</li> <li>• Distribuir el agua equitativamente entre los grandes y pequeños agricultores y entre las diferentes regiones geográficas del valle.</li> </ul>
18. Trastorno social y reducción del nivel de vida de la gente reasentada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener el nivel de vida, asegurando que el acceso a los recursos sea, por lo menos, igual a lo que se perdió.</li> <li>• Proveer servicios sanitarios y sociales.</li> </ul>
19. Degradación ecológica debido al aumento de presión sobre la tierra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar el sitio de reasentamiento para evitar que se supere la capacidad de carga de la tierra.</li> <li>• Aumentar la productividad o mejorar el manejo de la tierra (mejoramiento de la agricultura, el pastoreo y la</li> </ul>

Continuación, Figura 10

	silvicultura) para que pueda soportar una población más grande.
20. Trastorno/destrucción de los grupos indígenas y tribus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evitar el desplazamiento de las personas no asimilables culturalmente; donde esto no sea posible, reubicarlas en un área que les permita mantener su estilo de vida y costumbres.</li> </ul>
<b>Indirectos</b>	
21. Aumento de humedad y neblina, localmente, creando un hábitat favorable para los vectores insectos de las enfermedades (mosquitos, tsetsé).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar los vectores.</li> </ul>
22. Migración incontrolada de la gente hacia el área, gracias a los caminos de acceso y las líneas de transmisión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitar el acceso, implementar desarrollo rural y servicios de salud para tratar de reducir el impacto.</li> </ul>
23. Problemas ambientales como resultado del desarrollo que posibilita la represa (agricultura con riego, industrias, crecimiento municipal).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar planificación integral en toda la cuenca para evitar el uso excesivo, abuso y uso incompatible de los recursos terrestres y acuáticos.</li> </ul>
<b>Exteriores</b>	
24. Mal uso de las tierras de las áreas de captación sobre el	* Incluir en la planificación del uso de la tierra las áreas de la cuenca hidrográfica que

Continuación, Figura 10

reservorio, produciendo mayor sedimentación y cambios en la calidad del agua.	se encuentren encima de la represa.
---	-------------------------------------

Fuente: elaboración propia.

### **7.6.1. Programa de reforestación y monitoreo ambiental**

Con esta medida se pretende compensar la cobertura forestal afectada por el proyecto, a través de reforestación de áreas cercanas al proyecto que no tengan una adecuada cobertura forestal. Se pretende además realizar un plan de reforestación de la cuenca, realizando asociaciones y alianzas con organizaciones en pro del Ambiente.

Por otro lado, se pretende llevar un control estricto de las recomendaciones que para el efecto emita el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), y velar porque se mejore la calidad ambiental del área de influencia al proyecto.

#### **7.6.1.1. Generalidades**

Todo plan de reforestación será implementado como una de las medidas compensatorias por la eliminación de la vegetación existente en la zona donde se establecerán las obras, como el embalse para un proyecto hidroeléctrico.

Dado que existe un incremento de la demanda de productos del bosque como la madera, taninos, miel, así como productos medicinales y ornamentales, este incremento genera la oportunidad de desarrollar inversiones de carácter forestal en diferentes zonas, de tal manera que aseguren el desarrollo

sostenible de la actividad forestal, y esto promueve que no se vea la actividad de siembra de árboles solamente como algo para cumplir un requisito de ley.

El programa tiene como visión crear una masa forestal, económica y ambientalmente sostenible, que contribuya a mejorar la competitividad y el desarrollo de los segmentos productivos y el ciclo hidrológico de las microcuencas de las regiones, posibilitando la preservación y restauración de las áreas de bosque naturales.

- **Objetivos<sup>50</sup>**
  - Promover e impulsar un proceso de fomento y desarrollo forestal que permita reducir la presión sobre los remanentes del bosque natural y mejorar la recarga de los acuíferos.
  - Impulsar el establecimiento de plantaciones, promover creación de mecanismos financieros y de financiamiento, y apoyar la creación de instancias de organización a los beneficiarios del programa, mismas que incentiven el incremento de la masa forestal y permitan un desarrollo industrial forestal sostenible de muebles y pisos, la exportación de astilla y el aprovechamiento de los productos no maderables del bosque.
  - Incrementar la cobertura vegetal mediante el desarrollo de plantaciones forestales.

---

<sup>50</sup> RAMÍREZ, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Consulta: noviembre 2017.

- Establecer cierta cantidad de plantas con pequeños, medianos y grandes productores, estableciendo su programa específico para el área, por medio de un plan de negocios.
- Beneficiarios de un programa de reforestación

Para los beneficiarios del proyecto hidroeléctrico, la estrategia debe estar basada en el subsidio en su totalidad que consiste en plantas, fertilizantes, agroquímicos para el control de plagas y asistencia técnica en promover la asociatividad y búsqueda de mercado para los productos no maderables del bosque, y en el establecimiento de alianzas con la industria de muebles y madera para construcción.

De acuerdo a las características de los beneficiarios (productores pequeños, medianos y grandes), el fomento de la asociatividad es vital para convertir el desarrollo forestal en un modelo de distribución de la riqueza y de la interacción de los inversionistas y los productores locales con responsabilidad social, económica y ambiental.

El desarrollo de una organización de productores es el punto de apoyo de la palanca que mueve la cadena, dado que el eje de la estrategia es el establecimiento de plantaciones forestales de carácter comercial, para lo que es necesario crear un entorno social adecuado para la discusión de la problemática del clima de negocios<sup>51</sup>.

---

<sup>51</sup> RAMÍREZ, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Consulta: noviembre 2017.

### 7.6.1.2. Lineamientos estratégicos

Para impulsar un programa de reforestación se requiere desarrollar varios componentes que interactúan entre sí para lograr alcanzar los objetivos planteados<sup>52</sup>:

- Capacitación
- Establecimiento de la plantación
- Asistencia técnica
- Monitoreo de la plantación
  
- Capacitación

Este componente se desarrolla para asegurar que los participantes obtengan los conocimientos necesarios que aseguren las actividades a desarrollar en el proyecto. La temática a desarrollar como mínimo debe contener<sup>53</sup>:

- Establecimiento de viveros (obtención de semillas, ubicación del vivero, manejo del vivero, manejo de plagas y enfermedades).
- Establecimiento de plantaciones (preparación del terreno, siembra, técnicas silviculturales, monitoreo de plantación, manejo de plagas y enfermedades, rondas cortafuego, mantenimiento de cercas).

---

<sup>52</sup> RAMÍREZ, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Consulta: noviembre 2017.

<sup>53</sup> Ídem.



Tabla IV. **Costos de capacitaciones**

GRUPO META	MÓDULOS TEMÁTICOS	NUMERO DE EVENTOS	COSTO ESTIMADO US \$
<b>Establecimiento de Viveros</b>			
<b>Propietarios y Obreros (as) Agrícolas</b> Cursos Taller de 3 días	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de semillas</li> <li>• Ubicación del vivero</li> <li>• Manejo del vivero</li> <li>• Manejo de plagas y enfermedades</li> <li>• Establecimiento de cercas</li> </ul>	10	5,000.00
<b>Establecimiento de Plantaciones</b>			
<b>Propietarios y Obreros (as) Agrícolas</b> Cursos Taller de 3 días	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación del terreno</li> <li>• Siembra</li> <li>• Técnicas silviculturales</li> <li>• Monitoreo de plantación</li> <li>• Manejo de plagas y enfermedades</li> <li>• Rondas cortafuego</li> <li>• Mantenimiento de cercas</li> </ul>	10	5,000.00
<b>COSTO TOTAL US \$</b>			<b>10,000.00</b>

Fuente: RAMÍREZ, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Consulta: noviembre 2017.

- Establecimiento de la plantación

El desarrollo de plantaciones es estratégico ambientalmente para reducir la presión sobre los remanentes bosques, estos deben ser dedicados principalmente al cumplimiento de su papel ambiental y al desarrollo de productos no maderables del bosque. Las especies a utilizar son especies nativas que son propias del bosque húmedo tropical, estableciéndose de manera adecuada según grupo ecológico identificado en el programa elaborado para cada finca. Estos grupos ecológicos son los siguientes<sup>54</sup>:

<sup>54</sup> RAMÍREZ, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Consulta: noviembre 2017.

- Plantaciones forestales de maderables con alto valor (plantaciones puras)

Estas plantaciones pueden establecerse en las áreas abiertas, algunas de las especies a utilizar para este tipo de plantación son:

Tabla V. **Especies forestales en áreas abiertas**

<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>
Palo de Agua	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Guayabo de Charco	<i>Terminalia oblonga</i>
Sebo	<i>Virola koschnyi</i>
Nancitón	<i>Hyeronima alchorneoides</i>
Carao	<i>Cassia grandis</i>

Fuente: elaboración propia.

Con la especie de Carao, es posible comercializar la miel en presentaciones de botellas de 500 ml y 750 ml, adquiriendo el productor ingresos de manera sostenida, considerando que la miel de Carao tiene una buena demanda en el mercado nacional.

- Plantaciones de enriquecimiento de bosques secundarios

Este sistema se debe aplicar a todos las áreas de bosque secundario, con las siguientes especies:

Tabla VI. **Especies a plantar en bosque secundario**

<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>
Cedro Real	<i>Cedrela odorata</i>
Caoba del Atlántico	<i>Swietenia macrophylla</i>
Cedro Macho	<i>Carapa nicaraguensis</i>
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Plantaciones frutales**

<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>
Zapote	<i>Pouteria sapota</i>
Níspero	<i>Manilkara zapota</i>
Guanabana	<i>Annona muricata</i>
Aguacate	<i>Persea americana</i>

Fuente: elaboración propia.

Estas especies tienen una buena aceptación en el mercado nacional, por lo que al productor se le deberá hacer su respectivo plan de negocios para que la plantación sea sostenible económicamente y ecológicamente, los costos de estos planes están reflejados en los costos de asistencia técnica<sup>55</sup>.

---

<sup>55</sup> RAMÍREZ, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Consulta: noviembre 2017.

- Desarrollo de las plantaciones

Si, por ejemplo, se ha previsto desarrollar el proyecto en un área de 1 000 hectáreas, donde cada año se restauraran 200 hectáreas con 100 000 plantas, a una densidad de siembra de 500 / hectárea. Las áreas a restaurar son aquellas que no presentan vegetación y las áreas de los bosques secundarios<sup>56</sup>.

Tabla VIII. **Desarrollo de plantaciones**

<b>AÑO</b>	<b>PLANTACIÓN (HA)</b>	<b>NO. DE PLANTAS</b>
1	200	100,000
2	200	100,000
3	200	100,000
4	200	100,000
5	200	100,000
<b>TOTAL</b>	<b>1000 (ha)</b>	<b>500,000</b>

Fuente: elaboración propia.

- Fase de protección y mantenimiento

Una serie de prácticas culturales apropiadas y oportunas debe garantizar la integridad de las plantaciones<sup>57</sup>:

- Replante: si el muestreo de la supervivencia es mayor del 85 %, es preferible no realizar el replante.

<sup>56</sup> RAMÍREZ, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Consulta: noviembre 2017.

<sup>57</sup> Ídem.

- Control de malezas: en zonas tropicales no puede prescindirse del control oportuno de malezas. En el primer año se requiere tres limpiezas con machete; en el segundo y tercer año dos limpiezas.
  - Protección contra el fuego: el riesgo por incendios forestales es latente, sobre todo en la época seca; se recomienda líneas cortafuego en todo el perímetro de las plantaciones, al que debe sumarse una campaña vigorosa de educación ambiental.
  - Protección contra el hombre: el vandalismo y la tala ilegal pueden contrarrestarse con una campaña educativa y reforzando la vigilancia.
  - Protección contra animales mayores: definitivamente el daño por ganado vacuno y equino cuando este ocurra, debe contrarrestarse con los cercos de alambre con púas.
- Asistencia técnica

Luego de haber efectuado el establecimiento de plantaciones, se hace necesario realizar actividades de asistencia técnica por parte de personal especializado en el tema, por tal razón se propone desde el año 1 la contratación de 2 técnicos especialistas en el manejo forestal. Dichos técnicos estarán a cargo de efectuar al menos 2 visitas técnicas mensuales por

beneficiario del proyecto (finca). Los técnicos a contratar deberán cumplir con el siguiente perfil<sup>58</sup>:

- Graduado en ingeniería forestal o carrera afín.
  - Experiencia comprobada de trabajo en plantaciones con especies tropicales.
  - Conocimiento de la legislación nacional (específicamente forestal y de medio ambiente).
  - Capacidad de transmitir conocimientos.
  - Capacidad de gestión ante actores locales.
  - Preferiblemente de la zona del proyecto.
- Muestreo silvicultural

Se realiza para poder determinar la calidad de la plantación, la cual está derivada en los siguientes aspectos:

- Conocer el incremento en altura y clase diamétrica de los individuos.
- Conocer el crecimiento y mortalidad de la plantación.
- Monitorear cambios y pronosticar tendencias de la estructura de la plantación.

La frecuencia de realización de estas acciones deberá ser al menos 2 veces al año y serán realizadas por los técnicos a contratar<sup>59</sup>.

---

<sup>58</sup> RAMÍREZ, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Consulta: noviembre 2017.

<sup>59</sup> Ídem.

- Productos esperados
  - Cobertura vegetal reestablecida en 1 000 hectáreas al final de año 5 del proyecto.
  - Fortalecida la capacidad técnica de 300 beneficiarios(as) al finalizar el período de ejecución del plan.
  - Garantizada la densidad y calidad de las plantaciones establecidas en las zonas de uso propuestas en el proyecto.

#### **7.6.2. Plan de seguridad para la protección y salud humana**

El Plan de Seguridad para la Salud Humana o de Protección a la Salud Humana tiene como objetivo conservar en buen estado la salud de los trabajadores, de tal forma que cualquier tipo de accidente pueda ser prevenido. Así también persigue que el trabajador tenga un ambiente de trabajo confortable para la realización de sus actividades.

Deben cumplirse como mínimo las reglamentaciones relacionadas a las actividades que se ejecutan en la construcción de proyectos hidroeléctricos, descritas en el Acuerdo Gubernativo No. 229-2014 (vigente desde 23 de julio de 2014), el cual define como Obligaciones del Patrono, las siguientes:

#### **“Capítulo 11**

##### **Obligaciones de los patronos**

**Artículo 4.** Todo patrono o su representante, intermediario o contratista debe adoptar y poner en práctica en los lugares de trabajo, las medidas de SSO para proteger la vida, la salud y la integridad de sus trabajadores, especialmente en lo relativo:

- a) A las operaciones y procesos de trabajo.
- b) Al suministro, uso y mantenimiento de los equipos de protección personal.
- c) A las edificaciones, instalaciones y condiciones ambientales.
- d) A la colocación y mantenimiento de resguardos, protecciones y sistemas de emergencia a máquinas, equipos e instalaciones.

**Artículo 5.** Son también obligaciones de los patronos:

- a) Mantener en buen estado de conservación, funcionamiento y uso, la maquinaria, instalaciones y útiles.
- b) Promover la capacitación de su personal en materia de SSO en el trabajo a través de instituciones afines en la materia.
- c) Informar a todos sus trabajadores sobre el tema de VIH/SIDA.
- d) Proporcionar a las personas que viven con la infección de VIH/SIDA, todo lo necesario para que el trabajador pueda desempeñar sus labores de acuerdo a su capacidad y condición.
- e) Colocar y mantener en lugares visibles, avisos, carteles sobre SSO, impulsados por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social en conjunto con el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, para la promoción y sensibilización.
- f) Proporcionar al trabajador las herramientas, vestuario y enseres inherentes para el desarrollo de su trabajo.
- g) Permitir y facilitar la inspección de los lugares de trabajo a técnicos e inspectores del Ministerio de Trabajo y Previsión Social y del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, con el objeto de constatar si en ellos se cumplen las disposiciones contenidas en los reglamentos de higiene y seguridad.
- h) Facilitar la creación y funcionamiento de los comités de Salud y Seguridad.

**Artículo 6.** Se prohíbe a los Patronos:

- a) Poner o mantener en funcionamiento maquinaria o equipo que no esté debidamente protegida en los puntos de transmisión de energía, en las partes móviles y en los puntos de operación.
- b) Constituir como requisito para obtener un puesto laboral, la prueba de VIH/SIDA.
- c) Considerar la infección de VIH/SIDA, como causal para la terminación de la relación laboral.



d) Discriminar y estigmatizar a las personas que viven con VIH/SIDA, de igual manera, violar la confidencialidad y el respeto a la integridad física y psíquica de la cual tienen derecho estas personas.

e) Permitir la entrada a los lugares de trabajo a personas en estado etílico o bajo la influencia de algún narcótico o estupefaciente<sup>60</sup>.

Independientemente de las medidas de seguridad y protección que implemente el propietario del proyecto, a continuación se enumeran medidas de carácter general, medidas directas y de prevención para la salud:<sup>61</sup>

- Acceso y permanencia: dentro del área del proyecto hidroeléctrico únicamente con autorización de Gerencia.
- Transporte: toda persona que conduzca un vehículo deberá tener licencia de conducir vigente de acuerdo al tipo de vehículo que maneja (A, B, C), observar los límites de velocidad establecidos y cumplir con todas las normas de seguridad y tránsito.
- Maquinaria y equipos: toda persona que opere una maquinaria pesada para construcción deberá poseer licencia correspondiente para uso y operación de maquinaria y equipo tripulados tipo industrial y agrícola (E), además de observar límites de velocidad y cumplir con todas las normas de seguridad y tránsito.

---

<sup>60</sup> Acuerdo Gubernativo Número 229-2014. Ministerio de Trabajo y Previsión Social. *Obligaciones de los patronos*. Guatemala, 2014.

<sup>61</sup> GUDIEL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote, Municipio de Melchor de Mencos, Departamento de Petén*. Consulta: noviembre 2017.

- Medidas de seguridad general: establecer un manual de seguridad industrial que contemple las buenas prácticas de la industria eléctrica y específicamente de generación.
- Salud: dotar las áreas de trabajo con instalaciones sanitarias y de lavado que posean equipo y accesorios (por ejemplo, cremas protectoras) de limpieza, para permitir al personal su protección propia e individual por medio del lavado de materiales cáusticos con los que pudieron estar en contacto como solventes, residuos de combustibles, aceites, etc. Asimismo, establecer un plan de salud para los trabajadores. Además, conforme al Acuerdo 1414 del IGSS, artículo 10, toda empresa industrial o agrícola que cuente con más de 75 trabajadores deberá contar con un equipo de clínica completo y personal médico y paramédico a su servicio durante las horas de trabajo, siendo el profesional médico el encargado de complementar el material de curación, medicamentos e instrumental, de conformidad con las necesidades propias de la empresa de que se trate<sup>62</sup>.
- Ruido: los niveles de ruido máximos en las áreas de trabajo deberán ser de 70 db(A); si este nivel es excedido, deberá dotarse al personal de los equipos de protección auditiva correspondientes. Supervisar el uso de los equipos de protección en las áreas de mayores niveles de exposición (cualquiera que tenga presión sonora arriba de 70 dB(A)) y establecer períodos de exposición acordes.
- Fluidos tóxicos: no se deberá permitir la acumulación de trapos aceitosos y otros residuos como toneles de aceite, pinturas, etc.; deberán estar completamente cerrados, aun cuando estén en uso. Para propósitos de

---

<sup>62</sup> Acuerdo 1414. Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. Guatemala, 1969.

limpieza podrán utilizarse los productos químicos autorizados por el gerente del proyecto o quien ejecute estas funciones. Dichos toneles deben estar colocados sobre superficies impermeables (concreto) y rodeados de una fosa de protección contra estos derrames, para proteger el suelo de derrames y con esto causar contaminaciones.

- Exámenes médicos: durante la fase de operación deberá establecerse un programa periódico de exámenes médicos para todo el personal que labora en la empresa. Este servicio podrá contratarse contando con la coparticipación económica de los empleados beneficiados, o bien estarán amparados por el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS).
- Entrenamiento: deberá entrenarse todo el personal sobre prácticas y procedimientos de seguridad, en la localización, manejo y control de diferentes tipos de incendios y en el uso de los equipos de emergencia, así como en la utilización del equipo de protección personal y equipo de protección para trabajos en altura.
- Primeros auxilios: aunque la población y sus alrededores cuenten con centro de salud y/o hospital regional, se debe establecer contacto con ese y otros centros asistenciales y hospitalarios (saber los números telefónicos y hacer los arreglos necesarios) más cercanos, en caso de cualquier emergencia que suceda. Adicionalmente, deberá mantener informado al segundo en orden de mando en la central hidroeléctrica. Las empresas constructoras de proyectos hidroeléctricos se encuentran obligadas a contar con una clínica de primeros auxilios y personal capacitado que la atienda, de acuerdo al Acuerdo 1414 del IGSS (artículo 10).<sup>63</sup>

---

<sup>63</sup> Acuerdo 1414. Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. Guatemala, 1969.

- Higiene: promover y exigir estándares de higiene en las cocinas, almacenamiento de comidas, servicios sanitarios y potabilidad del agua de consumo humano de suministro obligatorio a todo el personal e instalaciones en general.

### **7.6.3. Responsabilidad Social Empresarial (RSE)**

La Responsabilidad Social Empresarial (RSE) es una decisión estratégica e incluye prácticas empresariales basadas en principios éticos y apegados a la legalidad. Dentro del marco de desarrollo del proyecto hidroeléctrico, se recomienda esta acción como medida para mitigar cualquier oposición social al proyecto y fortalecer con ello la viabilidad del mismo.

Dentro de este contexto se debe contemplar y realizar programas tanto dentro de la empresa (trabajadores y colaboradores) como a lo externo (comunidad, municipalidad, entidades gubernamentales), en miras a coadyuvar a la mejora del ambiente y del nivel de vida de las poblaciones cercanas, pues aunque esta última meta es responsabilidad del Estado de Guatemala, parte de las utilidades de la central generadora podrán destinarse a este fin a través de proyectos sociales. “La Responsabilidad Social Empresarial es el compromiso continuo de la empresa de contribuir al desarrollo económico sostenible, mejorando la calidad de vida de sus empleados y sus familias, así como la de la comunidad local y de la sociedad en general”.<sup>64</sup>

En los proyectos hidroeléctricos se han establecido acciones de RSE, como una estrategia empresarial para el abordaje de conflictividad; las mismas han sido orientadas para proveer a las comunidades del área de influencia de

---

<sup>64</sup> World Business Council for Sustainable Development, 2000.

las hidroeléctricas, de proyectos en materia de educación, salud, deporte e infraestructura para el desarrollo. La problemática que algunos proyectos hidroeléctricos han desatado se contrapone a la demanda energética nacional; en estos proyectos las disputas se dan especialmente por el acceso y uso del recurso del agua, pero especialmente la discusión está en torno a los beneficios que perciben las comunidades del área de influencia de este tipo de proyectos y cuál es el impacto de esta actividad económica en el desarrollo rural.

A la fecha no se ha evaluado a profundidad el impacto y sostenibilidad de las acciones de RSE en el desarrollo de las comunidades del área de influencia de los proyectos hidroeléctricos y sí se están abordando adecuadamente los ámbitos clave de la RSE en cada uno de ellos.

Los programas de RSE que se implementan muchas veces solo satisfacen intereses de líderes de las comunidades y no contribuyen a reducir las vulnerabilidades sociales y económicas de las poblaciones ubicadas en áreas de influencia de las mismas. De manera específica, se percibe que los proyectos hidroeléctricos ofrecen proyectos sociales que tienen como único objetivo silenciar las quejas o satisfacer las necesidades momentáneas de la población. Las comunidades y los gestores sociales, que únicamente cumplen con su trabajo, solicitan ayudas y no proyectos sustentables. Se considera que la articulación y coordinación en conjunto contribuiría a reducir, entre otros: los señalamientos que se hacen a las instituciones públicas, empresas generadoras, grupos sociales y civiles que muestran cierto desinterés en la búsqueda consensuada de beneficios comunales.

Yuri Melini, de la organización Calas, indica que en la última década la RSE se ha convertido en un componente importante para las empresas. El país necesita una matriz energética, fuerte, actualizada, justa y sobre todo

sostenible. Se debe promover la participación de actores locales y accionistas en la construcción de estos proyectos<sup>65</sup>.

Entre las ventajas de la energía renovable se tiene:

- Junto a su construcción, también se construyen caminos de acceso y obras sociales, entre otros.
- Los vecinos de las comunidades optan por proyectos físicos que la empresa generadora está dispuesta a otorgar en el corto plazo. Entre estos: centros de convergencia, puestos de salud, iglesias, construcción y mejoramiento de escuelas y canchas de juegos, equipamiento de áreas de aprendizaje, capacitación en áreas vocacionales para los jóvenes, entre otros.
- La empresa generadora, mediante actividades relacionadas a su campaña de buenos vecinos, encuentra acercamiento con las comunidades y promueve el desarrollo de actividades deportivas, sociales y de apoyo comunitario, así como capacitaciones de la comunidad. En realidad ninguno de los actores tiene intenciones mal encausadas y llegan a acuerdos que permiten a ambos vivir conformes.
- La empresa generadora, al no existir una ley que le obligue a invertir cierto porcentaje del capital percibido por el proyecto, orienta su aporte en materia de la opinión o decisión de los líderes comunitarios.

---

<sup>65</sup> MELINI, Yuri. *Responsabilidad Social Empresarial*. <http://publicogt.com/2016/11/13/responsabilidad-social-empresarial-de-los-proyectos-hidroelectricos-en-el-desarrollo-rural-de-san-pedro-carcha/>. Consulta: noviembre 2017.

- Los vecinos y empresa generadora deben elaborar un plan estratégico que permita y facilite las oportunidades de desarrollo para ambos. Estos planes posiblemente no llegan a ser conocidos por la sociedad no participante, y son estos los que generan especulaciones de los beneficios que dejan de percibir unos y el aprovechamiento del recurso por parte de los otros.
- Es importante recalcar que la falta de cumplimiento de RSE por parte de los proyectos hidroeléctricos en las áreas de incidencia y áreas vecinas, se debe a que el Estado no exige en su normativa la implementación y cumplimiento de actividades que la promuevan, situación que hace necesaria la participación efectiva y activa de todos los actores involucrados, con el fin de lograr consensos y acuerdos en beneficio de todos.
- Los proyectos hidroeléctricos y sus estrategias de RSE deben ser consensuados en asambleas comunitarias, por mayoría de votación, y avalados por las autoridades correspondientes; no puede ser posible que se favorezca solamente a las familias directamente afectadas, finalmente son todos o la mayoría de vecinos los que resguardan el recurso natural.
- Debe existir un ente responsable que de continuidad a los proyectos, sobre todo cuando estos son obras grises. Deben ser entregados al consejo municipal y de esta forma se estaría asegurando el beneficio comunal, no familiar, sectorial o individual; y la administración y mantenimiento posterior.
- Debe existir la promoción y fortalecimiento de las políticas de producción sostenible en el tema eléctrico. Comunidades intervenidas por los

proyectos y el proyecto mismo deben resguardar el recurso del agua y velar por el buen manejo y generación de energía a través de actividades participativas, inclusivas y transparentes, en que el costo social no conlleve conflictos sociopolíticos y económicos, sino más bien una mesa de diálogo donde se cubran las necesidades de la población vigilante de los mantos acuíferos. Dichos beneficios deben ser a largo plazo y no solo para mermar las molestias presentadas durante la construcción del proyecto.

- Por último, durante el período de generación de energía, las comunidades en la zona de injerencia deberían exigir regalías enfocadas en tres aspectos primordiales: salud, educación y desarrollo rural, transformadas en proyectos autosustentables que aseguren la mejora en la calidad de vida de las familias; ejemplo de ello podría ser la inversión en infraestructura y material educativo, encadenamiento agroindustrial, fuentes de empleo, proyectos enfocados en promover y aumentar la mano de obra brindada por la mujer como un apoyo al ingreso del hogar, conservación de cuencas, tecnificación de la población joven, entre otros.<sup>66</sup>

#### **7.6.4. Otras variables que requieren de monitoreo, dependiendo de las necesidades de información**

No hay ningún programa estándar de monitoreo para un proyecto hidroeléctrico, pero la evaluación ambiental debe incluir uno que haya sido diseñado para el proyecto específico. Cuáles de las siguientes variables

---

<sup>66</sup> MELINI, Yuri. *Responsabilidad Social Empresarial*. <http://publicogt.com/2016/11/13/responsabilidad-social-empresarial-de-los-proyectos-hidroelectricos-en-el-desarrollo-rural-de-san-pedro-carcha/>. Consulta: noviembre 2017.



requieren monitoreo dependerá de las necesidades de información de la administración:

#### **7.6.4.1. Lluvia**

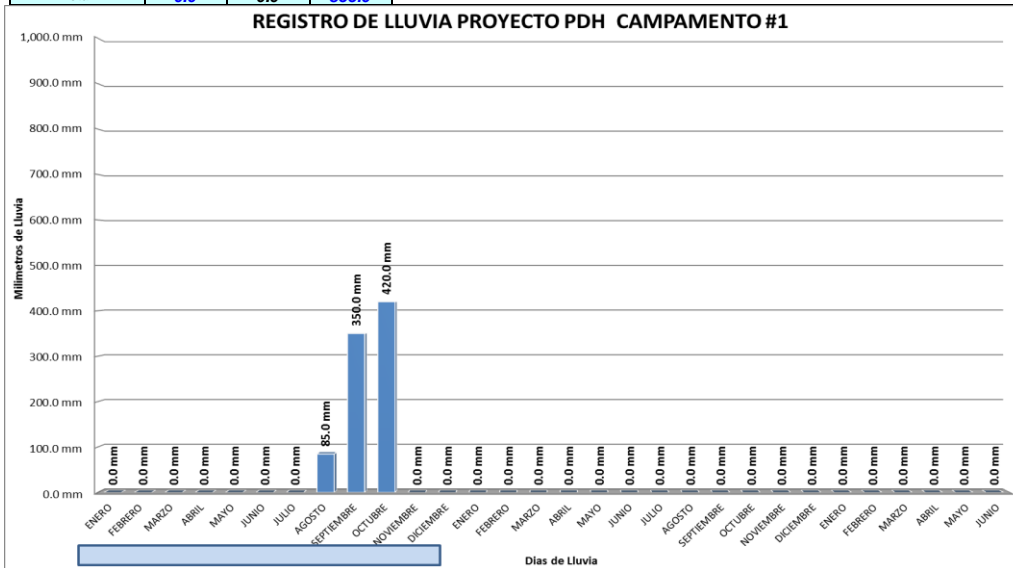
Los datos sobre precipitación lluviosa se utilizan para reforzar los datos cortos o fragmentarios sobre corrientes. Los registros que se necesitan son series históricas de precipitaciones mensuales o anuales. Por varias razones, la evaluación correcta de precipitaciones representativas de un área más amplia puede conducir a resultados muy aproximados.

La precipitación de lluvia (mm/año) puede ser convertida en flujo (m<sup>3</sup> /año) cuando se conocen las características del área de captación. Sin embargo, no se aconseja este procedimiento de no ser para valuaciones preliminares y cuando no se pueden conseguir otros datos sobre el flujo.

A continuación se presenta la Tabla de Monitoreo de Lluvias durante la construcción de Proyecto Hidroeléctrico Pojom II, la cual muestra las lluvias acumuladas y se considera de suma utilidad para las programaciones de ejecución de obra necesarias, tales como: fundiciones, trabajos de obra civil en tomas/presas o cercanas a donde corren las fuentes de agua (ríos) y desvíos de ríos como parte de los trabajos de la hidroeléctrica misma. Todo lo anterior para resguardar la integridad de los trabajadores y comunidades vecinas de posibles inundaciones, permitiendo tomar las medidas preventivas necesarias en ese tipo de eventos.

Tabla IX. Precipitaciones en Proyecto Hidroeléctrico Pojom II

INFORME DE LLUVIA CAMPAMENTO #1									
01 al 31 de Octubre 2015									
Date (Fecha)	Rainfall (mm/m <sup>2</sup> )		mm. total de por mes	mm. acumulado	promedio acumulado del mes mm. / del año	estado del terreno al iniciar el día	Sunny (Soleado) cloudy (nublado) Al inicio del día	Temp. °C 6:00 horas	Temp. °C 18:00 horas
	LOCALIZACION DEL PLUVIOMETRO								
	LABORATORIO CAMPAMENTO # 1								
ENERO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
FEBRERO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
MARZO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
ABRIL	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
MAYO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
JUNIO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
JULIO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
AGOSTO	0.0 mm	0.0 mm	85.0 mm	85.0 mm	85.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
SEPTIEMBRE	0.0 mm	0.0 mm	350.0 mm	435.0 mm	217.5 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
OCTUBRE	0.0 mm	0.0 mm	420.0 mm	855.0 mm	285.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
NOVIEMBRE	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	213.8 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
DICIEMBRE	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	171.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
ENERO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	142.5 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
FEBRERO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	122.1 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
MARZO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	106.9 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
ABRIL	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	95.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
MAYO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	85.5 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
JUNIO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	77.7 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
JULIO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	71.3 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
AGOSTO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	65.8 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
SEPTIEMBRE	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	61.1 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
OCTUBRE	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	57.0 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
NOVIEMBRE	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	53.4 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
DICIEMBRE	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	50.3 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
ENERO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	34.2 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
FEBRERO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	32.9 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
MARZO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	31.7 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
ABRIL	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	30.5 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
MAYO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	29.5 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
JUNIO	0.0 mm	0.0 mm	0.0 mm	855.0 mm	28.5 mm	Saturado	cloudy (nublado)		
<b>Total</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>855.0</b>						



Fuente: elaboración propia.

#### **7.6.4.2. El volumen de agua almacenada en el reservorio**

En los casos en los que el embalse o reservorio del proyecto se construye aprovechando la topografía del terreno, provocando con esto la acumulación de agua (embalse natural), es necesario monitorear el volumen de agua que se almacena en el mismo. Se debe tomar en cuenta que el nivel del agua en un embalse es siempre mayor que el nivel original del río.

- Niveles de un embalse

Desde el punto de vista de la operación de los embalses, se definen una serie de niveles. Los principales son (en orden creciente):

- Nivel mínimo: es el nivel mínimo que puede alcanzar el embalse; coincide con el nivel mínimo de la toma situada en la menor cota.
- Nivel mínimo operacional: es el nivel por debajo del cual las estructuras asociadas al embalse y la presa no operan u operan en forma inadecuada.
- Nivel medio: es el nivel que tiene el 50 % de permanencia en el lapso del ciclo de compensación del embalse, que puede ser de un día, para los pequeños embalses, hasta períodos plurianuales para los grandes embalses. El período más frecuente es de un año.

- Nivel máximo operacional: al llegarse a este nivel se comienza a verter agua con el objetivo de mantener el nivel pero sin causar daños aguas abajo.
  - Nivel del vertedero: si la presa dispone de un solo vertedero libre, el nivel de la solera coincide con el nivel máximo operacional. Si el vertedero está equipado con compuertas, el nivel de la solera es inferior al máximo operacional.
  - Nivel máximo normal: al llegarse a este nivel la operación cambia de objetivo y la prioridad es garantizar la seguridad de la presa. En esta fase pueden ocurrir daños aguas abajo, sin embargo, se intentará minimizar los mismos.
  - Nivel máximo: en este nivel ya la prioridad absoluta es la seguridad de la presa, dado que una ruptura sería catastrófica aguas abajo. Se mantiene el nivel a toda costa; el caudal descargado es igual al caudal que entra en el embalse.
- Volúmenes característicos de un embalse

Los volúmenes característicos de los embalses están asociados a los niveles descritos anteriormente; de esta forma se definen a continuación los volúmenes de un embalse:

- Volumen muerto, definido como el volumen almacenado hasta alcanzar el nivel mínimo.

- Volumen útil, el comprendido entre el nivel mínimo y el nivel máximo operacional.
- Volumen de laminación, es el volumen comprendido entre el nivel máximo operacional y el nivel máximo normal. Este volumen, como su nombre indica, se utiliza para reducir el caudal vertido en las avenidas, para limitar los daños aguas abajo.
- Caudales característicos de un embalse
  - Caudal firme. Es el caudal máximo que se puede retirar del embalse en un período crítico. Si el embalse ha sido dimensionado para compensar los caudales a lo largo de un año hidrológico, generalmente se considera como período crítico al año hidrológico en el cual se ha registrado el volumen aportado mínimo. Sin embargo, existen otras definiciones para el período crítico también aceptadas, como, por ejemplo, el volumen anual de aporte hídrico superado en el 75 % de los años, que es una condición menos crítica que la anterior.
  - Caudal regularizado. Es el caudal que se puede retirar del embalse durante todo el año hidrológico, asociado a una probabilidad.

#### **7.6.4.3. El volumen de sedimento que ingresa al reservorio**

Es necesario monitorear el volumen del sedimento que entra al embalse dado que de aquí se generan potenciales impactos negativos, como la

sedimentación del reservorio, lo que provoca la pérdida de su capacidad de almacenamiento. Algunas medidas de mitigación que se deben tomar son:

- Controlar el uso de la tierra en la cuenca hidrográfica (prevenir, especialmente, la tala de los bosques para agricultura).
- Implementar actividades de reforestación y/o conservación de suelos en las cuencas hidrográficas (efecto limitado).
- Eliminar, hidráulicamente, los sedimentos (lavado, corrientes de agua, liberación de corrientes de alta densidad).

Adicionalmente, existen formaciones de depósitos de sedimento en la entrada del reservorio, creando un efecto de contracorriente e inundando las áreas, aguas arriba. Se debe hacer un lavado del sedimento, por medio de corrientes de agua, para evitar estas formaciones.

- Vida útil del embalse

La vida útil del embalse, para efectos de las evaluaciones económicas del mismo, se estima entre 30 y 50 años, sin embargo, los embalses potencialmente pueden tener una vida útil mucho más larga. Los factores que pueden influir en la vida útil del embalse son:

- Problemas de degradación de la represa.
- Sedimentación del embalse, con su consecuente disminución del volumen útil del mismo.

- La combinación de suelos empinados, lluvias intensas, el tipo de suelo y el uso que se le da a los mismos hacen que las tasas de erosión y sedimentación sean muy altas en los lugares donde se sitúan y donde se han construido los embalses.
- El alto acarreo de sedimentos de algunos cursos de agua y el desarrollo desmedido en las áreas cercanas a los embalses, así como la falta de control preventivo de la erosión, aceleran el proceso de sedimentación de los embalses.
- En cuencas con embalses, los ríos y quebradas transportan los sedimentos erosionados hacia los embalses donde son atrapados.

La forma más precisa para medir sedimentación en los embalses es mediante estudios de batimetría (medición de las profundidades de los ríos y el estudio de la distribución de las plantas y animales en sus diversas capas o zonas). Se toman elevaciones del fondo del embalse para generar la topografía del fondo del mismo. De esta manera se determina el volumen disponible del embalse y se compara con el volumen de diseño del mismo. Con la información levantada de los estudios de batimetría se determina la capacidad existente del embalse y la tasa de pérdida de capacidad anual basada en una carga específica de sedimentos.

Existe una gran variedad de alternativas para el manejo de sedimentación en embalses. En un embalse se puede utilizar más de una técnica y diferentes técnicas pueden ser más apropiadas en diferentes momentos a lo largo de la vida del embalse. Las estrategias de manejo se pueden catalogar en cuatro temas básicos: (1) reducir el aporte de sedimentos hacia el embalse; (2) manejo hidráulico del embalse para minimizar el depósito de sedimentos; (3) remover

los sedimentos una vez depositados, y (4) manejar las consecuencias sin manejar el proceso de sedimentación como tal. A continuación se da un resumen de estrategias para el manejo de sedimentos:

- Reducir el aporte de sedimentos. Esto se puede lograr mediante trampas de sedimento durante la construcción, al realizar los movimientos de tierras en los alrededores, las que pueden ser tanto estructurales como no estructurales, dentro o fuera del río. Otra manera para reducir el aporte de sedimento es mediante controles de erosión superficial de los suelos, propiciando la formación de una protección vegetal de los mismos. Las prácticas de conservación de suelos se ejecutan para evitar la pérdida de los suelos por causa de la erosión. Estas prácticas son muy diversas y deben ser seleccionadas en función de la pendiente del terreno, del largo de ella, de la vegetación existente en cada lugar y del costo; estas se agrupan de acuerdo a tres principios fundamentales: crear cobertura vegetal en el suelo, mejorar la infiltración del agua en el perfil y reducir o evitar que escurra sobre la superficie.
- Minimizar el asentamiento de sedimentos. Esta estrategia se fundamenta en el desvío de sedimentos. Esto se puede lograr mediante el desvío de corrientes de agua turbia o el desvío de crecidas, entre otras. Una estrategia para el desvío de sedimentos que se ha implantado es la construcción de pequeños embalses fuera del cauce.
- Recuperar el volumen de almacenamiento. Una manera de lograr esto es mediante excavación, ya sea hidráulica o mecánica. Otra



manera es mediante la redistribución de sedimentos, por ejemplo depositándolos en el volumen muerto. Esta última se puede lograr también con modificaciones estructurales o subiendo el nivel operacional.

#### **7.6.4.4. La calidad del agua a la salida de la represa y en algunos puntos a lo largo del río.**

- La calidad del agua

Existen impactos negativos potenciales que estimulan la degradación de la calidad del agua del reservorio, para lo cual se debe prestar atención a las siguientes medidas de atenuación durante el monitoreo del agua que ingresa al embalse:

- Limpiar la vegetación lignosa (plantas leñosas) de la zona del reservorio antes de inundarla.
- Controlar el uso de la tierra, las descargas de las aguas servidas y la aplicación de agroquímicos en la cuenca hidrográfica.
- Limitar el tiempo de retención del agua en el reservorio.
- Instalar salidas a diferentes niveles para evitar la descarga de agua sin oxígeno.

En este punto se describen las medidas adecuadas para prevenir, mitigar o eliminar los efectos ambientales negativos de la actuación, tanto en lo referente a su diseño y ubicación como en cuanto a los procedimientos de restauración, conservación y dispositivos genéricos de protección del medio ambiente. Se incluyen aquellas otras dirigidas a compensar dichos efectos, a ser posible con acciones de restauración, o de la misma naturaleza y efecto

contrario al de la acción emprendida. Estas medidas están siempre orientadas a mejorar las condiciones pre operacional del entorno, aun cuando no tengan relación directa con el proyecto:

- Se deben construir ataguías en las zonas previstas para la obra de toma, la central y el desagüe, para dejar en seco la zona de obra y evitar afecciones al cauce del río.
- Las ataguías de aguas arriba consistirán en una estructura reducida anclada a un muro que encauza el río en una de las márgenes en el espacio comprendido entre la central y la presa.
- Dicho trabajo se debe planificar con antelación suficiente y se debe ejecutar en coordinación con el órgano competente, evitando en todo momento descensos bruscos de la cota del embalse.
- Se debe evitar cualquier acción que pueda provocar que cualquier sustancia peligrosa alcance el curso del río.
- No se debe permitir que los camiones mezcladores descarguen el sobrante de hormigón ni limpien el contenido del tambor de mezclado en la zona de obras no autorizadas.
- No se realizarán labores de mantenimiento de maquinaria en las zonas de obra. Para esto se debe destinar un área para taller de mantenimiento, impermeable para evitar cualquier contaminación a los suelos y a las fuentes de agua.

- No se localizarán zonas de almacenamiento de materiales y sustancias cerca del cauce de ríos.
- Se utilizarán exclusivamente los caminos previstos para las obras, prohibiéndose la circulación fuera de ellos.
- Igualmente, se contemplará la necesidad de realizar controles periódicos de la calidad de las aguas en colaboración con técnicos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, o quien en su momento se determine como encargado de esta labor.

En el control de la calidad de las aguas y del sistema hidrológico, el monitoreo a realizar debe incluir:

- Si se considera oportuno, antes de empezar la fase de construcción se realizará un control de la calidad de las aguas arriba de la zona de la toma (y/o embalse) y otro 250 m. aguas abajo de la zona de instalación del canal de desfogue de la casa de máquinas.
- Durante la ejecución de las obras se comprobará particularmente la caída accidental de materiales al río, verificándose que se cumple su retirada y gestión conforme a su naturaleza.
- Así mismo, se efectuará un control para asegurar que no se produce depósito de finos aguas abajo de las obras, ni que se realicen vertidos de ningún tipo sobre el cauce (aceites, cemento, hormigón, etc.).

Periodicidad y/o frecuencia:

- Inspección de las zonas de trabajo y reconocimiento de las condiciones del agua en el tramo inferior a las obras con periodicidad semanal.

Indicador ambiental a utilizar para las comprobaciones:

- Los parámetros quedarán determinados cuando se autorice el proyecto.
- Contaminación por efluentes

Un efluente está formado por los líquidos residuales que se descargan a las fuentes de agua, cuyo impacto puede ser térmico, físico o químico. La contaminación térmica se produce por el uso de grandes caudales de agua para enfriamiento. La física deriva fundamentalmente del arrastre de partículas en actividades mineras. La química se origina por la evacuación de compuestos orgánicos (hidrocarburos, fenoles, etc.) o inorgánicos (cloruros, amoníaco, sulfuros, etc.), subproductos de minas, graseras, refinerías o centrales térmicas. Sin embargo todos estos efectos recogidos anteriormente deben ser mínimos, por el tratamiento interno de efluentes.

Se considera que en proyectos hidroeléctricos los principales impactos ambientales provocados por esta actividad están directamente relacionados con el manejo de las aguas de operación. Sin embargo, durante la construcción se generan algunos efluentes hacia los ríos, provenientes básicamente de las aguas servidas.

- Efectos de evacuación de residuos industriales líquidos
  - Efectos que producen

Las descargas de residuos industriales líquidos se caracterizan por contener, generalmente, elevadas concentraciones de elementos contaminantes. Los efectos que pueden provocar varían según el punto en donde éstos sean descargados.
  - Efectos según puntos de descarga

Efectos negativos en el medio ambiente y en la vegetación y fauna acuática de los ríos, lagos y cauces naturales, y trastornos en la agricultura como consecuencia del riego con aguas contaminadas. Estos efectos podrían afectar al ser humano a partir del consumo de productos regados con elementos nocivos. La introducción del residuo por los poros del suelo o subsuelo puede conducir hasta un curso de agua subterránea, afectando la calidad de esta. Si el agua subterránea contaminada es utilizada por las personas, causará efectos negativos directos para todos sus usos: consumo humano, agricultura, industria, minería, etc.
- Impactos negativos en el agua durante la construcción
  - Aumento de sólidos en suspensión en los cursos de agua por arrastre de partículas de suelo removido.

- Modificación del curso natural de ríos o variación de niveles de lagos.
- Disminución de la capacidad de infiltración de los suelos (por tránsito de camiones, por ejemplo).
- Vertidos generados en centrales hidroeléctricas
  - Aguas servidas
    - ✓ Los residuos líquidos domésticos en una central corresponden a las aguas servidas provenientes de la actividad humana que se desarrolla en estas, como en las dependencias de servicios sanitarios, cocinas, etc.
    - ✓ Procesos de las centrales hidroeléctricas que generan vertidos: limpieza de equipos, lavado de estanques, de piezas y aseo general, Evacuación de drenajes y enfriamiento.
    - ✓ Conocer las características de las aguas utilizadas en el sistema productivo de la central implica determinar: caudales, concentraciones, cargas contaminantes y periodicidad de medición de cada uno de estos parámetros. Estas mediciones se deben realizar en cada una de las operaciones del proceso industrial que genere vertidos.

- Parámetros indicadores de calidad
  - ✓ Físicos: temperatura, sólidos en suspensión, conductividad eléctrica, etc.
  - ✓ Organolépticos: color, turbidez, olor, sabor, etc.
  - ✓ Químicos: pH, salinidad, conductividad, metales pesados.
  - ✓ Bacteriológicos: bacterias y virus.
  - ✓ Aceites, grasas, cloruros, sustancias tóxicas, etc.
  - ✓ Definiciones de algunos parámetros:
    - ❖ pH: es una medida que indica cuán ácida es una solución. Se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es el valor neutro, 0 lo más ácido y 14 el valor más alcalino o básico:  
$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Donde  $[\text{H}^+]$  es la concentración de iones hidrógeno en la solución.
    - ❖ Temperatura ( $T^\circ$ ): a diferencia de otras cantidades, tales como la masa y el tiempo, la temperatura se define bajo un conjunto de

condiciones teóricas. Utiliza una escala que se mide en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) para temperaturas sobre  $0^{\circ}\text{C}$  y K o  $^{\circ}\text{C}$  para temperaturas bajo  $0^{\circ}\text{C}$ .

- ❖ La temperatura del agua es un factor determinante del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. El incremento anómalo de la temperatura de una masa de agua se debe fundamentalmente al aporte directo de calor, como consecuencia de los vertidos industriales de aguas utilizadas en los procesos productivos.
  - ❖ Sólidos en suspensión (SS): sólidos filtrables obtenidos de una muestra de agua residual. Sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff), en un tiempo fijado por ejemplo en 10 minutos o en 2 horas. Constituyen una medida aproximada de la cantidad de barro que se obtendrá en el proceso de decantación.
- ¿Cómo enfrentar los vertidos?  
Debido a que en una central hidroeléctrica se generan vertidos de procesos que pueden asimilarse a aguas servidas, solo se hace mención del tratamiento de residuos líquidos domésticos. Las aguas servidas provenientes del consumo de agua del personal que participa en la



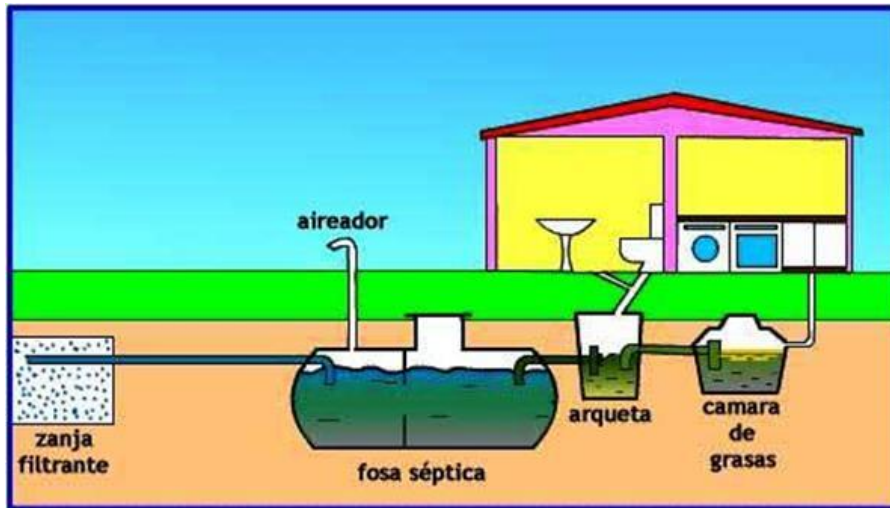
construcción de las centrales requieren de un tratamiento biológico *in situ*, dado que generalmente se encuentran situadas en sectores rurales o alejadas considerablemente de la red de alcantarillado más cercana.

- Principales alternativas

- ✓ Fosas sépticas

Sistema de tratamiento que suele usarse para las aguas residuales domésticas. Se construyen en hormigón, concreto, bloques de ladrillo, fibra de vidrio, plástico reforzado o metal, conformando una cámara en la que sedimentan los sólidos y asciende la materia flotante. El líquido clarificado en parte fluye por una salida sumergida hasta zanjas subterráneas llenas de gravas o bolones de piedras a través de las cuales pueden fluir y filtrarse en la tierra, donde se oxidan aeróbicamente. La materia flotante y los sólidos depositados pueden conservarse entre seis meses y varios años, durante los cuales se descomponen anaeróbicamente. La fosa séptica debe ser dimensionada e impermeabilizada en función del caudal a tratar, realizando chequeos periódicos para evitar fugas y filtraciones, considerando su adecuada mantención.

Figura 11. Esquema de fosa séptica

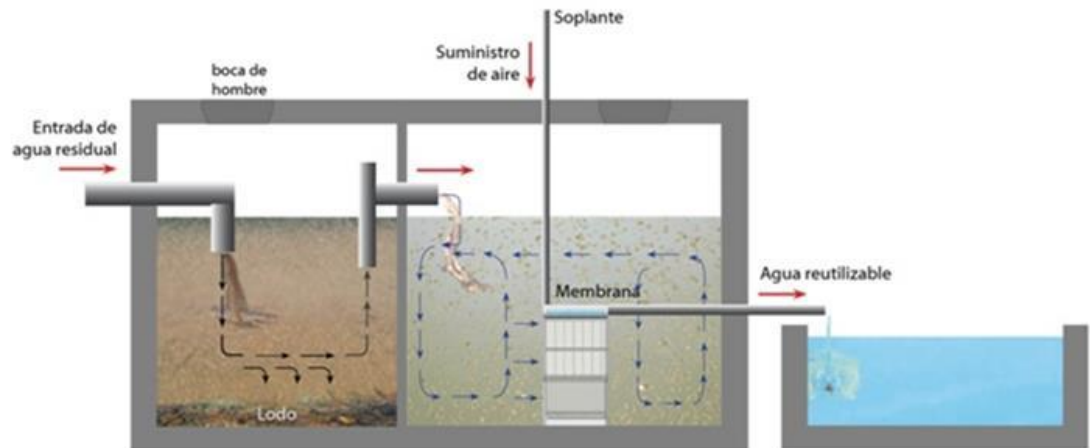


Fuente: elaboración propia.

- ✓ Plantas de tratamiento compactas de aguas servidas

Funcionan bajo el principio conocido como aireación extendida, tratando las aguas residuales mediante el proceso biológico denominado digestión aeróbica. En este proceso los microorganismos utilizan grandes cantidades de oxígeno para digerir la materia orgánica de las aguas servidas y transformarlas en un líquido claro e inodoro. Poseen un compartimento con dos cámaras, una de aireación y otra de sedimentación.

Figura 12. Esquema de planta de tratamiento



Fuente: elaboración propia.

- La salinidad

La salinidad es el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua. Dicho de otra manera, es válida la expresión salinidad para referirse al contenido salino en suelos o en agua. El sabor salado del agua se debe a que contiene cloruro de sodio (NaCl). El porcentaje medio que existe en los océanos es de 3,5 % (35 gramos por cada litro de agua). Además esta salinidad varía según la intensidad de la evaporación o el aporte de agua dulce de los ríos aumenten en relación a la cantidad de agua. La acción y efecto de disminuir o aumentar la salinidad se denomina desalinización y salinización, respectivamente. La mayoría de los lagos son de agua dulce, pero, en las masas de agua de mayor salinidad, es posible flotar con mayor facilidad. Aunque aun así en la hidrósfera se ha comprobado que la mayor parte del agua es salada. El agua embalsada no tiene las condiciones de salinidad, gases disueltos, temperatura, nutrientes y demás propiedades del agua que fluyen por

un río. El aumento del contenido en sales del agua embalsada se debe a la inundación de las laderas. Este efecto puede ser acusado en los primeros tiempos de operación aunque a continuación se amortigua.

- La conductividad eléctrica

Para comprender la conductividad eléctrica (CE) del agua primero hay que entender el significado del TDS, Total de Sólidos Disueltos, la cantidad total de sólidos disueltos en el agua, principalmente de las sales minerales. El TDS es medido en ppm (partes por millón) o en mg/l.

- La relación entre el TDS y la conductividad eléctrica del agua, Ya que es difícil medir los sólidos disueltos totales en el campo, se utiliza la conductividad eléctrica del agua como una medida del TDS. La conductividad eléctrica del agua puede ser determinada en una manera rápida y económica, utilizando medidores portátiles. Refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Por lo tanto, la conductividad eléctrica está relacionada con TDS. La conversión del TDS a la conductividad eléctrica puede ser realizada mediante la siguiente relación:

$$\text{TDS (ppm)} = 0.64 \times \text{EC } (\mu\text{S/cm}) = 640 \times \text{EC (dS/m)}$$

Nótese que esta es una relación aproximada. Las sales en el agua se disuelven en iones con carga positiva e iones con carga negativa, que conducen electricidad.

El agua destilada no contiene sales disueltas y, por lo tanto, no conduce la electricidad y tiene una conductividad eléctrica de cero. Sin embargo, cuando la concentración de las sales llega a un cierto nivel, la conductividad eléctrica ya no está directamente relacionada con la concentración de las sales en el agua.

Esto es porque se forman pares de iones. Los pares de iones debilitan la carga de uno al otro, de modo que por encima de un cierto nivel un TDS más alto no resultará en una conductividad eléctrica más alta.

- Efecto de la temperatura a la conductividad eléctrica del agua  
La conductividad eléctrica del agua también depende de la temperatura del agua: mientras más alta la temperatura, más alta sería la conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica del agua aumenta en un 2-3 % para un aumento de 1 grado Celsius de la temperatura del agua. Muchos medidores CE que existen en el mercado normalizan automáticamente las lecturas a 25°C.
- Efecto de la conductividad eléctrica a las plantas  
La conductividad eléctrica del agua es realmente una medida de la salinidad. Altos niveles de salinidad pueden afectar a las plantas en varias formas:
  - La toxicidad específica de un ion particular (como el sodio).
  - La presión osmótica más alta alrededor de las raíces previene una absorción eficiente de agua por la planta.
  - Distintas plantas son más susceptibles a los efectos de salinidad que otras.

- Significado de la lectura de la CE

Mientras que la conductividad eléctrica del agua es una buena medida de la salinidad total, todavía no proporciona ninguna información sobre la composición de iones en el agua. Los mismos valores de conductividad eléctrica pueden ser medidos en el agua de baja calidad (por ejemplo, el agua rica en sodio, cloruro, boro y fluoruros), así como en agua de buena calidad (por ejemplo, agua que contiene cantidades adecuadas de nutrientes).
  
- Las unidades de medida de la conductividad eléctrica del agua

Las unidades comúnmente utilizadas para medir la conductividad eléctrica del agua son:

  - $\mu\text{S/cm}$  (microSiemens/cm) o  $\text{dS/m}$  (deciSiemens/m)
  - Cuando:  $1000 \mu\text{s/cm} = 1 \text{ dS/m}$
  
- Directrices para medir la CE correctamente

Con el fin de tener una lectura fiable, es importante tomar la medida correctamente.

  - Sumergir el medidor de la CE en la muestra de agua.
  - El medidor de CE debe ser sumergido solo hasta el nivel indicado en las instrucciones.
  - Nunca sumergir el medidor CE totalmente.
  - Agitar ligeramente el agua de medición con el medidor de CE.
  - Esperar unos segundos hasta que se establezca la medida y tome la misma.

- Turbiedad del agua

La turbidez o turbiedad es la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez. En potabilización del agua y tratamiento de aguas residuales, la turbidez es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua, pues a mayor turbidez menor calidad<sup>67</sup>.

- Origen de la turbidez del agua

Hay varios parámetros que influyen en la turbidez del agua. Algunos de estos son<sup>68</sup>:

- Presencia de fitoplancton, o crecimiento de las algas.
- Presencia de sedimentos procedentes de la erosión.
- Presencia de sedimentos resuspendidos del fondo (frecuentemente revueltos por peces que se alimentan por el fondo).
- Descarga de efluentes, como por ejemplo escorrentías urbanas mezcladas en el agua que se analiza.

- Efectos de una alta turbidez en el agua

Las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes y reduciendo así la concentración de oxígeno en el agua (el oxígeno se disuelve mejor en el agua más fría). Además algunos organismos no pueden sobrevivir en agua más caliente, mientras

---

<sup>67</sup> *Turbiedad del agua*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>. Consulta: noviembre 2017.

<sup>68</sup> Ídem.

que se favorece la multiplicación de otros. Las partículas en suspensión dispersan la luz, de esta forma decrece la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar la concentración de oxígeno más aún.

Como consecuencia de la sedimentación de las partículas en el fondo, las fuentes de agua poco profundas se colmatan más rápido, los huevos de peces y las larvas de los insectos son cubiertas y sofocadas, y las agallas de los peces se tupen o dañan. El principal impacto de una alta turbidez es meramente estético: a nadie le gusta el aspecto del agua sucia. Pero además es esencial eliminar la turbidez para desinfectar efectivamente el agua que desea ser bebida. Esto añade costos extra para el tratamiento de las aguas superficiales. Las partículas suspendidas también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas<sup>69</sup>.

- Medición de la turbidez

La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez o *nephelometric turbidity unit* (NTU). El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. La unidad usada en tiempos antiguos era la unidad de turbidez de Jackson (Jackson Turbidity Unit, JTU), medida con el turbidímetro de vela de Jackson. Esta unidad ya no está en uso estándar. En lagos, la turbidez se mide con un disco Secchi<sup>70</sup>.

---

<sup>69</sup> *Turbiedad del agua*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>. Consulta: noviembre 2017.

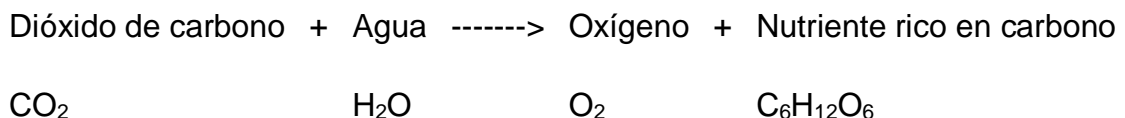
<sup>70</sup> Ídem.



- Oxígeno disuelto

Las centrales hidroeléctricas también pueden provocar la disminución de los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo que resulta dañino para los hábitats de las vías de agua. En una presa, el oxígeno disuelto en el agua es menor que en un río que fluye, por lo que a la hora de soltar agua es importante la acción de aireadores, ya que normalmente se suele liberar agua de las zonas más profundas del embalse, que son las que tienen precisamente menos oxígeno y también una temperatura menor que las aguas más someras de los ríos. De esa forma se minimiza su impacto sobre las normalmente sensibles poblaciones piscícolas<sup>71</sup>.

El (DO) es el oxígeno que esta disuelto en el agua. Esto se logra por difusión del aire del entorno, la aireación del agua que ha caído sobre saltos o rápidos y como un producto de desecho de la fotosíntesis. La fórmula simplificada de la fotosíntesis (en presencia de luz y clorofila) es<sup>72</sup>:



Los peces y los animales acuáticos no pueden diferenciar el oxígeno del agua (H<sub>2</sub>O) o de otros compuestos que contengan oxígeno. Solo las plantas verdes y algunas bacterias pueden hacerlo a través de la fotosíntesis y procesos similares. Virtualmente el oxígeno que los humanos respiran es producido por las plantas verdes. Un total de las tres cuartas partes del oxígeno de la Tierra es producido por el fitoplancton en los océanos.

---

<sup>71</sup> *Oxígeno disuelto*. <https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua>. Consulta: noviembre 2017.

<sup>72</sup> Ídem.

- El efecto de la temperatura

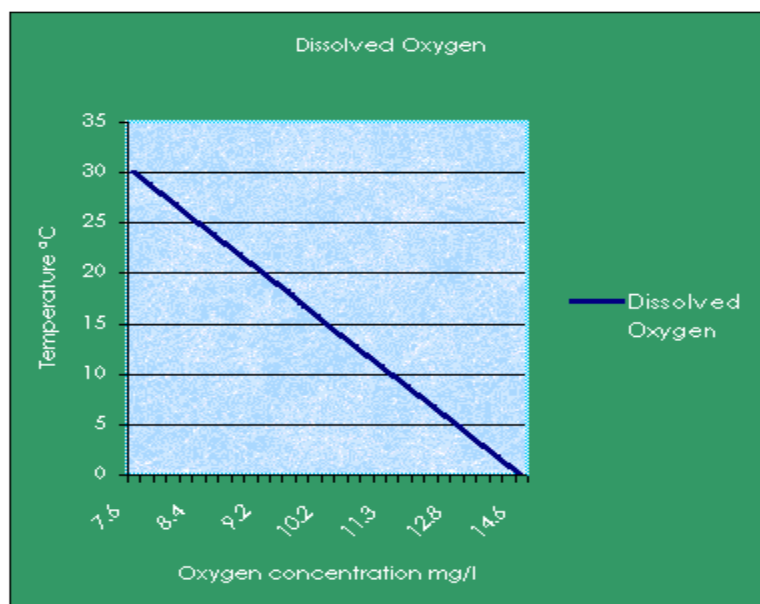
Si el agua está demasiado caliente no habrá suficiente oxígeno en el agua. Cuando hay muchas bacterias o minerales acuáticos en el agua, forman una sobrepoblación, usando el oxígeno disuelto en grandes cantidades. Los niveles de oxígeno también pueden ser reducidos a través de la sobrefertilización de las plantas por la fuga desde los campos de los fertilizantes, conteniendo estos nitratos y fosfatos (son ingredientes de los fertilizantes). Bajo estas condiciones, el número y el tamaño de las plantas acuáticas aumentan en gran cantidad. Entonces, si el agua llega a estar turbia por algunos días, la respiración de las plantas utilizará mucho del oxígeno disuelto disponible. Cuando las plantas mueran, ellas llegarán a ser comida para bacterias, las cuales tendrán alta multiplicación y usarán grandes cantidades de oxígeno.

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua que necesita un organismo depende de la especie de este, su estado físico, la temperatura del agua, los contaminantes presentes y más. Consecuentemente por esto es imposible predecir con precisión el mínimo nivel de oxígeno disuelto en el agua para peces específicos y animales acuáticos. Por ejemplo, a 5°C (41°F), la trucha usa sobre 50-60 miligramos (mg) de oxígeno por hora, a 25°C (77°F) ellas deberían necesitar cinco o seis veces esa cantidad. Los peces son animales de sangre fría, por lo que utilizan más oxígeno en temperaturas altas cuando su velocidad metabólica aumenta.

Numerosos estudios científicos sugieren que 4-5 partes por millón (ppm) de oxígeno disuelto es la mínima cantidad que soportará

una gran y diversa población de peces. El nivel de oxígeno disuelto en las buenas aguas de pesca generalmente tiene una media de 9,0 partes por millón (ppm)<sup>73</sup>. En la gráfica siguiente se puede observar el efecto de la temperatura en el oxígeno disuelto:

Figura 13. **Efectos de temperatura en oxígeno disuelto**



Fuente: Lenntech BV. *¿Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua?* Consulta: noviembre 2017.

- Impacto medioambiental

El total de los gases concentrados en el agua no debería exceder el 110 %. Las concentraciones sobre este nivel pueden ser peligrosas para la vida acuática. Los peces en agua que contiene excesivos gases disueltos podrían sufrir la enfermedad de la

<sup>73</sup> *Oxígeno disuelto*. <https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua>. Consulta: noviembre 2017.

burbuja de gas, sin embargo, esto es de muy rara ocurrencia. Las burbujas o el bloqueo de émbolo que sufre el flujo de la sangre a través de los vasos sanguíneos causan la muerte. Las burbujas externas, llamadas enfisemas, pueden también ocurrir y ser vistas en aletas, en la piel o en otros tejidos. Los invertebrados acuáticos están también afectados por la enfermedad de las burbujas de gas pero en niveles más altos que aquellos letales para los peces.

Un adecuado nivel de oxígeno disuelto es necesario para una buena calidad del agua. El oxígeno es un elemento necesario para todas las formas de vida. Los torrentes naturales para los procesos de purificación requieren unos adecuados niveles de oxígeno para proveer a las formas de vida aeróbicas. Cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua bajan de 5,0 mg/l, la vida acuática es puesta bajo presión. La menor concentración causa la mayor presión. Niveles de oxígeno que continúan debajo de 1-2 mg/l por unas pocas horas pueden resultar en grandes cantidades de peces muertos.

Biológicamente hablando, sin embargo, el nivel del oxígeno es mucho más importante medida de calidad del agua que las coliformes fecales. El oxígeno disuelto es absolutamente esencial para la supervivencia de todos los organismos acuáticos (no solo peces, también invertebrados como cangrejos, almejas, zoo plancton, etc.). Además, el oxígeno afecta a un vasto número de indicadores, no solo bioquímicos, también estéticos como olor, claridad del agua y sabor. Consecuentemente, el oxígeno es quizás el más estabilizado de los indicadores de calidad de agua<sup>74</sup>.

---

<sup>74</sup> *Oxígeno disuelto*. <https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua>. Consulta: noviembre 2017.

- Caudal del río en varios puntos, aguas abajo

Una red de monitoreo hidrológico debe rehabilitarse por orden de importancia con los objetivos siguientes:

- Alerta temprana para control de inundaciones y manejo de embalses.
- Ordenamiento y desarrollo territorial.
- Balances hídricos y gestión integrada de los recursos.
- Usos para el desarrollo productivo: carreteras, puentes, riego, agua potable, generación hidroeléctrica.
- Impacto en los recursos hídricos a sequías y cambio climático.

Los servicios hidrológicos deben realizar monitoreos continuos de los ríos principales del país. La red de monitoreo de cantidad de agua consiste en las siguientes actividades:

- Aforos bimensuales y muestreo de sedimentos en los sitios localizados en la red de estaciones hidrométricas (ubicadas mediante mapas de localización).
- Recopilación de los datos de nivel medidos y grabados en las estaciones hidrométricas automáticas. Posee una computadora que registra en su memoria (con una frecuencia fijada) los datos de nivel medidos por un sistema de flotador o un sensor de presión. Dicha información se colecta mensualmente y se transforma en información de caudales horarios, caudales

promedios diarios, caudales promedio mensuales y caudales máximos instantáneos.

- Recepción y manejo de los datos de niveles medidos en las estaciones hidrométricas de transmisión telemétrica, vía satélite y en tiempo real. Son estaciones del tipo automático que envían la información registrada cada 3 horas a un satélite y es recibida en centros de pronóstico hidrológico, a través de una antena.

El sistema de pronóstico y alerta temprana debe contar al menos con la siguiente red de estaciones:

- Estaciones hidrométricas de transmisión telemétrica
- Estaciones pluviométricas de transmisión telemétrica
- Estaciones climatológicas diarias convencionales
- Estaciones climatológicas horarias convencionales

Los productos que se generan incluyen: pronóstico de nivel para diferentes puntos de acuerdo a la cantidad de estaciones, pronósticos de corto y largo plazo sobre el suministro de agua para los embalses localizados y mapas sobre las potenciales áreas de inundación río abajo de la presa. El pronóstico se realiza a través de una medición de niveles en las estaciones ubicadas en la cuenca media y por medio de correlaciones de niveles y de tiempos de tránsito. Existe un pronóstico del nivel y tiempo de que la crecida alcanzará la cuenca baja y que provocaría inundaciones.

- La generación de sulfuro de hidrógeno y metano en una represa

El primer principio de la termodinámica establece, en palabras muy simples, que la energía no se pierde; se puede transformar, pero no crear o destruir. Y este principio se aplica, obviamente, a los organismos vivos y a la materia orgánica. Cuando un organismo muere, muchos procesos químicos ocurren, que terminan en la transformación del cuerpo en otro tipo de material, en otra forma de energía. Los organismos vivos se componen mayoritariamente de cuatro elementos químicos: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Cuando se construye una represa, grandes cantidades de material orgánico quedan sumergidas, las que sufren un proceso de descomposición que termina con la formación de gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>), que son emitidos a la atmósfera induciendo el efecto invernadero (por lo que se les conoce como GHG, del inglés *greenhouse gases*). Las emisiones de una represa dependen de la profundidad, del tamaño, del ecosistema sobre el cual se construyó, de la temperatura, entre otros factores. Represas de gran altura producen un fenómeno adicional: al pasar el agua por las turbinas y salir de la represa, se produce un cambio en la presión del agua que libera más gases (de manera parecida a cuando se abre una botella de bebida; cambia la presión, liberándose gas). Se estima que el 40 % del CH<sub>4</sub> y el 70 % del CO<sub>2</sub> liberado por las represas se debe precisamente a este fenómeno. Río abajo, continúa el proceso de liberación de gases, el que se puede extender por kilómetros<sup>75</sup>.

Respecto del reservorio de agua, existe liberación de gases en la interfase entre agua y aire, y liberación de gas (principalmente metano) en burbujas, proceso que puede explicar hasta la mitad de la producción de metano solo en el reservorio. En promedio, una represa puede liberar hasta 40 kilogramos de

---

<sup>75</sup> *Sulfuro de hidrógeno y metano*. <https://www.elquintopoder.cl/medio-ambiente/las-represas-hidroelectricas-fabricas-de-gases-invernadero/>. Consulta: diciembre 2017.

CH<sub>4</sub> por kilómetro cuadrado al día, en zonas de alta riqueza de material orgánico, como en un bosque. Si una represa tiene un tamaño de 10 km<sup>2</sup>, puede liberar al año 146 000 kilos de metano en promedio.

Otro concepto importante es el de potencial de calentamiento global o GWP (del inglés Global Warming Potential), y se refiere a que ciertos gases son más poderosos que otros en su capacidad de producir calentamiento global. En este sentido, el metano tiene un valor de GWP de 25 veces más que el CO<sub>2</sub>, a corto plazo, mientras que a largo plazo este valor es de 70 veces más. Usando el valor a corto plazo, una represa teórica de 10 km<sup>2</sup> emitiría, solo en metano, un GWP equivalente al de 3 650 toneladas de CO<sub>2</sub> al año. A este valor hay que sumar el de la emisión de CO<sub>2</sub> propiamente, y el de la emisión de N<sub>2</sub>O, el que tiene un valor de GWP 300 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>. Cálculos de algunos investigadores demuestran que, incluso producir una determinada cantidad de energía mediante hidroelectricidad, al considerar los GHGs emitidos, contamina de igual manera o más comparado a si la misma energía se hubiese obtenido con combustibles fósiles.

Un tercer aspecto, convenientemente olvidado por la defensa de los grandes proyectos hidroeléctricos, es consecuencia directa del llenado de la represa y la construcción de obras asociadas: la deforestación de las especies vegetales acaba con importantes extensiones de sumideros de CO<sub>2</sub>. Cuando un árbol desaparece, lo que desaparece es, desde un punto de vista instrumental, una máquina capaz de absorber CO<sub>2</sub> y, lo que es aún más increíble, transformarlo en oxígeno. Cuando se habla de un solo árbol no pareciera ser gran problema. Pero cuando se habla de kilómetros cuadrados de bosques que quedarán sumergidos, más la tala para la construcción de caminos, son otras varias toneladas de CO<sub>2</sub> que dejan de ser absorbidas y convertidas en oxígeno durante años. La reforestación no compensa esta



pérdida; pueden pasar varios años antes de que un árbol recién plantado llegue a absorber la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que un organismo adulto. Otro daño ecológico de suma importancia es el asociado a la destrucción o alteración de los cauces de los ríos intervenidos por la represa. Material orgánico e inorgánico escapa de la represa y contamina el lecho del río, aumentando las concentraciones locales de carbono y nitrógeno (entre otros elementos).

La alteración de los cauces de los ríos por las represas puede ser catastrófica; existe cierto consenso científico sobre la construcción de la represa de las Tres Gargantas (la más grande del mundo), en China, como la causa de la extinción del Delfín de Agua Dulce del río Yangtsé.

Se puede perder fácilmente la perspectiva respecto a estos números, así que es útil ponerlos en contexto con un ejemplo. Investigadores brasileños han determinado, tanto por modelamientos como con mediciones en terreno, los niveles de emisión de gases GHGs para centrales en su país. Dos ejemplos son las centrales Miranda y Xingó, cuyas superficies son 50,6 km<sup>2</sup> y 60 km<sup>2</sup>, respectivamente (tamaño similar al proyectado por el conjunto de las represas de Hidro Aysén). Ambas represas juntas emiten al año más de 3 620 toneladas de metano, equivalentes a más de 90 600 toneladas de CO<sub>2</sub>. Además, emiten casi 150 mil toneladas de CO<sub>2</sub>. En el contexto global, se estima que las represas contribuyen con cerca del 4 % de los gases GHGs emitidos por el hombre. Incorporar la emisión de metano ha sido difícil; hasta hace menos de cinco años atrás no se había contabilizado al metano emitido por las represas en la suma global. Hoy, los estudios científicos permiten concluir que las emisiones de metano por parte de las represas constituyen entre el 20 % y el 30 % del total emitido por el hombre, y se convierte en la principal fuente antropogénica de este gas.

El ácido sulfhídrico se encuentra naturalmente en petróleo, gas natural, gases volcánicos y manantiales de aguas termales. También puede existir en aguas pantanosas, lagunas o aguas estancadas, desagües, estanques de harina o de aceite de pescado, barcos pesqueros y alcantarillados. Han ocurrido muertes en lagos o lagunas estancadas cuando el ácido sulfhídrico emerge desde las profundidades y alcanza a personas en la superficie. Como este ácido es más denso que el aire se generan fraccionamientos por diferencias de densidad. Generalmente es por descomposición anaerobia de restos orgánicos. También puede ocurrir por degradación bacteriana de materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Así mismo se genera en refinerías de petróleo.

El ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) es un gas inflamable, incoloro, de olor característico a huevos podridos, perceptible en contenidos muy bajos. Este olor proviene de  $H_2S$  generado por descomposición bacteriana de proteínas que contienen azufre. Se lo conoce comúnmente como ácido hidrosulfúrico o gas de alcantarilla. Es uno de los compuestos destacados como causantes de molestias por malos olores. Por esto se han desarrollado diversos procesos de desodorización que lo eliminan de corrientes contaminadas. Ejemplos: los tratamiento de gas con aminas en la industria y la utilización de nitrato de calcio en aguas residuales.

El ácido sulfhídrico es extremadamente nocivo para la salud. Bastan 20-50 partes por millón (ppm) en el aire para causar un malestar agudo que conlleva la asfixia y a la muerte por sobreexposición. Por su grado de toxicidad se le localiza directamente debajo del ácido cianhídrico (HCN). Es habitual que obreros del sector portuario sean afectados con resultados fatales cuando entran en bodegas que han transportado productos derivados de la pesca. En este caso el ácido sulfhídrico proviene de proteínas sulfuradas, la cistina y la cisteína que se degradan a pH ácido y liberan el ácido mencionado.

La exposición a niveles bajos de ácido sulfhídrico puede producir irritación de ojos, nariz o garganta. También es factible que provoque dificultades respiratorias a personas asmáticas. Exposiciones breves a contenidos altos (mayores de 500 ppm) de ácido sulfhídrico pueden causar pérdida del conocimiento y posiblemente la muerte.

En la mayoría de los casos, quienes pierden el conocimiento parecen recuperarse sin padecer otros efectos. Sin embargo, algunas personas parecen sufrir efectos permanentes o a largo plazo, tales como dolor de cabeza, escasa capacidad de concentración, mala memoria y mala función motora. No se han detectado efectos en la salud en personas expuestas al ácido sulfhídrico en los contenidos comúnmente existentes en el ambiente (0,00011-0,00033 ppm). Los científicos no tienen información por la cual se demuestren fallecimientos de personas intoxicadas por ingerir ácido sulfhídrico.

Los científicos poseen poca información acerca de qué sucede cuando la piel de una persona se expone al ácido sulfhídrico. Sin embargo, se sabe que es necesario ser precavidos con el ácido sulfhídrico líquido comprimido, ya que puede causar quemaduras de la piel por congelación.

A pesar de la alta toxicidad del gas sulfhídrico en los mamíferos, muchos microorganismos toleran elevados contenidos de este gas, o incluso se alimentan de él. Hay teorías en las que se relaciona la metabolización del gas sulfhídrico -como existe por ejemplo cerca de fuentes volcánicas subacuáticas- con el desarrollo de la vida en la Tierra.

En el año 2012 se supo de al menos dos casos en los que varias personas parecen haberse intoxicado con ácido sulfhídrico. En uno de ambos casos los resultados fueron fatales.

- Muestreo limnológico de la microflora, microfauna, hierbas acuáticas y organismos bénticos

Al represar un río y crear una laguna, se cambia profundamente la hidrología y limnología del sistema fluvial. Se producen cambios dramáticos en el flujo, la calidad, cantidad y uso del agua, los organismos bióticos y la sedimentación de la cuenca del río. Los proyectos hidroeléctricos, en particular, tienden a crear cambios importantes en los modelos de flujo del río, aguas abajo, porque se controla el almacenamiento y la descarga del agua según los ciclos de demanda energética y no los ciclos hidrológicos, a los cuales el medio ambiente ribereño está adaptado.

La descomposición de la materia orgánica de las tierras inundadas enriquece de alimentos el medio ambiente. Los fertilizantes empleados aguas arriba se suman a los alimentos que se acumulan y se reciclan en el reservorio. Esto soporta no solamente la pesca, sino también el crecimiento de las hierbas acuáticas, como nenúfares y jacintos de agua. Las esteras de hierbas y algas pueden constituir molestias costosas, si obstruyen las salidas de la represa y los canales de riego, destruyen la pesca, limitan la recreación, aumentan los costos de tratamiento del agua, impiden la navegación y aumentan, substancialmente, las pérdidas de agua a causa de la transpiración<sup>76</sup>.

---

<sup>76</sup> VIDAL-ABARCA GUTIÉRREZ, María Rosario. *La limnología: una ciencia de síntesis*. Consulta: diciembre 2017.

Si el terreno inundado tiene muchos árboles y no se le limpia adecuadamente antes de inundarlo, la descomposición de esta vegetación agotará los niveles de oxígeno en el agua. Esto afectará la vida acuática y puede causar grandes pérdidas de pescado. Los productos de la descomposición anaeróbica incluyen el sulfuro de hidrógeno, que es nocivo para los organismos acuáticos y corroe las turbinas de la represa, y el metano que, como se vio anteriormente, es un gas explosivo y de invernadero.

El agotamiento del oxígeno ocurre primero en el agua más profunda, donde el oxígeno empleado por la bacteria en el proceso de descomposición no es reemplazado por la fotosíntesis de las plantas. Si la toma para la generación de energía está ubicada a un nivel bajo del reservorio, el que, usualmente, es el caso, el agua que se libera de las turbinas puede carecer de oxígeno y tener sulfuro de hidrógeno. Además, puede tener un pH inferior y ser más fría que el agua superficial. Al liberar agua con estas características se puede afectar, negativamente, las comunidades de plantas y animales del río debajo de la represa.

Las partículas en suspensión que trae el río se asientan en el reservorio, limitando su capacidad de almacenamiento y su vida, privando el río de los sedimentos, aguas abajo. Muchas áreas agrícolas de las planicies de inundación han dependido siempre de los limos ricos en alimentos para sostener su productividad. Como el sedimento ya no se deposita, aguas abajo, en la planicie de inundación, esta pérdida de alimentos deberá ser compensada mediante el uso de fertilizantes, para mantener la productividad agrícola. La liberación de las aguas libres de sedimento, relativamente, puede lavar el lecho del río, aguas abajo (que puede ser beneficioso, en algunos casos, y perjudicial en otros).

Los efectos adicionales de los cambios en la hidrología de la cuenca del río incluyen las variaciones en el nivel freático, aguas arriba y abajo del reservorio, y la incursión del agua salada a los esteros, causando impactos ecológicos directos y afectando a los usuarios, aguas abajo.

- Medidas de atenuación
  - Limpiar la vegetación lignosa de la zona del reservorio antes de inundarla (eliminar los nutrientes).
  - Disponer medidas para controlar la maleza.
  - Cosechar la vegetación para compost, forraje o biogás.
  - Regular la descarga del agua y manipular los niveles de la misma para desalentar el crecimiento de la maleza.
- Pesca y fauna

Como se ha mencionado anteriormente, la pesca ribereña, usualmente, se deteriora, debido a los cambios en el caudal del río, la degradación de la calidad del agua, la pérdida de los sitios de desove y las barreras que impiden la migración de los peces. Sin embargo, se crean recursos de pesca en el reservorio que, a veces, resultan más productivos que los que hubo anteriormente en el río.

En los ríos que tienen esteros que so, biológicamente productivos los peces y moluscos sufren debido a los cambios en el flujo y la calidad del agua. Las variaciones en el caudal de agua dulce y, por tanto, en la salinidad del estero, cambian la distribución de las especies y los modelos de reproducción de los peces. Las variaciones en la cantidad de alimentos y el deterioro en la calidad del agua del río pueden tener efectos profundos para la productividad

del estero. Estos cambios pueden tener resultados importantes para las especies marinas que se alimentan o pasan parte de su ciclo vitalicio en el estero, o que son influenciadas por los cambios en la calidad de las áreas costaneras.

El mayor impacto para la fauna se originará en la pérdida de hábitat, que ocurre al llenar el reservorio y producirse los cambios en el uso de la tierra de la cuenca. Pueden ser afectados los modelos de migración de la fauna, debido al reservorio y el desarrollo que se relaciona con este. La caza ilegal y la erradicación de las especies consideradas como plagas agrícolas tienen un efecto más selectivo. La fauna y las aves acuáticas, los reptiles y los anfibios pueden prosperar gracias al reservorio. Las represas y los trasvases son la principal razón del por qué el 33 % de las especies de peces de agua dulce del mundo se han extinguido, están en peligro de extinción o son vulnerables. El porcentaje aumenta en países cuyos ríos han sido altamente represados.

Un significativo pero desconocido porcentaje de mariscos, anfibios y especies de plantas y aves que dependen del hábitat de agua dulce también están extintos o en peligro de extinción. Las descargas de agua fría de la presa matan algunas especies de peces y toda la biodiversidad que depende de las inundaciones naturales. Desplaza y mata animales de ecosistemas; elimina humedales, fuentes subterráneas de agua, bosques únicos y la fertilidad de las tierras por los sedimentos naturales que ya no llegan. Con la apertura de caminos para el paso de maquinarias y otras infraestructuras obliga a tumbar más bosques y abre la puerta a los traficantes de madera. Tampoco se busca la reforestación en otros lugares con el fin de mitigar sus impactos. A su vez, los desplazados destruyen más bosques para su reasentamiento eliminando más biodiversidad.

Algunas represas provocaron que muchos animales se quedaran acorralados en pequeñas islas y murieran de hambre. El almacenamiento genera también especies exóticas de plantas, peces, caracoles, insectos y animales que compitan con los nativos. Los embalses bloquean por kilómetros el paso de peces, insectos y animales terrestres hacia el río arriba o río abajo.

- Medidas de atenuación
  - Mantener un flujo mínimo, por lo menos, para la pesca.
  - Instalar gradas para los peces y otros medios para que puedan pasar.
  - Proteger los sitios de desove.
  - Implementar acuicultura y desarrollar la pesca en el reservorio como compensación.
  - Seleccionar el sitio de reasentamiento para evitar que se supere la capacidad de carga de la tierra.
  - Aumentar la productividad o mejorar el manejo de la tierra (mejoramiento de la agricultura, el pastoreo y la silvicultura) para que pueda soportar una población más grande.
- El ganado (especies, números, distribución, condición)

El área de influencia de una represa se extiende desde los límites superiores de obras de toma (presas, desarenadores, cámaras de carga, canales, etc.) y el reservorio, hasta los esteros y las zonas costaneras y costa afuera, e incluyen el reservorio, la represa y la cuenca del río, aguas abajo de las obras de toma. Hay impactos ambientales directos asociados con la construcción de la represa (por ejemplo el polvo, la erosión, problemas con el material prestado y de los desechos), pero los impactos más importantes son el



resultado del embalse del agua, la inundación de la tierra para formar el reservorio y la alteración del caudal de agua más abajo. Estos efectos ejercen impactos directos en los suelos, la vegetación, la fauna y las tierras silvestres, la pesca, el clima y la población humana del área.

Los efectos indirectos de la represa incluyen los que se asocian con la construcción, el mantenimiento y el funcionamiento de la represa (por ejemplo los caminos de acceso, los campamentos de construcción, las líneas de transmisión de energía) y el desarrollo de las actividades agrícolas, industriales o municipales que posibilita la represa.

Además de los efectos directos e indirectos de la construcción de la represa sobre el medio ambiente, se deberán considerar los efectos del medio ambiente sobre la represa. Los principales factores ambientales que afectan el funcionamiento y la vida de la represa son aquellos que se relacionan con el uso de la tierra, el agua y los otros recursos en las áreas de captación aguas arriba del reservorio (por ejemplo la agricultura, la colonización, el desbroce del bosque) que pueden causar una mayor acumulación de limos y cambios en la cantidad y calidad del agua del reservorio y del río. Se tratan estos aspectos en los estudios de ingeniería.

Sin embargo, dichos impactos son mitigados mediante la construcción de los proyectos hidroeléctricos en terrenos que no son utilizados para la ganadería (es decir terrenos planos, potreros), pues por su naturaleza estos proyectos aprovechan las pendientes de los mismos ríos y particularmente se aprovechan las riberas de estos y, en el caso de embalses, se utilizan terrenos que por su topografía permitan el almacenamiento del agua. Adicionalmente, durante la construcción de las obras, el ganado es concentrado en los terrenos destinados para pastoreo, dado que existen riesgos cuando las reses transitan

en las obras en construcción, pues entre otras cosas podrían resbalar y caer al embalse muriendo asfixiadas. Estos efectos pueden ser fácilmente mitigados con la construcción de cercos perimetrales.

- Cambios en la vegetación (cubierta, composición de especies, tasas de crecimiento, biomasa) en la cuenca hidrográfica superior, la zona debajo del reservorio y las áreas aguas abajo

Debe considerarse que la vegetación existente en el valle que ha de ser inundado morirá, se descompondrá y por lo tanto generará una demanda bioquímica de oxígeno muy elevada, lo que podría perjudicar la calidad del agua del embalse por varios años. Ante esto, la mejor solución es limpiar lo mejor posible de vegetación el valle que ha de ser inundado. Una forma de hacerlo es organizando a la población local para que retire todo el material vegetal posible, eventualmente mediante la concesión de un pequeño incentivo y la autorización de utilizar libremente el material retirado. Si la población local es escasa, este servicio deberá ser contratado y debe formar parte de los costos de implementación del embalse, como parte de las obras.

Se prevé que exista una reducción de la agricultura de los terrenos aluviales (recesión) y para esto, como medida de atenuación, se debe regular la liberación de agua de la represa para duplicar, parcialmente, el sistema natural de inundación. El mayor deterioro se produce en la fase de construcción, no solo porque ocupa el lugar donde se emplazará la central misma, sino porque invade un territorio mucho más amplio. Esto se debe a que se requieren construcciones provisionales para acopiar los materiales, lugares para los vehículos, caminos y cierres para el desplazamiento y para no poner en peligro a la población cercana, etc. En esta etapa se contamina el aire, especialmente con el polvo que generan los vehículos y con los gases de sus motores, se

produce mucho ruido con la maquinaria pesada, pero principalmente se despeja la vegetación, destruyendo el hábitat de numerosas especies y ecosistemas. Esta faena puede durar años en los casos de las grandes centrales y hasta aproximadamente un año en las más pequeñas.

En las centrales de embalse se agrava por el deterioro del paisaje y la población que radica en el lugar de inundación. Igualmente reciben el impacto los ecosistemas, los yacimientos arqueológicos que quedarán bajo el agua y las riquezas patrimoniales. Una de las situaciones más conflictivas es la pérdida de flora y fauna que se afecta durante el llenado del embalse, tales como pequeños mamíferos, reptiles, insectos y flora nativa a veces en estado frágil de conservación.

Para atenuar este impacto, el Estudio de Evaluación del Impacto Ambiental (EEIA) considera compensar todas las áreas intervenidas para instalaciones provisionales, caminos de acceso y de las obras mismas, con especies nativas o que se adapten al ecosistema del área intervenida y que incluyen: especies forestales, arbustivas y gramíneas. De igual forma, se utilizan especies vegetativas que por su naturaleza facilitan la protección contra la erosión a los taludes de relleno y corte del embalse, proveyendo además las condiciones necesarias para un clima que restituya la humedad necesaria, y con esto las plantas producen agua durante la respiración celular, cuando convierten los azúcares hechos durante la fotosíntesis en energía utilizable. También mueven el agua desde el suelo al aire a través de la transpiración y consumen agua durante la fotosíntesis.

En términos ambientales, la energía eléctrica proveniente de centrales hidroeléctricas de pequeña escala favorece, principalmente, en la disminución del consumo de productos derivados del petróleo, carbón y leña, reduciendo con ello las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), así como las

afectaciones a las especies vegetales y su depredación, lo cual provoca cambios en la vegetación del sitio.

- Impactos en las tierras silvestres, las especies o las comunidades de plantas de especial importancia ecológica

Las especies de especial importancia ecológica o especies en peligro de extinción deben tener el adecuado tratamiento de acuerdo a las normativas vigentes en Guatemala, las cuales deben ser de minucioso seguimiento y observancia en los proyectos de construcción de hidroeléctricas, cuyo responsable es el profesional encargado de la gestión ambiental.

La Ley de Áreas Protegidas de Guatemala, en su artículo 7, define:

“Son áreas protegidas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales. Que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible”.<sup>77</sup>

Guatemala cuenta con una Ley de Áreas Protegidas desde el año 1989, bajo el Decreto 4-89 del Congreso de la República. Esta se aprobó bajo los siguientes considerandos<sup>78</sup>:

---

<sup>77</sup> SAVIA. *Realidad ecológica de Guatemala*. 2011. Consulta: diciembre 2017.

<sup>78</sup> Ídem.

- “Que la conservación, restauración y manejo de la fauna y flora silvestre de los guatemaltecos es fundamental para el logro de un desarrollo social y económico sostenido del país.
- “Que los recursos de flora y fauna han devenido en franco deterioro, al extremo de que varias especies han desaparecido y otras corren grave riesgo de extinción.”
- “Que la Constitución Política de la República de Guatemala, en su artículo 64, declara de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación y que mediante una ley específica se garantizará la creación y protección de parques nacionales, reservas, los refugios naturales y la fauna y la flora que en ellos exista”.

La declaratoria de áreas protegidas, a lo largo del tiempo, ha sufrido un proceso de cambio, dentro del cual la falta de consulta a las comunidades locales y pueblos indígenas es uno de los factores más polémicos. Esta situación se ha dado en Guatemala y en otros países. A pesar de ello, la crítica a este modelo de conservación debe superarse, a medida que las comunidades y pueblos ancestrales e indígenas se involucren como protagonistas en las propuestas de establecimiento de un área protegida y en la participación directa de su administración.

- Gestión y protección en manos de la comunidad  
 Varias comunidades del país han conservado históricamente territorios con ecosistemas naturales, como parte de su forma de vida. Algunas de estas áreas han sido declaradas en años recientes como protegidas y en la actualidad integran el Sistema

Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP). Otras poblaciones realizan esfuerzos para que sus montañas, bosques, humedales o ríos cuenten con esa herramienta legal para proteger su naturaleza y ecosistemas, en vista de la avalancha de actividades extractivas y de proyectos que los amenazan. A continuación algunos ejemplos donde las comunidades se han organizado y han hecho esfuerzos de conservación y uso sostenible de bosques, cuerpos de agua, reservas ecológicas, manglares en el Pacífico, montañas consideradas captadores de agua, entre otros, por medio de actividades productivas, económicas y culturales de bajo impacto ambiental<sup>79</sup>:

- Los bosques de Totonicapán
- Volcán Chicabal (Quetzaltenango)
- Bosques de Cantel
- Defensa de los manglares del Pacífico
- Montaña de las Granadillas (Zacapa y Chiquimula)

En Guatemala viven 6 mil 159 especies de fauna silvestre y 10 mil 317 de flora silvestre nativa. Sin embargo, a causa de diversos factores, 2 mil 343 de estas están amenazadas de extinción, según datos del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Las más afectadas son las plantas dicotiledóneas (628) y monocotiledóneas (656), aves (194) y reptiles (160). La deforestación, la contaminación del hábitat y la cacería ilegal son las principales causas que hacen vulnerables a ciertas especies de desaparecer. Por esto, se debe fortalecer el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), la institucionalidad ambiental, asignar mayores presupuestos a esta y endurecer

---

<sup>79</sup> SAVIA. *Realidad ecológica de Guatemala*. 2011. Consulta: diciembre 2017.

los castigos por destrucción de la naturaleza y caza ilegal.<sup>80</sup> Las actividades económicas, especialmente las de carácter extractivo, como agricultura, ganadería, pesca, extracción forestal, caza y minería (minerales metálicos y carbón mineral) están relacionados directamente con la pérdida de diversidad biológica, dice el CONAP.

La expansión de monocultivos conlleva la eliminación de cobertura boscosa, movimientos de tierra, drenaje y secado de cuerpos de agua, entre otros. Las especies exóticas invasoras son otra amenaza importante para los ecosistemas. Un ejemplo lo representa el hongo *quitrido* *Batrachochytrium dendrobatidis*, originario de África y responsable de la extinción masiva de las poblaciones de anfibios en América.

En los últimos años, el impacto del cambio climático ha sido drástico en el país, al incrementarse la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos como huracanes, tormentas, depresiones tropicales y sequías, que también afectan de manera directa a la diversidad biológica. La construcción de proyectos hidroeléctricos no se considera dentro de los principales actores en la pérdida de la diversidad biológica, sin embargo se deben dar a conocer cuáles son las especies de especial importancia ecológica en el área de construcción, lo cual debe ser ampliamente descrito y experimentado en el EEIA, así como las medidas de mitigación y erradicación de la extinción de dichas especies.

A continuación se presentan algunas de las principales especies en peligro de extinción en Guatemala:

---

<sup>80</sup> *Flora y fauna de Guatemala*. <http://www.prensalibre.com/vida/salud-y-familia/plantas-y-animales-en-peligro-de-extincion>. Consulta: diciembre 2017.

#### Fauna:

- Jaguar (*Panthera Onca*)
- Tapir o danta (*Tapirus Bairdi*)
- Guacamaya roja (*Ara Macao*)
- Lagartija dragoncito de árbol (*Abronia*)

#### Flora:

- Salamandra (*Bradytriton Silus*)
- Gallitos (*Tillandsia Harrisii*)
- Monja blanca (*Lykaste Skinneri alba*)<sup>81</sup>

A pesar que el tema de protección a las especies de especial importancia ecológica debe ser considerado de manera profunda en el EEIA, a continuación se dan unos consejos básicos que contribuirán a recuperar y conservar estas especies amenazadas y, en general, toda la biodiversidad

- Informarse y concienciarse del problema
- Evitar y denunciar actividades ilegales
- Reducir el impacto en la naturaleza
- Visitar espacios protegidos y ayudar como voluntario
- Consumir de forma sostenible los recursos de la naturaleza
- Conducir con precaución en zonas naturales<sup>82</sup>

---

<sup>81</sup> *Flora y fauna de Guatemala*. <http://www.prensalibre.com/vida/salud-y-familia/plantas-y-animales-en-peligro-de-extincion>. Consulta: diciembre 2017.

<sup>82</sup> Ídem.



- La salud pública y los vectores de las enfermedades

Los estudios entomológicos en las grandes obras de infraestructura hidroeléctrica constituyen una herramienta para la prevención y el control de enfermedades transmitidas por vectores, debido a que con frecuencia las alteraciones causadas en el medio producen aumento de criaderos naturales y artificiales en el área de influencia y, por ende, incremento de las poblaciones de artrópodos, entre ellos, insectos de interés en salud pública.

Se debe realizar estudio y vigilancia de la fauna de Culicidae y Phlebotominae (insectos de tamaño reducido 2 a 4 mm en forma de mosquito cuya picadura es el medio de transmisión de enfermedades infecciosas) en el área de los proyectos hidroeléctricos, por medio de muestreos entomológicos periódicos para la vigilancia en salud pública de las comunidades ubicadas en el área de influencia y en campamentos y frentes de obra. Los adultos deben ser capturados con red para mariposas, trampas de luz Shannon y CDC, y cebo humano protegido.

Algunas de los resultados pueden ser que se encuentren larvas de mosquitos de *Culex Coronator*, *Cx. Nigripalpus*, *Cx. Corniger*, *Cx. Quinquefasciatus* y *Limatus Durhami*. Los depósitos más frecuentes son: tanques bajos, cubetas, llantas y matas sembradas en agua, para *Aedes Aegypti*. En las zonas de bosque se encuentran mosquitos *Aedes*, *Mansonia*, *Culex*, *Psorophora*, *Wyeomyia*, *Phonyomyia*, *Uranotaenia*, *Haemagogus* y *Sabethes*; el principal es *Haemagogus Janthinomis*, eficiente vector de fiebre amarilla en áreas tropicales, como las que predominan en este país. Pueden encontrarse entre los vectores de malaria las principales especies como: *Anopheles Nuñeztovari* y *An. Pseudopunctipennis*.

Existe diversidad de vectores de importancia en salud pública, que es necesario monitorear para minimizar el riesgo de transmisión de enfermedades a los trabajadores de las obras y comunidades aledañas. La construcción de plantas hidroeléctricas y embalses genera efectos sobre la salud y el bienestar de las poblaciones de las áreas de influencia, debido a la modificación de las condiciones ambientales y a fenómenos sociales y económicos que pueden causar cambios en las condiciones de vida y aumentar el riesgo del incremento en la propagación de algunas enfermedades. Uno de los efectos es la proliferación de insectos de importancia en salud pública y de enfermedades transmitidas por éstos, entre ellos, los géneros *Anopheles* (vectores de malaria), *Psorophora* y *Mansonia* (vectores de arbovirus)<sup>83</sup>.

A su vez, los fenómenos de deforestación en las áreas aledañas a la construcción de plantas hidroeléctricas también generan fragmentación de hábitats y desplazamiento de mamíferos silvestres, que constituyen un riesgo para los trabajadores y poblaciones vecinas, ante el contacto con transmisores de enfermedades como las moscas del género *Lutzomyia* (transmisor de *leishmaniasis*), entre otros artrópodos.

Durante la construcción del proyecto hidroeléctrico, se puede registrar principalmente la aparición de brotes de malaria, de intoxicación por alimentos y de hepatitis A, tanto en la población trabajadora como en personas de las comunidades aledañas. Por lo tanto es importante el monitoreo y desarrollar campañas de concientización de higiene en la preparación de alimentos, exámenes de salud periódicos a las personas encargadas de su preparación, así como campañas de vacunación para prevención de hepatitis A.

---

<sup>83</sup> Sobre salud pública.

[www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/668/1718](http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/668/1718). Consulta: diciembre 2017.

Posteriormente, se deben llevar a cabo otros estudios que darán continuidad a los realizados para la vigilancia epidemiológica en las zonas de construcción de proyectos hidroeléctricos en el país. Así, estos presentan los resultados referentes al registro de la fauna de insectos de importancia en salud pública y a la vigilancia entomológica de vectores de enfermedades antes y durante la construcción de los proyectos hidroeléctricos.

- **Materiales y métodos**

Los muestreos se deben llevar a cabo en cuatro etapas, tres de ellas con duración de varios años si fuera necesario, con diferentes métodos de captura y dirigidos a hacer el inventario de la fauna de especies de la zona y la vigilancia entomológica de los vectores de enfermedades (ver figura 15).

**Figura 14. Monitoreos entomológicos según etapas del proyecto hidroeléctrico**

Etapa y años de muestreo	Lugares	Periodicidad del muestreo	Muestreo para	Método de muestreo
Antes de inversión al proyecto	Comunidades de influencia	Muestreos mensuales para levantamientos de especies, durante 6 meses	<i>Aedes aegypti</i> mosquitos silvestres diurnos, <i>Lutzomyia</i> , <i>Anopheles</i>	Levantamiento de índices. 2 redes de mariposas 2 personas. 2 trampas Muestreo larvario con cucharón, 2 trampas
Construcción de Obras civiles y de infraestructura	Comunidades de influencia, Campamentos y frentes de obra	Trimestral	<i>Aedes aegypti</i> , Levantamiento de mosquitos de regimientos domésticos, Mosquitos	Levantamiento de índices. Muestreo larvario con cucharón, 2 redes de mariposas 2 personas. 4 trampas.

Continuación, Figura 14

			diurnos, <i>Lutzomyia</i> , <i>Anopheles</i>	protegido 2 personas. Muestreo larvario con cucharón, 4 trampas.
Construcción de Obras principales	Comunidades de influencia, Campamentos y frentes de obra	Trimestral	<i>Aedes aegypti</i> , Mosquitos de recipientes domésticos, <i>Lutzomyia</i> ,	Levantamiento de índices. Muestreo larvario con cucharón, 4 trampas. Cebo humano protegido 2 personas. Muestreo larvario con cucharón, 4 trampas. Cebo humano protegido 2 personas.

Fuente: elaboración propia.

Los sitios de toma de muestras se deben determinar teniendo en cuenta: las poblaciones humanas del área de influencia, los niveles de altitud, la cobertura vegetal, la cercanía a los frentes de obra y la percepción de los trabajadores sobre sitios donde pican los insectos. La captura de mosquitos diurnos debe hacerse en los bosques secundarios aledaños a los campamentos y comunidades de las veredas vecinas, con red para mariposas entre las 10:00 y 12:00, y las 15:00 y 17:30, por dos personas que usen manga larga y pantalón largo.

La captura de *Lutzomyia* Spp se debe hacer para el levantamiento de las especies en los sitios especificados previamente y deben llevarse a cabo en al menos 15 puntos de muestreo ubicados entre los niveles máximo y mínimo de desarrollo del proyecto. La recolección de ejemplares se debe llevar a cabo durante una o dos noches en cada lugar, con trampa de luz CDC entre las

18:00 y 06:00, con trampa de luz Shannon entre las 18:00 y 21:00, y con cebo humano protegido entre las 18:00 y 21:00. Para la captura en cebo humano debe haber dos personas investigadoras del estudio con protección adecuada, camisa de manga larga y pantalón largo y con repelente en las partes expuestas (manos, cara y cuello), deben sentarse a esperar la llegada de los insectos, los cuales son recolectados con aspirador bucal y ayuda de una linterna. En ningún momento se deben emplear auxiliares de campo ni personas de la comunidad para la recolección de insectos.

- La migración de la gente hacia el área y fuera de ella

Los cambios o alteraciones de la gente que vive en la zona inundada son parte de los cambios que provocan los proyectos hidroeléctricos, para lo cual se deben considerar medidas de mitigación, disminuyendo así los impactos negativos que de estas acciones puedan surgir. Dentro de estas medidas se pueden considerar:

- Reubicar a la gente en un área adecuada, previamente definida en la etapa de factibilidad del proyecto.
- Proveer compensación en especie por los recursos perdidos, si este fuera el motivo del cambio.
- Proporcionar los servicios adecuados de salud, infraestructura y oportunidades de empleo.

El trastorno social y reducción del nivel de vida de la gente reasentada puede ser otro impacto importante a considerar, para lo cual se deben tomar como mínimo las siguientes medidas de mitigación:

- Mantener el nivel de vida, asegurando que el acceso a los recursos sea, por lo menos, igual a lo que se perdió.
- Proveer servicios sanitarios y sociales a la población afectada.

Existen otro tipo de intervenciones a las comunidades aledañas a los proyectos hidroeléctricos, tal es el caso del trastorno o destrucción de los grupos indígenas y tribus asentadas en el área de proyecto, lo cual se puede mitigar evitando el desplazamiento de las personas no asimilables culturalmente; donde esto no sea posible, debe intentarse reubicarlas en un área que les permita mantener su estilo de vida y costumbres. Paralelamente y en contraste se puede dar la migración incontrolada de la gente hacia el área, debido a los caminos de acceso y las líneas de transmisión, esto debe ser atenuado limitando el acceso, implementando desarrollo rural y de servicios de salud para tratar de reducir el impacto.

- Cambios en el estado económico y social de las poblaciones reasentadas y la gente que permanece en la cuenca
  - Económico
 

La implementación de microcentrales contribuye a la reducción de la pobreza, puesto que los comunitarios reducen sus gastos en energéticos (velas, querosén, GLP, pilas y electricidad), lo que equivale a ahorro significativo por familia al mes. Este beneficio afecta incluso a las familias que no cuentan con electricidad en sus hogares. Además se genera un puesto de trabajo como operador.

Para realizar una estimación de la reducción de la pobreza en la comunidad, sin tener en cuenta el posible aumento de ingresos por actividades productivas, se puede comparar el flujo de dinero que sale de la comunidad por gastos energéticos antes y después del proyecto. Hay que señalar que se están comparando costos de dos servicios energéticos incomparables en términos de calidad del combustible y prestaciones.

Para estimar la incidencia económica en las comunidades, en primer lugar se debe calcular el dinero que hoy en día estaría gastando la comunidad en energéticos si estuviese consumiendo al mismo nivel que antes del proyecto, multiplicando el número de familias por el gasto familiar previo en energéticos (a precios actuales), uno de los indicadores que hay de cada comunidad.

Después se calcula el gasto actual en energía, tanto por tarifas como por gastos residuales en energéticos de familias conectadas y no conectadas. Estos valores se pueden extraer de los resultados de encuestas. Respecto al aumento de ingresos domésticos, su incidencia es menor y no es generalizada, pues depende mucho de la actividad productiva a la que se dedica cada comunitario, siendo más importante este aumento en el caso de tiendas, pensiones donde se sirven comidas y servicios dirigidos a turistas. Los procesos productivos proyectados no han tenido éxito y no han contribuido prácticamente al aumento de la productividad, debido tanto a fallos en las máquinas como a la no priorización por parte de los comunitarios de esa actividad. Sin embargo, indirectamente la disponibilidad de electricidad sí fomenta la mejora de muchos negocios ya existentes como

tiendas, pensiones, alojamientos para visitantes, aumentando su nivel de ingresos. Asimismo, permite la apertura de varios talleres (para automóviles y metal-mecánicos).

- Social

La implementación de microcentrales hidroeléctricas en comunidades aisladas tiene una serie de resultados que provocan un impacto importante en el ámbito social. La mayoría de estos resultados son indirectos, pues el servicio eléctrico permite que se mejoren muchos aspectos.

Los estudiantes están entre los más beneficiados por los proyectos, pues mejoran sus condiciones y aumentan su tiempo de estudio en el hogar y disponen de mejores centros educativos, con buena iluminación y nuevos equipos como computadoras y televisores. También mejoran las condiciones de los docentes y se realizan cursos de alfabetización con material audiovisual y otras ayudas que promueven el desarrollo del área.

En la salud existen mejoras en el ámbito doméstico, con la reducción de la incidencia de afecciones oculares y respiratorias – y en menor medida accidentes– causados por la combustión de velas, querosén y GLP (gas licuado de petróleo) en lámpara. En las comunidades donde hay centros de salud, se ha mejorado la atención al paciente y las condiciones de trabajo gracias a la iluminación de calidad y a la adquisición de equipo médico moderno.



En el hogar se mejora notablemente la calidad de vida. Por una parte hay una serie de beneficios derivados de disponer de iluminación económica y de gran calidad, intensidad y comodidad de uso, como son el aumento de la higiene en el hogar (por ejemplo al cocinar) y la mayor disponibilidad de tiempo, pues las familias se acuestan 1 hora y media más tarde en promedio. Por otro lado, se dispone de energía eléctrica para conectar cualquier tipo de electrodoméstico. El uso de refrigeradoras y licuadoras, también si se da solo en las tiendas, amplía la gama de alimentos disponibles, mejorando la alimentación familiar. La utilización de televisión ofrece entretenimiento e información audiovisual sobre la actualidad nacional u otros temas de interés de los comunitarios, aumentando así su conocimiento. Sin embargo, la televisión también tiene un impacto negativo: en primer lugar puede reducir el rendimiento académico de los alumnos, en segundo lugar afecta negativamente a la comunicación intrafamiliar y finalmente fomenta valores ajenos a la comunidad (como el consumismo o el individualismo) y muestra modelos de comportamiento que pueden influir negativamente sobre los espectadores, como es el caso de muchas de las populares telenovelas.

Los usos comunales de la electricidad también conllevan una serie de mejoras. La iluminación de calidad y uso de aparatos eléctricos mejora la calidad y la cantidad de reuniones y fiestas. La iluminación en la plaza y en las calles de la población aumenta por una parte la vida social y la comunicación entre los comunitarios, además de ofrecer más actividades de tiempo libre, sobre todo a los niños. Por otra parte, la claridad en las calles aumenta el

control social y se reducen los robos y actitudes indeseables que normalmente provenían de personas ajenas a la comunidad. También protege a los comunitarios de animales salvajes peligrosos como las víboras o tarántulas y evita caídas al caminar en la noche.

Este conjunto de mejoras contribuye a la interrelación de la comunidad y a frenar la emigración de los jóvenes comunitarios a la ciudad en busca de mejores condiciones de estudio o trabajo, evitando así la pérdida de las personas más valiosas para el futuro de la comunidad y fortaleciendo el tejido social. Analizando los impactos desde la perspectiva de género, se puede observar que los resultados en educación contribuyen a la equidad de género, pues las alumnas son las que más porcentaje de estudio realizan en la noche y las mujeres son las participantes mayoritarias en los cursos de alfabetización. En cambio la esperada reducción de la carga de trabajo que suponen las tareas del hogar –realizadas principalmente por las mujeres– no ha tenido una incidencia significativa. La razón es que, a pesar de la mejora de condiciones para el trabajo del hogar, también se amplía el tiempo durante el que las mujeres deben atender a sus familias. Un problema que se da en algunos lugares es que la potencia no abastece a todas las familias, sobre todo en la época seca. Por esta razón, hay familias que no disponen de servicio eléctrico y son así excluidas de parte de los beneficios descritos anteriormente.

## CONCLUSIONES

1. Ampliar los conocimientos de los ingenieros constructores, en relación a los componentes, tipos y capacidades de las plantas hidroeléctricas y sus debidos monitoreos medioambientales, de acuerdo a dichas características.
2. Al planear un proyecto hidroeléctrico los planificadores y diseñadores deben contar con la experiencia y habilidad, no solamente en la parte técnico-constructiva sino en la medioambiental, ya que ellos son los encargados de realizar los lineamientos a seguir durante todo el proceso de investigaciones y decisiones a tomar para la realización satisfactoria del plan del proyecto, el cual debe incluir los estudios medioambientales, previo a emitir los lineamientos para su debido monitoreo en la fase de factibilidad del proyecto.
3. Dar a conocer a los profesionales constructores las normativas aplicables en Guatemala en relación a los requerimientos legales con que se debe cumplir básicamente antes y durante la construcción de un proyecto hidroeléctrico.
4. Por medio del presente trabajo de graduación, facilitar al profesional de la construcción las herramientas necesarias para identificar y dar el debido seguimiento en la obra durante la construcción de un proyecto hidroeléctrico, dándole la importancia necesaria al tema medioambiental por medio del seguimiento del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental a través del Plan de Gestión Ambiental específico.

5. Es útil profundizar en el tema de monitoreos medioambientales, creando conciencia y dando especial énfasis en que los parámetros a medir son parte importante en el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico y parte esencial para su adecuada terminación, e impulsando además al desarrollador en el análisis y comprensión con relación a que dichos monitoreos, todo lo cual dependerá de la situación geográfica, altura, morfología del terreno y aspectos de tipo social en el sitio de construcción.

## RECOMENDACIONES

1. Orientar a los estudiantes de ingeniería civil durante su preparación académica universitaria, motivándolos a que investiguen con relación a proyectos de construcción de hidroeléctricas, con el objetivo de adquirir conocimientos sobre las partes que los conforman y los factores que influyen en la planificación, con el propósito de incrementar conocimientos sobre este tema.
2. Dada la cantidad de recursos disponibles en Guatemala, la demanda que existe de construcción de proyectos en que se involucre el uso de recursos renovables y el alza en los precios de los combustibles para generar energía, se considera necesario implementar cursos a los estudiantes de ingeniería civil, relacionados con el medioambiente, planificación y construcción de hidroeléctricas, pues cada vez toman más auge dichos proyectos.
3. Promover la realización de proyectos hidroeléctricos, ya que actualmente son los que ofrecen la energía eléctrica con menos índices de contaminación, en comparación con los medios de generación eléctrica con combustibles fósiles. Sin embargo, es importante no descuidar el tema medioambiental para mantener estas condiciones y la parte social que tanto daño ha causado al buen desarrollo de este tipo de proyectos al haber sido desatendidos.
4. Obtener resultados positivos con relación al tema medioambiental, es de suma importancia que se lleven a cabo todos los monitoreos necesarios,

primordialmente en la etapa de construcción, con el objetivo de minimizar o eliminar los impactos negativos que puedan ir en deterioro de la ejecución, lo cual además deberá ser cuantificado en la etapa de factibilidad, para evitar que haya resistencia a estos debido a los costos que podrían generar.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo 229-2014. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*. Guatemala: Ministerio de Trabajo y Previsión Social, 2014. 82 p.
2. ALDANA GUZMAN, Astrid Beatriz. *Análisis de los requisitos legales para la construcción y operación de una central hidroeléctrica en Guatemala*. Trabajo de graduación de abogada y notaria. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad Rafael Landívar de Guatemala, 2012. 163 p.
3. Banco Mundial. *Guías ambientales de salud y seguridad del IFC (Corporación Financiera Internacional)*. Estados Unidos: IFC, 2007. 116 p.
4. CARÍAS VEGA, Dora. *Estudio de impacto ambiental P.H. Reventazón*. Costa Rica: EEIA, 2008. 303 p.
5. CARRASCO, Jorge. *Erosión y manejo de aguas. Técnicas y prácticas productivas de conservación de suelos*. Chile: Boletín, 1995, 35 p.
6. CRUZ BARRIOS, José Ademar. *Metodología a seguir para la planificación de un proyecto hidroeléctrico antes de su implementación en Guatemala*. Trabajo de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003, 128 p.

7. Decreto Número 101-96 del Congreso de la República de Guatemala. *Ley Forestal*. Guatemala: Constitución Política de la República de Guatemala. Octubre, 1996. 23 p.
8. ECODESA. Manuel Bastarrechea Asociados, S. A. *Manual de buenas prácticas para proyectos hidroeléctricos. Elaboración de herramientas y metodologías prácticas para el manejo de la cartera de estudios de evaluación de impacto ambiental -EIA-*. Guatemala: Consultoría del CONAP, 2008. 59 p.
9. Energía y Renovación. *Plan de control ambiental y de impactos de proyectos hidroeléctrica Pojom II y San Andrés*. Guatemala: Plan de Control Ambiental y de Impactos, 2013. 50 p.
10. GUDIEL SANDOVAL, Marco Fabio. *Análisis de optimización financiera del proyecto hidroeléctrico El Camalote, Municipio de Melchor de Mencos, Departamento de Petén*. Trabajo de graduación de posgrado de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Estudios de Posgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 194 p.
11. GUDIEL SANDOVAL, Marco Fabio. *Ministerio de Energía y Minas. Regulación, retos y evaluación de proyectos hidroeléctricos, 4ta convención de energía renovable y eficiencia energética*. Guatemala: Investigación, 2011. 26 p.
12. HENDRICKS, David W. *Impactos de las represas en la calidad del agua. Capítulo 11*. México: Editorial BVSDE, 1977. 29 p.



13. HUESO GONZÁLEZ, Andrés. *Estudio sobre el impacto social, económico y ambiental de pequeñas centrales hidroeléctricas implantadas en comunidades rurales de La Paz, Bolivia*. Trabajo de graduación de ingeniero industrial. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia. Bolivia, 2007. 365 p.
14. IBERDROLA. *Estudio de impacto ambiental de la central hidroeléctrica San Pedro II, Provincia de Ourense*. España: EEIA, Memoria, 2007. 245 p.
15. IGLESIAS CARVAJAL, Santiago. *Guía de impacto ambiental para centrales hidroeléctricas*. Colombia: Guía EEIA, 2011. 55 p.
16. Instituto Guatemalteco de Seguridad Social. *Acuerdo 1414. Protección relativa a accidentes en general y de artículos 198 y 204 del Código de Trabajo*. Guatemala: Acuerdo IGSS, 1969. 7 p.
17. Instituto Nacional de Estadística, Dirección de Censos y Encuestas. *Proyecciones de población y lugares poblados con base al XI censo de población y VI de Habitación 2001, período 2000-2020*. Guatemala: Publicación, 2006. 10 p.
18. JUÁREZ HERRERA, Nelson Enrique. *Mejoramiento del medio ambiente, a través de programas de desarrollo limpio en una hidroeléctrica*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad

de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011.  
118 p.

19. MOSCOSO MARÍN, Luz Bibiana; MONTEALEGRE TORRES, Jorge Luis. *Impactos en la flora terrestre por la implementación de pequeñas centrales hidroeléctricas en Alejandría, Antioquía*. Colombia, 2013. 10 p.
20. MOUTHON BELLO, Alberto Federico, et al. *Manual de evaluación de estudios ambientales: criterios y procedimientos*. Colombia: Editorial Convenio Andres Bello (CAB), 2002. 252 p.
21. ORDOÑEZ PARRINI, Rodolfo Alexis. *Metodología de identificación de impactos ambientales en pequeñas centrales hidroeléctricas de pasada en cauces naturales, estudio de caso*. Trabajo de graduación de ingeniero civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, 2011. 120 p.
22. PALACIOS TEJADA, Moisés Orlando. *Estudio de prefactibilidad para la construcción y operación de la pequeña central hidroeléctrica, Río La Virgen en el Municipio de Masagua, Escuintla, Guatemala*. Trabajo de graduación de postgrado, Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Estudios de Postgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 134 p.
23. PÉREZ DE LA CRUZ, Francisco Javier. *Proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico del embalse del Torcón*. España: Memoria de Labores, 2002. 174 p.

24. RAMÍREZ GALVIS, Sandro A. *Propuesta administrativa para la sección ambiental del proyecto hidroeléctrico Tumarín, Nicaragua*. Trabajo de graduación de administrador del medio ambiente. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009. 132 p.
25. REY ROSA, Magalí / SAVIA. *Realidad ecológica de Guatemala*. 2ª. ed. Guatemala: Publicación SAVIA 2011. 40 p.
26. REYES ÁVILA, Silvia P. *La obligación de someter a consulta popular decisiones políticas*. Trabajo de graduación de licenciada en ciencias jurídicas y sociales. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 123 p.
27. SIMEÓN ECHEVERRÍA, César; ESTRADA, Marta. *Medición del potencial hidrológico para generación de energía renovable, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala*. Guatemala: Serie Técnica, 2013. 48 p.
28. VIDAL-ABARCA GUTIÉRREZ, Rosario. *La limnología, una ciencia de síntesis: conceptos y breve historia de la limnología*. España: Definicion, 2005. 7 p.
29. VILLAGRÁN, Carlos; WALSH. *EIA integrado del proyecto central de hidroeléctrica*. Perú: SN POWER, 2017. 19 p.



## ANEXOS

### Anexo 1. Modelo de medidas protectoras y correctoras de fase de construcción de un proyecto hidroeléctrico

Elemento del Medio	Impacto generado	Medidas protectoras/correctoras a aplicar
Geología y Edafología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios de relieve</li> <li>• Incremento de los riesgos geológicos</li> <li>• Eliminación de suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se realizaron sondeos previos con objeto de determinar las características constructivas de la roca y evitar riesgos.</li> <li>– Se utilizarán al máximo las superficies que en la actualidad se encuentran ya intervenidas.</li> <li>– Durante el replanteo de las zonas de actuación se realizará el jalonamiento de las áreas de ocupación estrictas en superficie de los elementos proyectados y de las zonas auxiliares de obra.</li> <li>– Se aprovechará al máximo de la red de caminos existentes.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la dinámica erosión-sedimentación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se utilizarán al máximo las superficies que en la actualidad se encuentran ya intervenidas.</li> <li>– Se proponen como lugares de localización para el depósito de excedentes, para las instalaciones auxiliares y el parque de maquinaria: zonas de mínima pendiente, protegidas de riesgos de deslizamiento, de inundación y de arrastres por efecto de la lluvia, y protegidas de zonas de paso de maquinaria. En este sentido y en la medida de lo posible, para las instalaciones auxiliares se utilizarán áreas asociadas a las infraestructuras existentes de la presa de San Pedro.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación del suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se controlará que sólo son afectadas las zonas definidas específicamente para la obra.</li> <li>– Las tareas de mantenimiento de equipos y maquinaria móvil se realizará fuera de la zona de obra, en instalaciones adecuadas a tal fin.</li> <li>– Gestión de los residuos conforme a su naturaleza y según normativa vigente.</li> <li>– Los residuos peligrosos deberán ser entregados a gestor autorizado.</li> <li>– Se prestará especial atención a los aceites provenientes de los equipos y maquinaria, que se recogerán en contenedores adecuados y se entregarán a un gestor autorizado conforme a la legislación vigente (<i>Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados</i>).</li> </ul>
Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación y/o alteración de la calidad de las aguas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Construcción de ataguías en la zona del desagüe y de la toma para evitar afecciones al cauce.</li> <li>– No se permitirá que las hormigoneras descarguen el sobrante de hormigón ni limpien el contenido de las cubas en zonas de obras no autorizadas.</li> <li>– No se realizarán labores de mantenimiento de maquinaria en las zonas de obra.</li> <li>– Se evitará cualquier acción que pueda provocar vertidos al cauce.</li> <li>– No se localizarán zonas de almacenamiento de</li> </ul>

Continuación anexo 1.

		<p>materiales y sustancias cerca del cauce.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se utilizarán exclusivamente los viales previstos para las obras, prohibiéndose la circulación fuera de ellos.</li> <li>- La construcción de la atagüa de aguas arriba se realizará mediante la bajada de cota planificada con antelación y en coordinación con el órgano competente evitando descensos bruscos.</li> <li>- Se realizarán controles periódicos de la calidad de las aguas en colaboración con técnicos de la Conselleria de Medio Ambiente o quien en su momento se determine.</li> </ul>
Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la calidad del aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se evitará en lo posible el levantamiento de polvo tanto en la zona de la construcción como en el transporte, para lo que se regarán las superficies procurando que tengan el grado de humedad necesario.</li> <li>- Se revisarán periódicamente los vehículos y maquinaria utilizada durante la ejecución de las obras, llevando a cabo una puesta a punto de aquéllos en los que se detecten desajustes, y reparando los que presenten avería o rotura.</li> <li>- Se cumplirá en todo momento lo establecido por la Dirección General de Tráfico en lo referente a lo reglamentado sobre Inspección Técnica de Vehículos (I.T.V.).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de niveles sonoros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los motores de la maquinaria se tendrán en perfecta puesta a punto, con el fin de reducir los ruidos generados por su tránsito.</li> <li>- Se limitará la velocidad de los camiones en la zona de obra, evitando las aceleraciones y frenadas fuertes.</li> <li>- Toda la maquinaria utilizada estará homologada y cumplirá la normativa existente sobre emisión de ruidos. Por tanto las emisiones sonoras se deberán ajustar a lo establecido en el <i>Real Decreto 245/1989, de 27 de febrero, sobre determinación y limitación de la potencia acústica admisible de determinado material y maquinaria de obra.</i></li> <li>- Las obras se realizarán conforme a lo establecido en la <i>Lei 7/1997, de 11 de agosto, contra a Contaminación Acústica</i> y <i>Decreto 150/1999, do 7 de maio, polo que se aproba o Regulamento de protección contra a contaminación acústica.</i> Para ello se analizará la necesidad de realizar un control de ruidos en el exterior en las fases más ruidosas de las obras.</li> <li>- En el Plan de Voladuras se contemplarán medidas específicas para mitigar el impacto por ruido.</li> </ul>

Continuación anexo 1.

<p>Vegetación y hábitat naturales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación de la vegetación</li> <li>• Degradación de la vegetación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sólo se eliminará la vegetación que sea imprescindible.</li> <li>- Aquellos ejemplares arbóreos y/o arbustivos que resulte necesario eliminar deberán ser marcados antes del inicio de las obras por los responsables del PVA.</li> <li>- Se controlará que los vehículos discurran exclusivamente por los viales definidos para las obras.</li> <li>- Control del transporte de los excedentes (escombros, tierra, materiales pulverulentos) a las zonas de depósito (control del tránsito y control de la carga).</li> <li>- Los desbroces, cortas y clareos de superficies con vegetación, no podrán llevarse a cabo mediante incendios controlados.</li> <li>- Al finalizar las obras se llevarán a cabo medidas de restauración, revegetación y acondicionamiento paisajístico para las zonas afectadas por las obras.</li> <li>- Se prevé una restauración de las zonas que sean utilizadas como depósito de excentes consiguiendo una mejora sobre la situación inicial.</li> <li>-</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteración o disminución de las superficie de hábitat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muchas de las medidas a aplicar sobre otros elementos, fundamentalmente sobre la vegetación e hidrología, repercutirán en la protección de los hábitat faunísticos.</li> <li>- Se eliminará la vegetación sólo en aquellos lugares donde sea imprescindible.</li> <li>- Se evitará cualquier acción que pueda provocar vertidos al cauce.</li> <li>-</li> </ul>
<p>Fauna</p>	<p>Impactos sobre <u>fauna acuática</u>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Afección por contaminación de las agua (cambio de la turbidez del agua y sus condiciones físico-químicas)</li> <li>• Alteraciones de comportamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se construirá una ataguía en la zona del desagüe para dejar en seco la zona de obra y evitar afecciones al cauce. Dicha ataguía provisional ocupará una parte muy reducida del cauce en su margen izquierda reduciendo temporalmente la anchura del cauce sin que se impida el paso de la fauna piscícola.</li> <li>- La construcción de la ataguía de aguas arriba se realizará mediante la bajada de cota planificada con antelación y en coordinación con el órgano competente evitando descensos bruscos.</li> <li>- Se evitarán los vertidos de áridos al cauce.</li> <li>- Los posibles vertidos accidentales (hormigón, aceites, productos químicos, residuos sólidos, etc.) serán recogidos en el pozo de achique de la central y en los cubetos instalados a tal fin</li> <li>- Muchas de las medidas a aplicar sobre otros elementos, tales como la vegetación y la hidrología, principalmente, repercutirán en protección de la fauna.</li> </ul>

Continuación anexo 1.

	<p>Impactos sobre <u>fauna terrestre</u>, avifauna y quirópteros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación directa de ejemplares</li> <li>• Alteraciones de comportamiento</li> <li>• Molestias a aves y quirópteros por voladuras, ruidos y vibraciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se ha realizado un reconocimiento de la fauna del entorno y que ha sido incluido en el EsIA. Se ha prestado especial atención a las especies presentes más sensibles como el Halcón peregrino y los quirópteros.</li> <li>- El inicio de las acciones más impactantes en cuanto a ruidos (voladuras y grandes movimientos de tierras) se realizarán de manera que no interfieran con la nidificación de las rapaces y de cría de los quirópteros..</li> <li>- En el Plan de Voladuras se contemplarán medidas específicas para mitigar el impacto por ruido.</li> <li>- Las obras se realizarán conforme a lo establecido en la <i>Ley 7/1997, de 11 de agosto, contra la Contaminación Acústica</i> y <i>Decreto 150/1999, de 7 de mayo, polo que se aproba o Reglamento de protección contra a contaminación acústica</i>. Para ello se analizará la necesidad de realizar un control de ruidos en el exterior en las fases más ruidosas de las obras.</li> <li>-</li> <li>- Control del transporte de los excedentes (escombros, tierra, materiales pulverulentos) a las zonas de depósito (control del tránsito y control de la carga). La zona a utilizar como depósito principal queda situada a 10 km de la obra.</li> </ul>
<p>Medio Socioeconómico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molestias a la población por incremento del tráfico y construcción en general</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se realizarán las obras en el menor tiempo posible.</li> <li>- Se planificará adecuadamente el flujo de vehículos para el transporte de materiales y maquinaria.</li> <li>- Las obras se realizarán conforme a lo establecido en la <i>Ley 7/1997, de 11 de agosto, contra la Contaminación Acústica</i> y <i>Decreto 150/1999, de 7 de mayo, polo que se aproba o Reglamento de protección contra a contaminación acústica</i>. Se analizará la necesidad de realizar un control de ruidos en el exterior en las fases más ruidosas de las obras.</li> <li>- En el Plan de Voladuras se contemplarán medidas específicas para mitigar el impacto por ruido, estando de acuerdo a lo establecido en la <i>Ley 7/1997, de 11 de agosto, contra la Contaminación Acústica</i> y <i>Decreto 150/1999, de 7 de mayo, polo que se aproba o Reglamento de protección contra a contaminación acústica</i>.</li> <li>- Se procederá durante las obras a una adecuada señalización de los viales, sobre todo desde el núcleo de Os Peares, hasta las obras, indicando las restricciones que pudieran existir.</li> <li>-</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afecciones a las propiedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se rehabilitarán los daños que se pudieran ocasionar a las propiedades durante la construcción.</li> </ul>



Continuación anexo 1.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afección al turismo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Las medidas relacionadas con la protección de los valores naturales del entorno y evitar las afecciones a las poblaciones próximas relacionadas con el enmascaramiento de la instalación (ver medidas de protección del paisaje) inciden directamente en la disminución de la posible afección sobre el turismo.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influencia sobre las infraestructuras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se planificará adecuadamente el flujo de vehículos para el transporte de materiales, maquinaria, etc., con el fin de incidir lo menos posible sobre la red de carreteras locales de acceso a las distintas zonas de obra. Esto supondrá respetar las señalizaciones existentes, controlar el estado de los vehículos para evitar ruidos y humos innecesarios y cubrir con lonas los materiales transportados para evitar la emisión de polvo.</li> <li>– En cuanto a la autovía A-76, a pesar de ser improbable la ejecución de la alternativa más próxima a la CH San Pedro II por ser menos favorable ambientalmente, se prevé, en caso de solaparse la fase de obras de ambos proyectos, tener en cuenta una adecuada coordinación y medidas específicas para el control del tránsito en la zona para evitar afecciones en la circulación de vehículos y en el trasiego de materiales hacia la zona de obras.</li> </ul>
Espacios naturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos sobre los espacios naturales y zonas de interés natural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Todas las medidas previstas en concreto para la protección de la fauna, la flora y los hábitat repercutirán en la preservación de los valores naturales del entorno de la instalación.</li> </ul>
Patrimonio histórico-artístico y arqueológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos sobre el patrimonio histórico-artístico y arqueológico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se llevarán a cabo las medidas preventivas y correctoras establecidas en el "Estudio de Impacto Cultural del proyecto de Central Hidroeléctrica San Pedro II (Ourense)", realizado al efecto por técnicos arqueólogos competentes e incluido en el Anexo 5 del Esta.</li> </ul>
Riesgos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto por situaciones accidentales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– La observación de las medidas previstas en fase de construcción, conforme a un Plan de Seguridad y Salud, para evitar riesgos impedirán que se produzcan situaciones accidentales.</li> <li>–</li> </ul>
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto sobre el paisaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Las instalaciones provisionales estarán situadas en zonas colindantes a la presa en donde existen ya otros elementos antrópicos. Se procurará que su color sea poco llamativo y su instalación se realice utilizando los terrenos de menor valor ecológico.</li> <li>– Se evitará el desplazamiento de vehículos de obra y el almacenamiento de maquinaria y materiales fuera de la obra.</li> <li>– Se evitará la dispersión de residuos por el emplazamiento y alrededores, y se procederá a una limpieza general una vez finalicen las obras.</li> <li>– Se cumplirán expresamente las medidas relacionadas con los apartados anteriores relativas</li> </ul>

Continuación anexo 1.

		<p>a la conservación de la vegetación evitando daños innecesarios.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Otra medida de mejora de la calidad del paisaje en la zona será la retirada de algunas estructuras existentes en el entorno, tal es el caso de las naves situadas en la margen izquierda (aguas abajo de la presa y anexas a la actual carretera). Esta actuación está descrita dentro de las medidas compensatorias al proyecto.</li><li>— Al finalizar las obras se llevarán a cabo medidas de restauración, revegetación y acondicionamiento paisajístico de las zonas afectadas por las obras.</li><li>— Las zonas a utilizar como depósito de excedentes serán recuperadas una vez que finalicen las obras mediante actuaciones de mejora que permitan recuperar el relieve modificado en su momento.</li><li>—</li></ul>
--	--	---

Fuente: IBERDROLA. *Estudio de impacto ambiental de la central hidroeléctrica San Pedro II, Provincia de Ourense*. España. Consulta: enero 2018.

**Anexo 2. Límites permitidos para agua residual de procesos, agua de origen doméstico y descargas de aguas superficiales contaminadas por escorrentías de tormenta**

Componente	Límite
pH (unidades)	6-9
BOD máximo (mg/L)	50
COD (mg/L)	250
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	50
Aceites y grasas totales (mg/L)	10
Cloro residual total (mg/L)	0.2
Total de metales pesados (mg/L)	10

Fuente: Guía general Ambiental del Banco Mundial.

**Anexo 3. Límites permitidos para ruido ambiental en decibeles (DB)**

Receptor	Durante el día 07:00 –22:00	Durante la noche 22:00 – 07:00
Residencial, institucional, educacional	55 <sup>84</sup>	45
Industrial, comercial	70	70

Fuente: Guías ambientales de salud y seguridad del IFC.

<sup>84</sup> Límite máximo permisible de Leq (por hora), en decibels dB.

#### Anexo 4. Límites permitidos para emisiones contaminantes del aire

Parámetro	Límite (mg / m <sup>3</sup> )
Material en partículas	50 por unidad con ≥ 50 Mwe <sup>85</sup> entrada
	100 por unidad con < 50 Mwe entrada
Óxidos de nitrógeno, como NO <sub>2</sub>	750 (260ng/J <sup>86</sup> )
Carbón quemado	460 (130 ng/J)
Aceite quemado	320 (86ng/J)
Gas quemado	
Dióxido de azufre	No debe exceder 2,000

Fuente: Guías ambientales de salud y seguridad del IFC.

#### Anexo 5. COGUANOR NGO-29-001 para agua para el consumo humano

Características	Limite Max. Aceptable (LMA)	Limite Max. Permissible (LMP)
Color (unidades)	5	50
PH (unidades)	7 - 8.5	6.5 - 9.2
Residuos totales (mg/L)	500	1,500
Conductividad eléctrica (umhos/cm a 25°C)	500	1,500
Calcio (mg/L)	75,000	200,000
Cloruros (mg/L)	200,000	600,000
Cobre (mg/L)	0.05	1500
Dureza total (mg/L)	100,000	500,000
Hierro total (mg/L)	0.1	1,000
Zinc (mg/L)	5,000	15,000
Magnesio (mg/L)	5,000	15,000

<sup>85</sup> Mwe: megawatts de electricidad.

<sup>86</sup> ng/J: nano gramos/Joule.

Continuación anexo 5

<b>Níquel (mg/L)</b>	0.1	0.2
<b>Manganeso (mg/L)</b>	0.05	0.5
<b>Sulfato (mg/L)</b>	200,000	400,000
<b>Coliformes totales</b>	NMP <sup>87</sup> < 2 / 100ml	NMP < 2 / 100ml
<b>Coliformes fecales</b>	NMP < 2 / 100ml	NMP < 2 / 100ml
<b>Recuento total de bacterias aeróbicas</b>	Hasta 500 UFC <sup>88</sup> / ml	Hasta 500 UFC / ml

Fuente: COGUANOR NGO 29 001:99, AGUA POTABLE 1ª Revisión

---

<sup>87</sup> NMP: Número Más Probable.

<sup>88</sup> UFC: Unidades Formadoras de Colonia.

