



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA ELÉCTRICO MECÁNICA**

**TEMA:**

**Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación de los efectos ambientales por el Método de Leopold**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de

**INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO**

**AUTOR:**

Núñez Manzaba, Leo Alexander

**TUTOR:**

Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente. M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA ELÉCTRICO MECÁNICA

### CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Nuñez Manzaba Leo Alexander**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico**.

TUTOR

Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M.Sc.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M. Sc.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA ELÉCTRICO MECÁNICA

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Nuñez Manzaba Leo Alexander**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación, **Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación de los efectos ambientales por el Método de Leopold**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico Mecánico, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

**EL AUTOR**

---

**Nuñez Manzaba, Leo Alexander**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA ELÉCTRICO MECÁNICA

### AUTORIZACIÓN

Yo, **Núñez Manzaba, Leo Alexander**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de **Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación de los efectos ambientales por el Método de Leopold**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

---

**Núñez Manzaba, Leo Alexander**

# REPORTE DE URKUND

The screenshot displays the URKUND interface with the following details:

- Documento:** [uta12hunez10882021.pdf](#) (0111855707)
- Presentado:** 2021-09-30 21:33 (-05:00)
- Presentado por:** leoalexandermanzaba@gmail.com
- Recibido:** luis.vallejo.ucsg@analysis.orkund.com
- Match Rate:** 3% de estas 42 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.
- Lista de fuentes:** Includes sources like <https://docplayer.es/41284345-Escuela-universitaria-de-ingenieria-en-energia-industrial-de-zaragoza-proyecto-fin...>, <https://aida-americanas.org/es/no-m-3-grandes-represas-la-verdad-sobre-ella>, <https://www.celes.gob.ec/electroguayas/index.php/sala-de-prensa/noticias/208-central-hidroelectrica-naute...>, [https://unifccc.inf.univie.ac.at/inf/unifccc\\_inf\\_ref\\_manual.pdf](https://unifccc.inf.univie.ac.at/inf/unifccc_inf_ref_manual.pdf), and <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7901/1/4141754-2020-1-1M.pdf>.
- Fuentes alternativas:** Includes <https://reprints.ucm.es/doi/10.1016/j.memoriae1409.pdf> and <https://www.inpenesia.unam.mx/depto/hidraulica/publicaciones/inf/publicaciones/SEI-FC-GNIFEXCONAMJEN...>
- Archivo de registro Urkund:** Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / uta1hunez117082021.pdf
- Match Rate (Detailed):** 98% for the document and 98% for the registration file.
- Text Content:** The document text includes: "FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA ELECTRICO MECANICA TEMA: 'Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación de los efectos ambientales por el Método de Leopold.' Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELECTRICO MECANICO AUTOR: Nuñez Manzába, Leo Alexander TUTOR: Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente. M.Sc. Guayaquil, Ecuador 12 de septiembre del 2021." and "FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA ELECTRICO MECANICA CERTIFICACION Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Nuñez Manzába Leo Alexander, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico Mecánico. TUTOR f... Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M.Sc. DIRECTOR DE CARRERA f... Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc. Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2021." and "FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA ELECTRICO MECANICA DECLARACION DE RESPONSABILIDAD Yo, Nuñez Manzába Leo Alexander DECLARO QUE: El trabajo de titulación, 'Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación del impacto ambiental por el Método de Leopold.' previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico Mecánico, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido. Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2021 EL AUTOR..." and "FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA ELECTRICO MECANICA AUTORIZACION Yo, Nuñez Manzába Leo Alexander Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación 'Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación del impacto ambiental por el Método de Leopold.', cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría. Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2021 EL AUTOR..." and "FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA ELECTRICO MECANICA AUTORIZACION Yo, Nuñez Manzába Leo Alexander Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación 'Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación del impacto ambiental por el Método de Leopold.', cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría. Guayaquil, a los 15 días del mes de Septiembre del año 2021 EL AUTOR..." and "FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA ELECTRICO MECANICA AUTORIZACION Yo, Nuñez Manzába Leo Alexander Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación 'Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación del impacto ambiental por el Método de Leopold.', cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría. Guayaquil, a los 15 días del mes de Septiembre del año 2021 EL AUTOR..."

**Conclusión:** La revisión de coincidencias del resultado de la revisión, considera la desactivación de la información de texto de los formatos de presentación de trabajos de titulación en la UCSG. Se adjunta documento de Reporte URKUND de la Revisión Final en medio digital. Porcentaje de coincidencia final del 3%.

**Atentamente,**

**Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M. Sc**  
**DOCENTE-TUTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme llegar a estas estancias de la vida, dado que el es el único capaz de ayudarnos incondicionalmente a cumplir las metas que uno se propone.

Mis agradecimientos enteros a mis seres queridos que siempre me han motivado a seguir adelante, a no rendirme, a luchar por todo aquello que yo siempre he querido ser, esto incluye a mi madre Gloria Manzaba, a mi padre Leonel Nuñez, a mi tía Nancy Nuñez, a mi tío Albaro Medrano, a mi tía Ubaldina Nuñez y a mi tío Cesar Morejón, todos ellos me han acompañado todo este trayecto y me han ayudado de manera incondicional a poder cumplir este sueño que parecía imposible.

Y por último agradecerle a mi tutor el Ing. Luis Vallejo Samaniego, M.Sc. por la orientación dada en este proceso de titulación, y a todos los directivos, docentes y personal administrativo que conforman parte de la Facultad de Educación Técnica para el desarrollo que me han ayudado durante todos estos años y me han orientado a ser la persona que soy hoy en día.

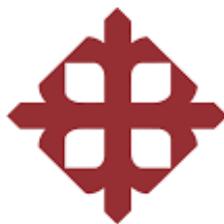
Nuñez Manzaba, Leo Alexander

## **DEDICATORIA**

Este trabajo esta dirigido a todo el esfuerzo que han efectuado mis familiares en mi formación académica en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, y también va dedicado a Dios ya que sin él nada de esto fuera posible.

A mi abuelita Teresa Romelia Nuñez Méndez que, aunque ya no se encuentre entre nosotros, siempre creyó en que este momento llegaría y depositó toda su confianza, cariño y amor hasta el último día de su vida.

Nuñez Manzaba, Leo Alexander



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA ELÉCTRICO MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS**

DECANO

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**

COORDINADOR DEL ÁREA

**ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M. Sc.**

OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO 1 .....	2
INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 Justificación y alcance.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
1.4 Tipo de Investigación.....	3
1.5 Hipótesis de trabajo.....	3
1.6 Metodología de Investigación .....	3
PARTE I    MARCO TEÓRICO.....	4
CAPÍTULO 2.....	4
CARACTERIZACIÓN DE LA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	4
2.1 Introducción a la energía hídrica.....	4
2.1.1 Principio de funcionamiento de una central hidráulica.....	6
2.1.2 Tipos de centrales.....	9
2.1.3 Etapas de un proyecto de central hidroeléctrica.....	12
2.2 Turbinas y obras de flujo de caudal .....	13
2.2.1 Turbinas hidráulicas .....	15
2.2.2 Obras de captación .....	22
2.3 Centrales hidroeléctricas en el Ecuador .....	25
2.3.1 Represas con embalse en Ecuador .....	27

2.3.2 Represas de pasada en Ecuador .....	28
2.4 Uso de nuevas tecnologías en la producción de energía hidráulica .....	29
2.4.1 Tecnología in-stream.....	30
2.4.2 Turbinas in-stream .....	31
CAPÍTULO 3 .....	35
IMPACTO AMBIENTAL .....	35
3.1 Definición de impacto ambiental .....	35
3.1.1 Concepto de impacto ambiental .....	36
3.1.2 Factores de riesgo.....	38
3.2 Riesgos ambientales en la construcción de centrales hidroeléctricas .....	39
3.2.1 Riesgos a pequeñas comunidades .....	42
3.2.2 Desplazamiento de pueblos indígenas y tribales.....	43
3.3 Riesgos en la diversidad biótica .....	44
3.3.1 Sedimentación .....	45
3.3.2 Destrucción del ecosistema .....	47
3.4 Afectaciones hidrológicas y fenómenos sísmicos.....	48
3.4.1 Afectación de cuencas hidrológicas .....	48
3.4.2 Efectos sísmicos .....	49
3.5 Análisis de impactos ambientales .....	51
CAPÍTULO 4 .....	55
EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	55
4.1 Definición de EIA .....	55
4.1.1 Concepto de EIA .....	56
4.2 Metodologías de EIA .....	59
4.2.1 Método ad hoc.....	60
4.2.2 Método de Leopold .....	60
4.3 Tipologías y metodologías para el EIA.....	63

4.3.1 Tipologías de EIA .....	64
4.4 Sostenibilidad ambiental .....	68
4.4.1 Beneficio de un proyecto medioambiental sostenible.....	69
4.3.2 Sostenibilidad de los recursos hídricos .....	70
CAPÍTULO 5 .....	71
NORMATIVIDAD .....	71
5.1 Marco legal internacional.....	71
5.1.1 Conferencia de Estocolmo .....	71
5.1.2 Protocolo de Kyoto .....	73
5.2 Marco legal nacional .....	75
5.2.1 Marco político y normativo en Ecuador .....	75
5.3 Ley de gestión ambiental .....	78
PARTE II  APORTACIONES .....	80
CAPÍTULO 6.....	80
DIAGNÓSTICO DE LOS RIESGOS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO .....	80
CAPÍTULO 7.....	84
EFFECTOS MEDIO AMBIENTALES DE LA CENTRAL HÍDRICA .....	84
7.1 Estudio de caso.....	84
7.1.1 Central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.....	85
CAPÍTULO 8.....	91
EVALUACIÓN DE IMPACTOS POR EL METODO DE LEOPOLD.....	91
CAPÍTULO 9 .....	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
9.1 Conclusiones .....	99
9.2 Recomendaciones.....	100
REFERENCIAS .....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Clasificación de las turbinas.....	21
<b>Tabla 2</b> Clasificación utilizando CV .....	21
<b>Tabla 3</b> Centrales hidroeléctricas en el Ecuador .....	26
<b>Tabla 4</b> Principales Hidroeléctricas del país .....	27
<b>Tabla 5</b> Especificaciones de la turbina.....	33
<b>Tabla 6</b> Factores del medio físico o natural .....	38
<b>Tabla 7</b> Procesos que afectan la calidad del agua .....	49
<b>Tabla 8</b> Impactos ambientales .....	54
<b>Tabla 9</b> Principios de evaluación éticos sociales .....	58
<b>Tabla 10</b> Principios de evaluación éticos ambientales .....	58
<b>Tabla 11</b> Clasificación de impactos según su evaluación .....	64
<b>Tabla 12</b> Evaluación de impactos según su extensión .....	65
<b>Tabla 13</b> Evaluación de impactos de acuerdo al momento .....	66
<b>Tabla 14</b> Evaluación de impactos de acuerdo a su capacidad de recuperación .....	66
<b>Tabla 15</b> Clasificación de evaluación de impactos según su persistencia.....	67
<b>Tabla 16</b> Tabla de consecuencias de sostenibilidad ambiental .....	69
<b>Tabla 17</b> Cantidad de limitación o reducción de emisiones.....	73
<b>Tabla 18</b> Diagnóstico de riesgos en hidroeléctricas .....	80
<b>Tabla 19</b> Ficha técnica de la central Coca Codo Sinclair.....	86
<b>Tabla 20</b> Especies afectadas.....	88
<b>Tabla 21</b> Análisis de riesgos de central Coca Codo Sinclair .....	89
<b>Tabla 22</b> Matriz de Leopold - Central Coca Codo Sinclair .....	95
<b>Tabla 23</b> Tabla de importancia y resultados.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Partes esenciales de una hidroeléctrica.....	7
<b>Figura 2</b> Central de agua fluvente .....	9
<b>Figura 3</b> Central con embalse.....	10
<b>Figura 4</b> Central de acumulación por bombeo .....	11
<b>Figura 5</b> Obras de captación.....	14
<b>Figura 6</b> Fluído del agua por la turbina.....	15
<b>Figura 7</b> Turbina radial .....	16
<b>Figura 8</b> Turbina axial.....	16
<b>Figura 9</b> Turbina de acción .....	17
<b>Figura 10</b> Esquema de funcionamiento de una turbina Pelton.....	18
<b>Figura 11</b> Turbina de reacción .....	19
<b>Figura 12</b> Esquema de funcionamiento de turbina Francis.....	19
<b>Figura 13</b> Turbina Kaplan .....	20
<b>Figura 14</b> Obra de toma en presa derivadora .....	23
<b>Figura 15</b> Desarenador de lavado continuo.....	24
<b>Figura 16</b> Desarenador de lavado discontinuo o intermitente.....	25
<b>Figura 17</b> Proyecto Hidroeléctrico Paute - Integral .....	28
<b>Figura 18</b> Laúd de hidroeléctrica Minas San Francisco.....	29
<b>Figura 19</b> Turbina In-stream en caudal de río pequeño .....	30
<b>Figura 20</b> Instalación de una turbina in-stream.....	31
<b>Figura 21</b> Prueba de turbinas In-stream en Duncan Dam .....	32
<b>Figura 22</b> Turbina smart Monofloat.....	33
<b>Figura 23</b> Modelo 3D de posible canal .....	34
<b>Figura 24</b> Gráfico del Impacto Ambiental .....	35
<b>Figura 25</b> Relación entre el impacto y la alteración del medio.....	36
<b>Figura 26</b> Gráfica de calidad ambiental vs tiempo .....	37
<b>Figura 27</b> Sedimentación en un embalse.....	47
<b>Figura 28</b> Efectos del terremoto en la presa de Koyna .....	51
<b>Figura 29</b> Fragmento de matriz de Leopold.....	62
<b>Figura 30</b> Ejemplo de impacto según sus efectos .....	67
<b>Figura 31</b> Ejemplo del mercado de carbono .....	74
<b>Figura 32</b> Erosión del río Coca .....	81

<b>Figura 33</b> Perdida de fauna vegetal.....	82
<b>Figura 34</b> Central Coca Codo Sinclair .....	85

## RESUMEN

La construcción de diques para la obtención de energía hidráulica es un trabajo muy forzoso y muy riguroso, ya que la mínima falla en la construcción del mismo implicaría un derrame de miles de litros de agua que caerían sobre la ciudad más cercana donde esté ubicada la misma. Pero este tipo de riesgo es insignificante en comparación al impacto ambiental que este genera por el embalse lleno agua, el cual es un método de producción de gas metano el cual se genera en la profundidad de dicha agua estancada y el cual es uno de los gases que produce el efecto de invernadero en el planeta tierra. El proyecto a continuación tratará de esclarecer y concientizar al lector acerca de los diferentes tipos de riesgos y factores que se omiten a la hora de la elaboración de un proyecto hidroeléctrico, utilizando la matriz Leopold en la cual se analizarán varios riesgos y se los comparará con consecuencias ya evidentes en la naturaleza, muchos efectos tales como el hydro-peaking, la erosión de la tierra y la eliminación de fauna silvestre y fauna vegetal son muchos de los ejemplos de impacto ambiental negativo que una hidroeléctrica puede ocasionar, aquellos ejemplos serán tomados del estado actual de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

**Palabras claves:** Impacto, Riesgos, Factores, Matriz, Hydro-peaking, Erosión.

## **ABSTRACT**

The construction of dams to obtain hydraulic energy is a very forced and rigorous work, since the minimum failure in its construction would imply a spill of thousands of liters of water that would fall on the nearest city where it is located. But this type of risk is insignificant compared to the environmental impact that it generates by the reservoir filled with water, which is a method of production of methane gas which is generated in the depth of said stagnant water and which is one of the gases that produces the greenhouse effect on planet earth. The project below will try to clarify and make the reader aware of the different types of risks and factors that are omitted when preparing a hydroelectric project, using the Leopold matrix in which various risks will be analyzed and compared with Consequences already evident in nature, many effects such as hydro-peaking, soil erosion and the elimination of wildlife and plant fauna are many of the examples of negative environmental impact that a hydroelectric plant can cause, those examples will be taken from the current status of the Coca Codo Sinclair hydroelectric plant.

**Keywords:** Impact, Risks, Factors, Matrix, Hydro-peaking, Erosion

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Justificación y alcance**

En la actualidad la búsqueda de generar energía limpia y libre de combustibles fósiles va cobrando cada vez más relevancia, muchos de los países latinoamericanos que poseen ríos caudalosos y grandes, se están esforzando con el fin de poder lograr la construcción de más de una planta de generación hidráulica, lo cual ayudaría a suplir la demanda energética de aquellos países. El alcance que posee el proyecto en cuestión consiste en elaborar un informe bien detallado y conciso el cual ayude a entender al lector acerca de varios puntos a favor y en contra que posee la generación de energía eléctrica mediante centrales hídricas, analizando el caso muy particular de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair mediante un método de evaluación de impactos medio ambientales.

### **1.2 Planteamiento del problema**

La constante búsqueda de lugares ideales para la construcción de diques hidroeléctricos ha llevado a que los estados se vean en la obligación de generar y omitir informes con falta de argumentos en los cuales se detallen los diferentes fallos a futuro que la hidroeléctrica generará y de cómo la central hidroeléctrica podría llegar a impactar de manera negativa en lo que respecta al ámbito social y con respecto a la preservación del medio ambiente.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar el impacto ambiental generado en la construcción de las hidroeléctricas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar de los riesgos del impacto ambiental de los proyectos hidroeléctricos.
- Caracterizar los efectos medio ambientales de las centrales hídricas.
- Evaluar por el método de Leopold el impacto ambiental generado por las hidroeléctricas.

### **1.4 Tipo de Investigación**

Este informe es de tipo documental, analítico y de estudio de caso, el documento es exploratorio ya que se expone un tema de actualidad que conlleva y conlleva la construcción de una hidroeléctrica y por su parte es descriptivo porque se dan a conocer características específicas de los problemas que se están investigando.

### **1.5 Hipótesis de trabajo**

Mediante la matriz de Leopold se cuantificará los riesgos negativos de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

### **1.6 Metodología de Investigación**

El método de investigación utilizado es un modelo basado en la metodología de investigación científica de Arias Galicia, el cual tiene como primera etapa el planteamiento del problema y en sus fases consecuentes trata de explicar la manera en la que se desarrollará y explicará el tema en cuestión.

Las fallas encontradas durante las diferentes fases de construcción de las hidroeléctricas, la carencia de estudios óptimos conlleva a impactos irreversibles hacia el medio ambiente, el desconocimiento y la falta de información son también factores que influyen a la contaminación indirecta del medio ambiente.

## **PARTE I    MARCO TEÓRICO**

### **CAPÍTULO 2**

#### **CARACTERIZACIÓN DE LA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

##### **2.1 Introducción a la energía hídrica**

La energía hidroeléctrica es la tecnología de generación de energía renovable más madura, fiable y rentable disponible actualmente, es una fuente de energía renovable basada en el ciclo natural del agua; los esquemas de energía hidroeléctrica a menudo tienen una flexibilidad significativa en su diseño y pueden ser diseñados para satisfacer las demandas de carga de base con factores de capacidad relativamente altos, o tienen capacidades instaladas más altas y un factor de capacidad más bajo, pero satisfacen una parte mucho mayor de la demanda máxima.

La energía hidroeléctrica es la mayor fuente de energía renovable actualmente y produce alrededor del 16% de la electricidad mundial y más de cuatro quintas partes de la electricidad renovable del mundo. Actualmente, más de 25 países del mundo dependen de la de la energía hidroeléctrica para el 90 % de su suministro de electricidad 99,3 % en el caso de Noruega, y 12 países dependen al 100% de la hidroelectricidad. La hidroelectricidad produce la mayor parte de la electricidad en 65 países y desempeña algún papel en más de 150 países.

La energía hidroeléctrica es la fuente más flexible de generación de energía disponible y es capaz de responder a las fluctuaciones de la demanda en minutos, suministrando energía de carga base de carga base y, cuando hay un embalse, almacenar electricidad durante semanas, meses, temporadas o incluso años. Aunque otras centrales, especialmente las térmicas convencionales, pueden responder a las fluctuaciones de la carga, sus tiempos de respuesta no son tan rápidos y a menudo no tan flexibles en toda su banda de producción. Las presas hidroeléctricas con grandes embalses almacenan energía a lo largo del tiempo con el fin de satisfacer los picos del sistema o la demanda desvinculada de los flujos de entrada. El almacenamiento puede

ser de días, semanas, meses, temporadas o incluso años, dependiendo del tamaño del embalse.

Gracias a esta flexibilidad, la energía hidroeléctrica es un complemento ideal de las energías renovables variables, ya que, cuando brilla el sol o sopla el viento, se puede permitir que los niveles de los embalses aumenten durante un tiempo en el que la energía eólica y solar, estén a cargo del abastecimiento de energía eléctrica. Del mismo modo, cuando se necesitan grandes aumentos o disminuciones del suministro hídrico debido a aumentos o disminuciones de la generación solar o eólica, la hidroeléctrica puede satisfacer estas demandas. Las unidades de generación hidroeléctrica son capaces de ponerse en marcha rápidamente y funcionar de forma eficiente casi al instante, incluso cuando se utilizan sólo durante una o dos horas. Esto contrasta con las centrales térmicas, en las que la puesta en marcha puede llevar varias horas o más, tiempo durante el cual la eficiencia está muy por debajo de los niveles de diseño. Además, las centrales hidroeléctricas pueden funcionar eficazmente con cargas parciales, lo que no ocurre con muchas centrales térmicas. Las centrales hidroeléctricas de embalse y de bombeo pueden utilizarse para reducir la frecuencia de los arranques y paradas de las centrales térmicas convencionales y mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda, reduciendo así la carga de las centrales térmicas.

La energía hidroeléctrica es la única tecnología de almacenamiento a gran escala y rentable en costo disponible en la actualidad. A pesar de los prometedores avances en otras tecnologías de almacenamiento de energía, la hidroeléctrica sigue siendo la única tecnología que ofrece un almacenamiento a gran escala económicamente viable, también es una opción de almacenamiento de energía relativamente eficiente. Las capacidades de integración de sistemas de la energía hidroeléctrica son, por tanto, especialmente útiles para permitir la penetración a gran escala de la energía eólica y otras fuentes de energía variable. Los sistemas con porcentajes significativos de energía hidroeléctrica a gran escala con un almacenamiento importante en los embalses podrán, por tanto, integrar mayores niveles de energías renovables variables a bajo coste que los sistemas que no se benefician de la energía hidroeléctrica.

### **2.1.1 Principio de funcionamiento de una central hidráulica**

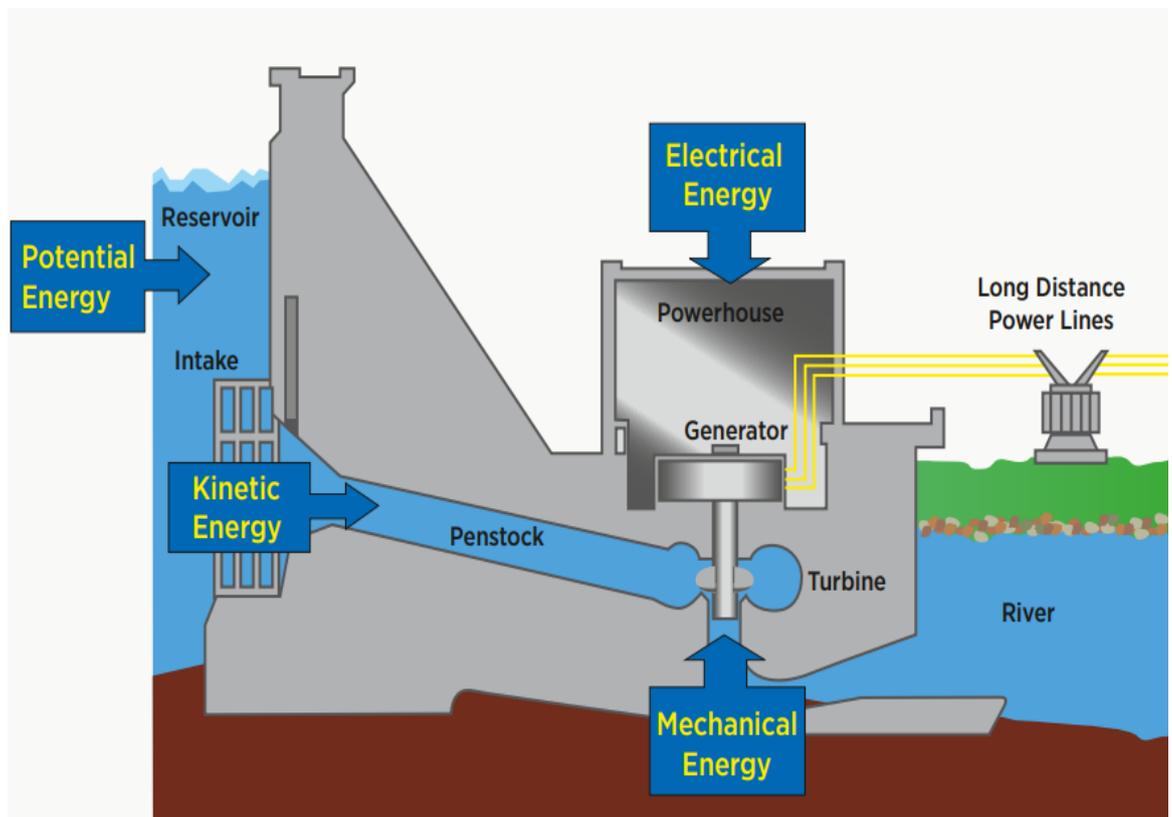
La energía hidráulica ha sido utilizada por la humanidad por bastante tiempo, la energía de la caída del agua fue utilizada por los griegos para hacer girar ruedas hidráulicas que transferían su energía mecánica a una piedra de moler para convertir el trigo en harina hace más de 2000 años. En el siglo XVIII la energía hidroeléctrica mecánica se utilizó ampliamente para la molienda y el bombeo. La era moderna del desarrollo hidroeléctrico comenzó en 1870, cuando se instaló la primera central hidroeléctrica en Craggside, Inglaterra. El uso comercial de la hidroeléctrica comenzó en 1880 en Grand Rapids, Michigan, donde se utilizó un dinamo accionado por una turbina de agua para la iluminación de teatros y tiendas; estas primeras centrales hidroeléctricas tenían una capacidad pequeña en comparación con los estándares actuales, pero fueron pioneras en el uso de la energía hidráulica para los estándares actuales.

Los proyectos hidroeléctricos varían en tamaño desde unos pocos vatios a varios GW o más en proyectos a gran escala; los proyectos más grandes suelen tener varias de turbinas, mientras que los proyectos más pequeños pueden contar con una sola turbina. Los dos mayores proyectos hidroeléctricos del mundo son el proyecto de Itaipú, en Brasil, de 14 GW, y el de las Tres Gargantas, en China, de 22,4 GW. Estos dos proyectos producen por sí solos entre 80 y 100 TWh/año, los grandes sistemas hidroeléctricos suelen estar conectados a redes centralizadas para garantizar que haya suficiente demanda para satisfacer su capacidad de generación. Las pequeñas centrales hidroeléctricas pueden utilizarse, y a menudo se utilizan, en zonas aisladas, zonas fuera de la red o en minirredes. Si en los sistemas de red aislados no es posible disponer de grandes embalses, y existen variaciones estacionales del caudal, las centrales hidroeléctricas pueden requerir ser combinadas con otras fuentes de generación para garantizar un suministro continuo durante los periodos de sequía.

La energía hidroeléctrica transforma la energía potencial de una masa de agua que fluye en un río o arroyo con una determinada caída vertical, la generación potencial de energía anual de un proyecto hidroeléctrico es proporcional a la altura y al caudal

de agua. Las centrales hidroeléctricas utilizan un concepto relativamente sencillo para convertir la energía potencial del agua que fluye en el giro de una turbina, que a su vez, proporciona la energía mecánica necesaria para accionar un generador y producir electricidad. Los principales componentes de una central hidroeléctrica convencional son los siguientes como se podrá apreciar en la figura 1.

**Figura 1**  
*Partes esenciales de una hidroeléctrica*



*Nota:* Adaptado de (IRENE, 2012, p. 6)

- Presa. - la mayoría de las centrales hidroeléctricas cuentan con una presa que retiene el agua, creando un gran depósito de agua que puede utilizarse como almacenamiento, también puede haber un desfiladero para hacer frente a la acumulación de sedimentos detrás de la presa.
- Toma de agua, tubería forzada y cámara de compensación. - cuando las compuertas de la presa se abren, el agua fluye por acción de la gravedad a través de la tubería forzada hasta la turbina. La cámara o depósito de compensación se utiliza para reducir los picos de presión del agua que podrían dañar o aumentar la tensión de la turbina.

- Turbina. - el agua golpea los álabes de la turbina y hace girar a la misma, que está unida a un generador por un eje, hay una serie de configuraciones posibles con el generador por encima o al lado de la turbina. El tipo más común de turbina para centrales hidroeléctricas que se utilizan hoy en día es la turbina Francis, que permite una configuración turbina generador muy cercana.
- Generadores. - A medida que las palas de la turbina giran, el rotor dentro del generador también gira y corriente eléctrica se produce cuando los imanes giran dentro del generador de bobina fija para para producir corriente alterna (AC).
- Transformador. - El transformador dentro de la central eléctrica toma la tensión de corriente alterna y la convierte en corriente de mayor tensión para que así sea más eficiente y por ende tenga menos perdidas al momento de ser transportada largas distancias.
- Líneas de transmisión. - Envían la electricidad generada a un punto de conexión a la red, o directamente a un gran consumidor industrial, donde la electricidad se convierte de nuevo en corriente de baja tensión y se introduce en la red de distribución. En zonas remotas, las nuevas líneas de transmisión pueden representar un obstáculo y un gasto considerable en la planificación.
- Salida. - Por último, el agua utilizada se lleva a cabo a través de tuberías, llamadas tuberías de desfogue, y vuelve a entrar en el río aguas abajo. El sistema de desagüe también puede incluir aliviaderos que permiten que el agua no pase por el sistema de generación y se derrame en épocas de crecida.

Las centrales hidroeléctricas suelen tener una vida útil muy larga y, dependiendo del componente concreto se sitúan entre 30 a 80 años, hay muchos ejemplos de centrales hidroeléctricas que han funcionado durante más de más de 100 años, con actualizaciones periódicas de los sistemas eléctricos y mecánicos, pero no se han actualizado las estructuras civiles más caras como lo son las presas, túneles; con un embalse muy grande en relación con el tamaño de la central hidroeléctrica, las centrales hidroeléctricas pueden generar energía a un nivel casi constante durante todo el año. Por otra parte, si el sistema se diseña para tener una capacidad hidroeléctrica que supere con creces la de almacenamiento del embalse, la central hidroeléctrica se

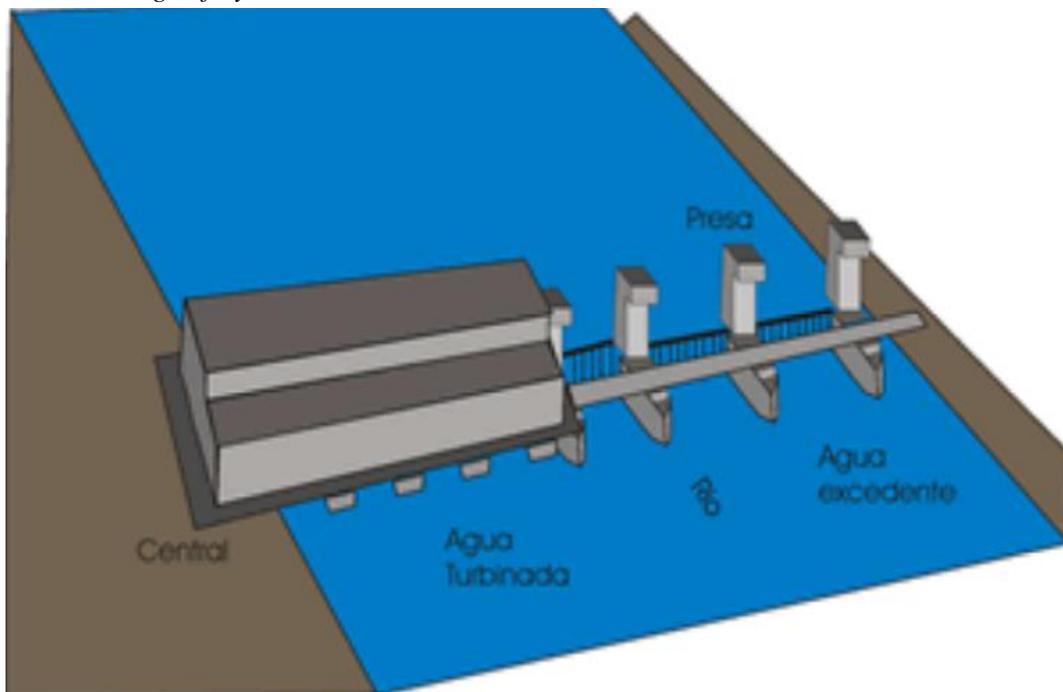
denomina a veces central de pico y se diseña para poder generar grandes cantidades de electricidad para satisfacer los picos de demanda del sistema eléctrico.

### 2.1.2 Tipos de centrales

#### - Centrales de agua Fluyente

Este tipo de centrales se construyen en lugares donde se tiene que aprovechar la energía hidráulica de manera directa, ya que no poseen una reserva de agua. Este tipo de centrales obtiene su funcionamiento pleno en las temporadas invernales ya que las precipitaciones abundantes ayudan a que las turbinas trabajen a potencia máxima, por otro lado en épocas de sequías, la potencia del agua disminuye siendo como consecuencia la casi nula producción de energía, debido al bajo paso de corrientes de agua que llegan a las turbinas de la central (IngFocal LTDA, 2011, p. 3).

**Figura 2**  
*Central de agua fluyente*



*Nota:* En la imagen se puede apreciar una central de agua fluyente o también conocida como filo de agua. Adaptado de (IngFocal LTDA, 2011, p. 3)

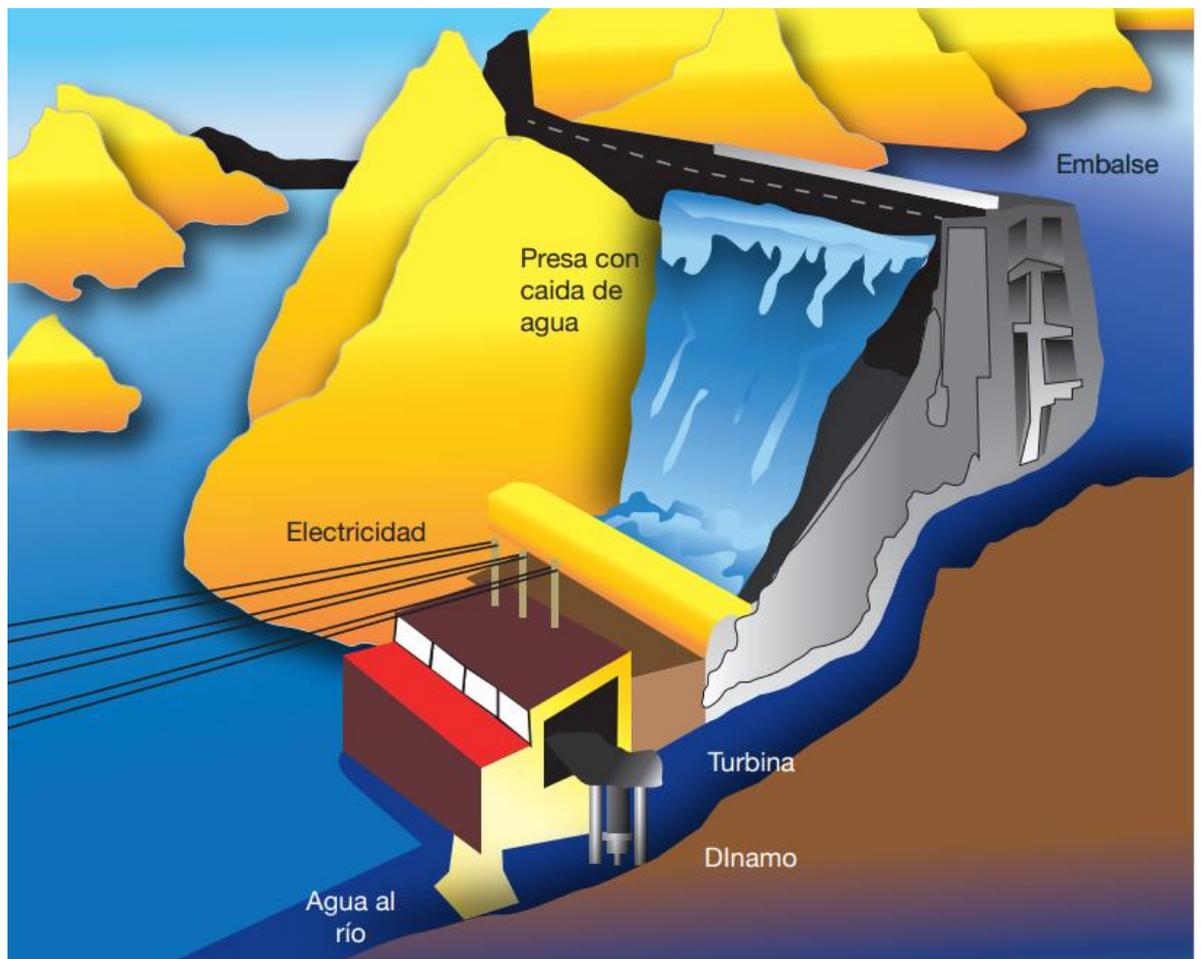
Como se puede apreciar en la figura 2 este tipo de centrales utiliza el caudal del río mismo desviando una parte del mismo y turbinándola con el fin de accionar las

turbinas produciendo así energía eléctrica, este tipo de centrales también son llamadas de pasada.

- Centrales con embalse o de regulación

Este tipo de centrales se embalsa un volumen de agua mediante la construcción de una o más presas con las cuales se logran formar ríos artificiales; el embalse en este tipo de centrales es el encargado de regular la cantidad de agua que va a pasar por las turbinas con el fin de regular los afluentes de los ríos en las diferentes estaciones climáticas, llegando a aprovechar el potencial máximo de las turbinas a toda hora. Este tipo de centrales requieren una inversión de capital mayor que las centrales de agua fluyente, pero facilita la producción de energía, disminuyendo el costo de energía generada (IngFocal LTDA, 2011, p. 3).

**Figura 3**  
*Central con embalse*

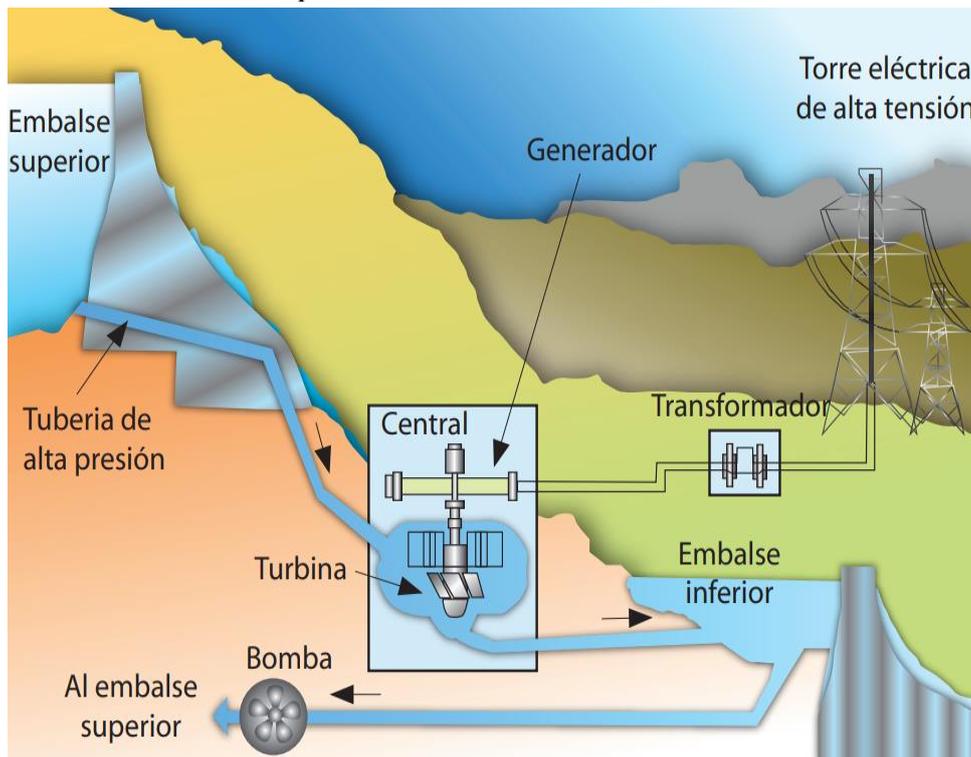


*Nota:* Adaptado de (IngFocal LTDA, 2011, p. 3)

#### - Centrales de acumulación por bombeo

Este tipo de centrales disponen de dos embalses situados a diferente nivel, cuando la demanda energética llega a su máximo nivel el embalse superior abre sus compuertas y deja pasar el agua a las turbinas asociadas a sus respectivos alternadores funcionando como una central convencional, el agua que pasó por las turbinas queda almacenada en el embalse inferior y durante las horas del día en la que la demanda energética es menor el agua se bombea desde el embalse inferior al embalse superior por medio de mecanismos tales como bombas y motores o incluso en algunos casos las turbinas de la presa son reversibles, funcionando las mismas como bombas y sus respectivos alternadores como motores (IngFocal LTDA, 2011, p. 3).

**Figura 4**  
*Central de acumulación por bombeo*



*Nota:* Adaptado de (IngFocal LTDA, 2011, p. 3)

#### - Centrales de alta presión

Estas instalaciones son conformadas por un salto hidráulico el cual debe ser superior a 200 metros, y que por consiguiente los caudales son relativamente pequeños es decir de 20 metros cúbicos por segundo por máquina. En este tipo de centrales se

emplean generalmente turbinas tipo Pelton o en el caso de que la altura bordee los 200 metros se utilizan turbinas tipo Francis (Jimbo & Martin, 2019, p. 34).

El factor de capacidad alcanzado por los proyectos hidroeléctricos debe considerarse de forma algo diferente a la de otros proyectos de energía renovable, para un conjunto determinado de caudales en una central de captación, dicho proyecto hidroeléctrico cierta flexibilidad en el proceso de diseño. Una opción es tener una alta capacidad instalada y un bajo factor de capacidad para suministrar electricidad principalmente para satisfacer los picos de demanda y proporcionar servicios auxiliares a la red. Otra opción es que la capacidad instalada puede ser menor y los factores de capacidad más altos, con una flexibilidad potencialmente menor en la generación para satisfacer los picos de demanda y proporcionar servicios auxiliares.

### **2.1.3 Etapas de un proyecto de central hidroeléctrica**

Toda central hidroeléctrica debe de cumplir con ciertas etapas las cuales deben de ser examinadas a fondo con diferentes estudios que se llevan a cabo como el estudio cartográfico, el estudio geotécnico, el estudio hidrológico el estudio socioeconómico y el estudio de impacto ambiental.

Para la concepción de una central hidroeléctrica se necesitan niveles de estudio los cuales son:

- Inventario. – esta etapa consiste en el estudio de la demanda energética con el fin de construir una central que supla con el nivel energético requerido por el país.
- Reconocimiento. – en esta etapa se realizan visitas a la zona donde se construirá la central con el fin de determinar los posibles impactos que la misma tendrá sobre la zona, se tomarán fotos aéreas y se realizarán cartas topográficas con la finalidad de obtener datos reales de la zona en cuestión.

- Prefactibilidad. – en esta etapa del estudio se evalúa el potencial de toda la cuenca, se estudia los diferentes tipos de caídas de agua que posee la zona y se realiza una estimación de costo en cada punto de caída de agua.
- Factibilidad. – en el estudio de factibilidad se tiene como base establecer la factibilidad del proyecto, el propósito de dicho análisis es determinar una idea clara y lo suficientemente concisa para que se continúen con los estudios y la construcción del proyecto.
- Diseño. – en esta etapa se dimensionan las obras que va a tener el proyecto.
- Construcción. – en esta etapa comienza la construcción de la obra cumpliendo con cada una de las fases anteriores.
- Puesta en marcha. – en esta etapa se realizan las pruebas finales de funcionamiento de la central con el fin de verificar que este en optimas condiciones para que empiece su operación.

## **2.2 Turbinas y obras de flujo de caudal**

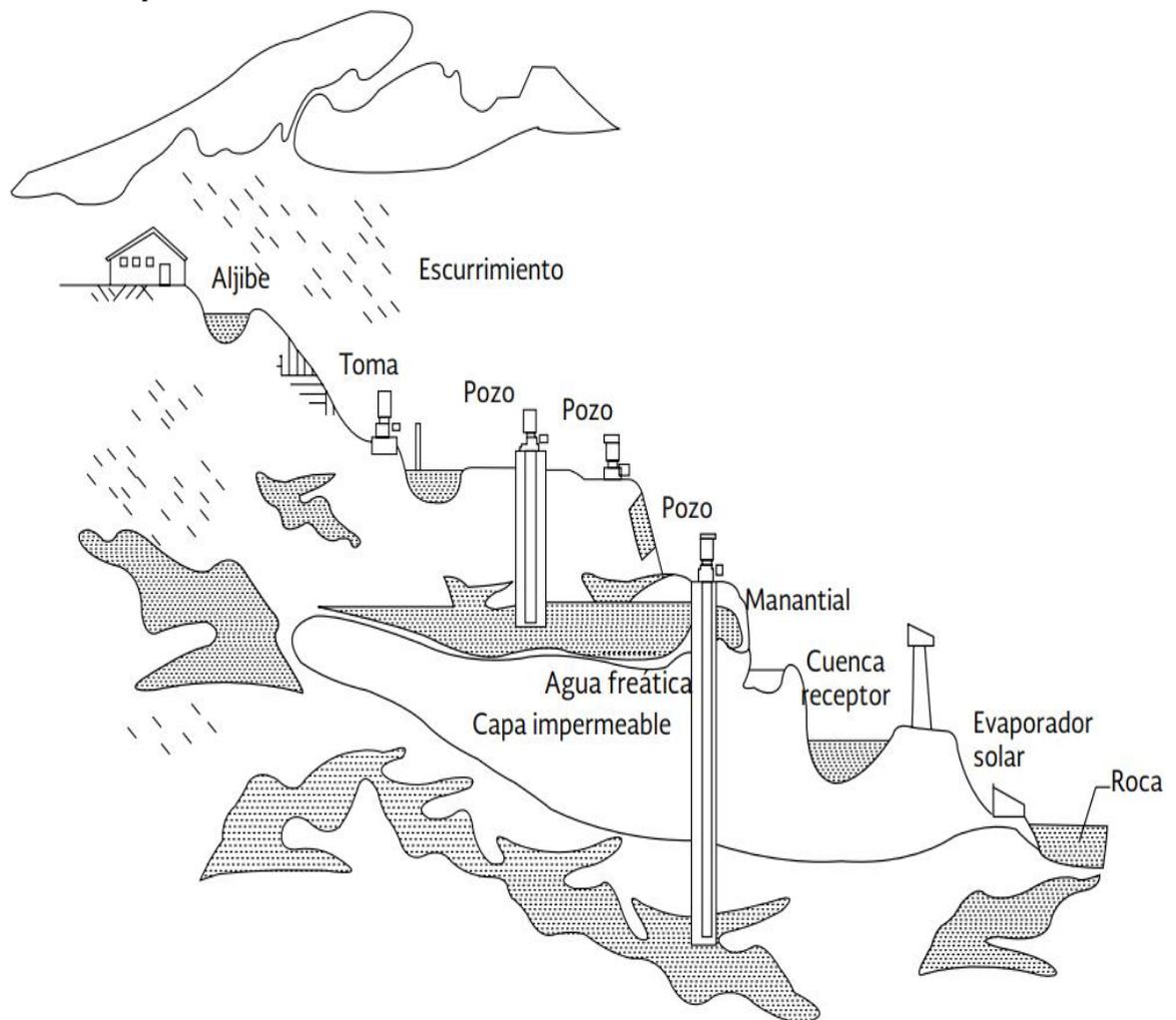
Una turbina o turbomáquina está compuesta básicamente por una serie de alabes fijos el cual se denomina distribuidor y otra serie de alabes móviles o también conocido como rotor. Para que una turbomáquina sea considerada mono celular debe de estar compuesta por un distribuidor, un rodete y un difusor. Tanto el distribuidor como el difusor forman parte de la parte fija de la máquina denominada estator; se puede determinar que el rodete es parte fundamental de algún equipo hidráulico mientras que el distribuidor y el difusor en ciertas ocasiones se puede denominar inexistente. La función que cumple el distribuidor es la de dirigir el agua, desde la entrada de máquina hasta la entrada del rodete, y distribuyéndola alrededor de la misma se la turbina es de admisión total, o sino a una parte de la misma en el caso de que la turbina sea de admisión parcial. El distribuidor también es un órgano que transforma la energía generada por la presión en energía de velocidad.

En la actualidad el cuidado del medio ambiente es ya el punto más importante a tomar en cuenta antes de la elaboración de cualquier proyecto, en obras grandes como lo son las hidroeléctricas las cuales necesitan de una toma de agua ya sea artificial o

natural, es necesario tomar en cuenta los impactos ambientales consecuentes antes de la construcción de la misma. En fuentes superficiales el caudal mínimo es el que interesa mientras que en fuentes subterráneas se necesita tener un amplio conocimiento de la recarga natural de los cuerpos de agua que serán extraídos, en ambos casos es necesario que la obra implique una operación eficiente de toda la infraestructura con el fin de asegurar el reabastecimiento de las aguas extraídas (Comisión Nacional del Agua, s/f, pp. 2–3).

Las obras de captación son importantes en toda central ya que estas permiten el flujo de agua de manera correcta desde la presa hasta las turbinas, disminuyendo así el paso de sedimentos o impurezas que puedan dañar los álabes de las turbinas.

**Figura 5**  
*Obras de captación*

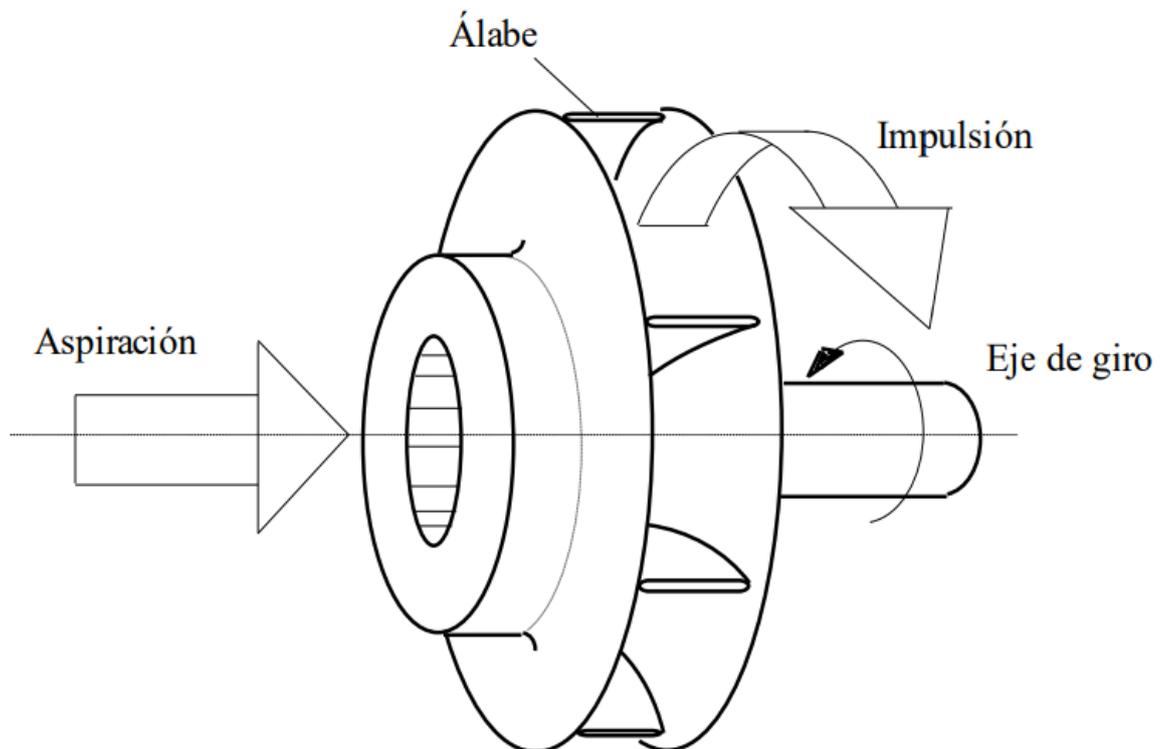


*Nota:* Adaptado de (Comisión Nacional del Agua, s/f, p. 14)

### 2.2.1 Turbinas hidráulicas

Las turbinas hidráulicas se clasifican dependiendo de cómo están elaboradas y de la manera en la que el fluido que atravesará sus álabes accionando así el rotor de la misma produciendo energía cinética que será luego transformada mediante otro elemento que estará conectado inmediatamente seguido del mismo.

**Figura 6**  
*Fluido del agua por la turbina*



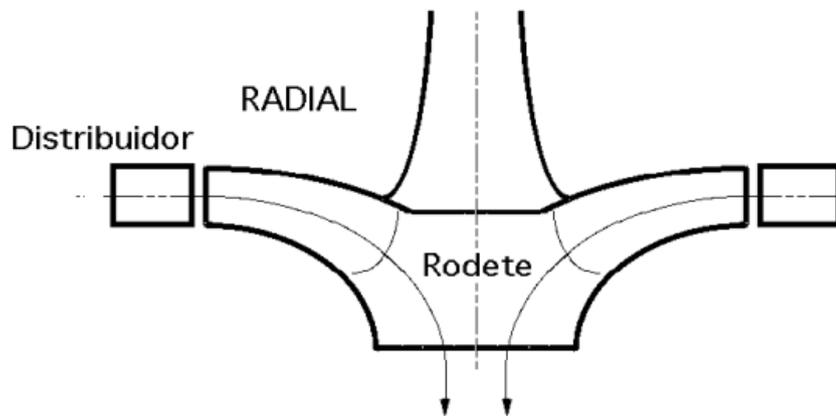
*Nota:* Adaptado de (Zamora Parra & Viedma Robles, 2016, p. 28)

En la figura 6 se puede apreciar el trayecto que sigue el agua una vez que entra al rodete de la turbina haciendo girar a la misma en dirección del flujo del agua, en este caso de ejemplo se trata de una turbina de tipo radial.

#### - Máquinas radiales

En este tipo de máquinas las trayectorias de las partículas fluidas están en planos perpendiculares al eje, así como ocurre en las bombas centrifugas y en las turbinas centrípetas.

**Figura 7**  
*Turbina radial*



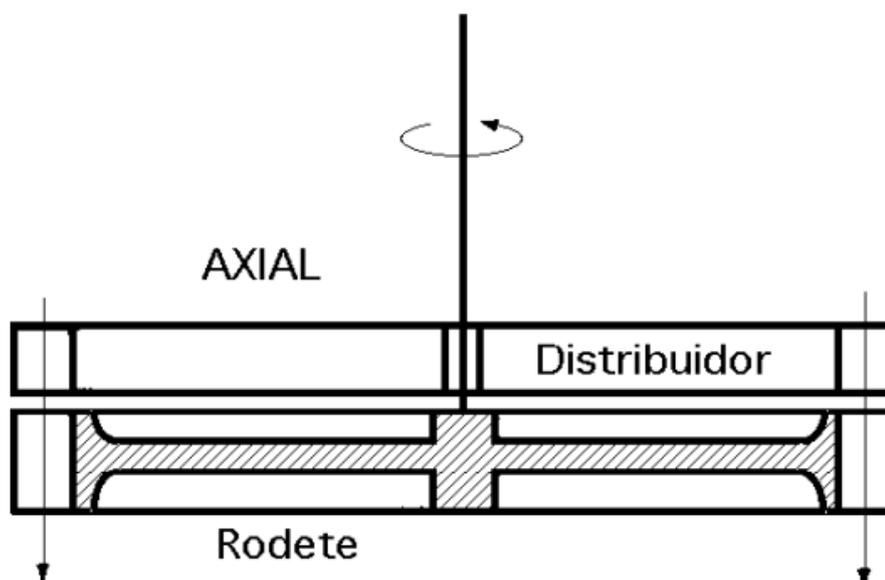
*Nota:* Adaptado de (Fernández, s/f, p. 5)

Como se puede apreciar en la figura 7 el fluido en las turbinas radiales se orienta perpendicularmente de manera leve a su eje de orientación y acciona de manera similar a como el agua impulsa un molino de agua.

- Máquinas axiales

En este tipo de turbinas las líneas de corrientes se encuentran contenidas en superficies paralelas al eje, es decir, cilíndricas.

**Figura 8**  
*Turbina axial*



*Nota:* Adaptado de (Fernández, s/f, p. 5)

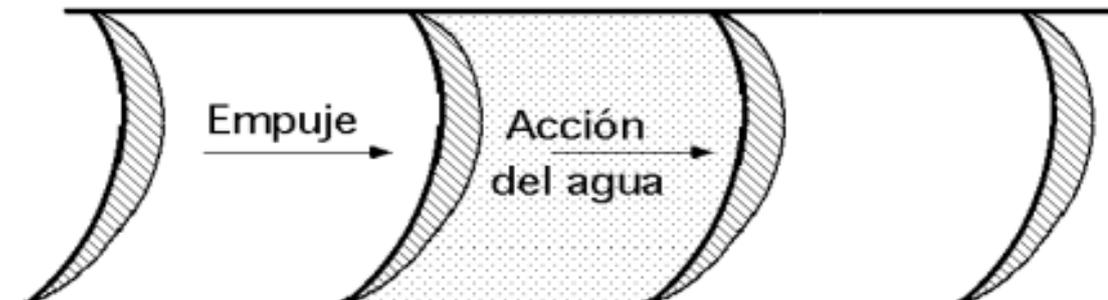
En las turbinas de tipo axial el rotor se impacta con el fluido haciendo que este se accione como se puede apreciar en la figura 8, la cual muestra de manera sutil la forma en la cual están distribuidas sus partes esenciales.

La característica de las turbomáquinas es que también tienen una particularidad la cual es que son más conocidas por los nombres de las personas que las inventaron o usaron en primeras instancias, pudiéndose así distinguir en turbinas de acción y turbinas de reacción, entre las cuales se pueden diferenciar las turbinas Pelton, Kaplan, Francis, entre otras.

#### - Turbinas de acción

En este tipo de turbinas no hay variación en la presión estática que pase por el rotor, por ende, el fluido no necesita llenar todo el espacio entre álabes; toda esta caída de presión estática está sobre la tobera del inyector y el agua solo actúa sobre los álabes por medio de uno o de varios chorros discretos con una gran energía cinética.

**Figura 9**  
*Turbina de acción*



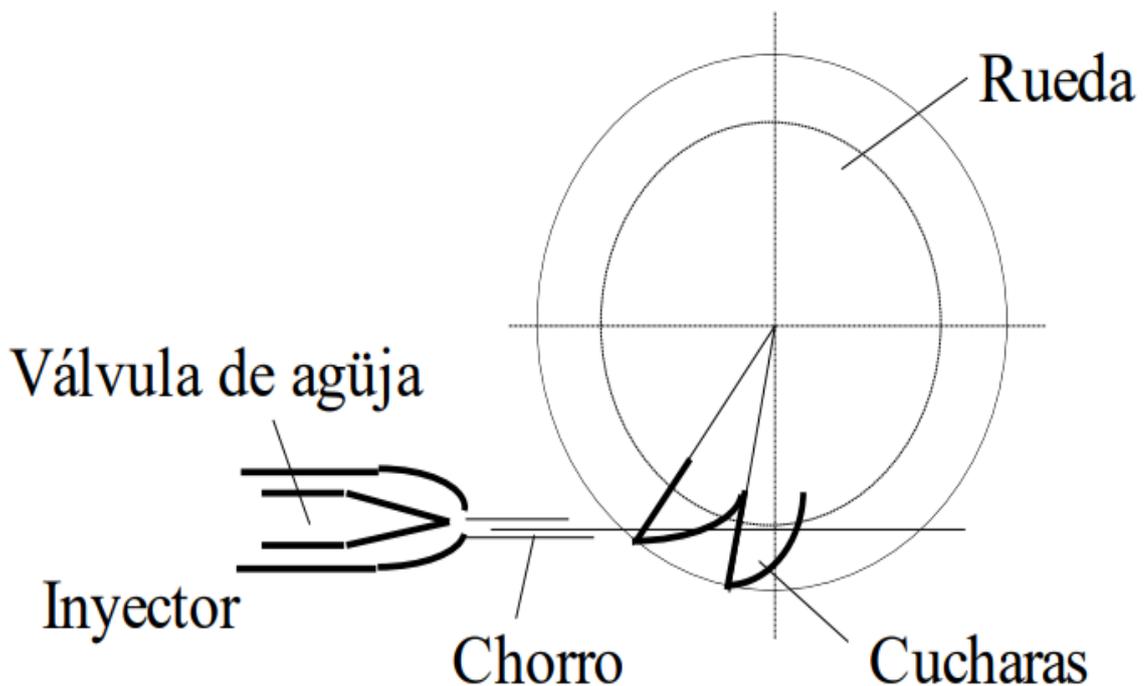
*Nota:* la figura muestra el flujo de agua en turbinas de acción. Adaptado (Fernández, s/f, p. 5)

Como se observa en la figura 9 la turbina será accionada o empezará a rotar en dirección con el fluido que pase a través de la turbina, en este caso el agua pasará de manera lineal por los álabes de la misma accionándola de manera directa.

Este tipo de turbinas es comúnmente llamada como turbina Pelton en honor a Lester Pelton el cual la patentó como suya en 1880, este tipo de turbina es usada

usualmente en saltos con desniveles de más de 400 m, disponen de una válvula de aguja en el inyector con el propósito de regular el caudal que entra a las misma , un deflector el cual desvía el chorro si la carga disminuye considerablemente, y un contra chorro que frena la turbina de manera rápida cuando se necesite detenerla; este tipo de turbinas carece de difusor por lo que también es conocido como turbina de escape libre (Zamora Parra & Viedma Robles, 2016, p. 28).

**Figura 10**  
*Esquema de funcionamiento de una turbina Pelton*



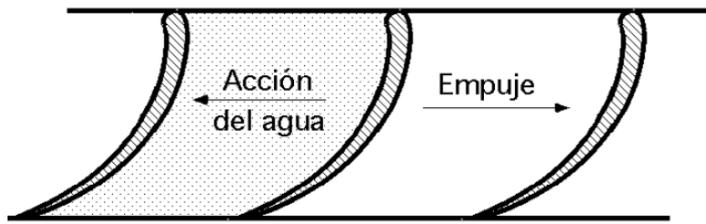
*Nota:* Adaptado de (Zamora Parra & Viedma Robles, 2016, p. 28)

Este tipo de turbinas fueron diseñadas para explotar bajos caudales, pero con grandes saltos, como se puede apreciar en la figura 10 el agua es conducida a grandes velocidades por medio de saltos grandes que llegan a la válvula de aguja la cual ayuda al correcto accionamiento de la misma.

- Turbinas de reacción

En este tipo de turbinas se produce una caída de presión estática en el rotor, por ende, el fluido debe de llenar por completo el espacio existente entre los álabes, las turbinas de reacción a su vez se pueden llegar a distinguir de diferentes tipos.

**Figura 11**  
*Turbina de reacción*



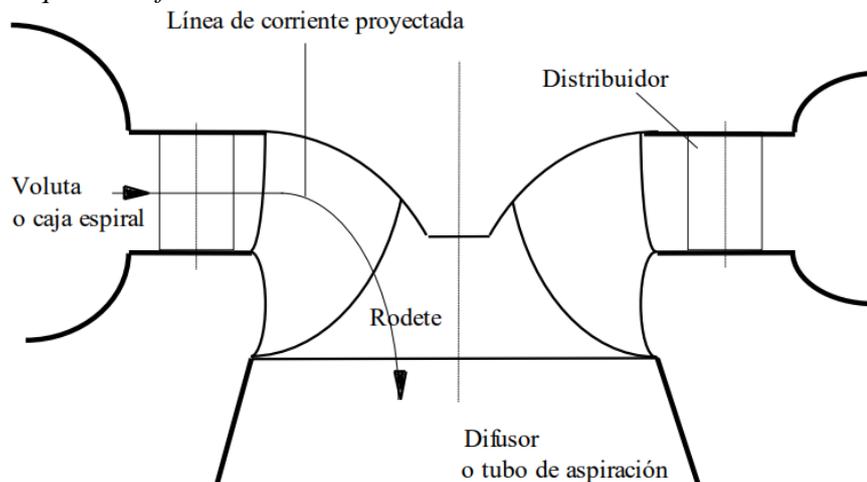
Nota: Adaptado (Fernández, s/f, p. 5)

Este tipo de turbinas son usadas cuando se puede apreciar la energía estática del agua, el grado de reacción de este tipo de máquinas siempre será menor a la unidad, esto quiere decir que este tipo de máquinas también pueden aprovechar la energía dinámica del fluido.

#### - Turbinas radiales o Francis

Este tipo de turbinas en sus principios en los años 1849 era estrictamente de manera radial con bordes de entrada y salida posicionados paralelos al eje, en la actualidad este tipo de turbinas la mayor parte de estas han pasado a ser diseñadas de manera helicocéntricas teniendo en la salida del rotor componentes axiales y radiales de velocidad. Este tipo de turbinas son usadas para saltos de entre 40 a 500 m, por lo que son usadas más frecuentemente (Zamora Parra & Viedma Robles, 2016, p. 28).

**Figura 12**  
*Esquema de funcionamiento de turbina Francis*



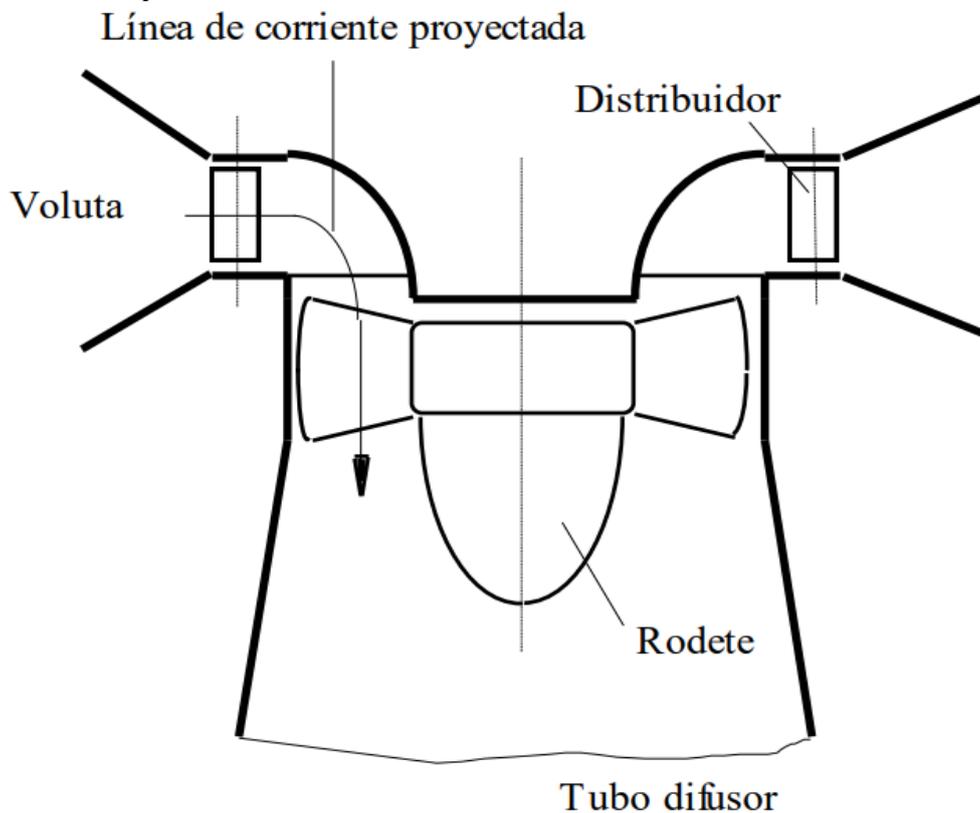
Nota: Adaptado de (Zamora Parra & Viedma Robles, 2016, p. 28)

- Turbinas axiales o Kaplan

En este tipo de turbinas el flujo de agua es totalmente axial, y sus alabes están configurados de manera fija o ya sea orientables con el fin de regular la carga que será empleada en la turbina. Este tipo de turbinas se emplean para saltos relativamente pequeños inferiores a 60 m. Este tipo de turbinas son las más usadas cuando se trata de pequeñas centrales hídricas.

**Figura 13**

*Turbina Kaplan*



*Nota:* Adaptado de (Zamora Parra & Viedma Robles, 2016, p. 29)

Como se puede apreciar en la figura 13 los álabes del rodete tienen forma de hélices y son nombradas de la misma forma si sus palas son fijas. Como conclusión se puede llegar a que las turbinas que actualmente se usan para los diferentes tipos de hidroeléctricas han ido evolucionando e incluyendo partes nuevas a las turbomáquinas con el fin de mejorar la eficiencia de las mismas. La clasificación de las turbinas es algo muy importante a tener en cuenta antes de utilizar cualquier de ellas, teniendo en cuenta que el número de revoluciones de las mismas (número de camarer) es lo esencial para la implementación de cualquier tipo de turbina en una central.

**Tabla 1**  
*Clasificación de las turbinas*

Características	Turbinas de Acción	Turbinas de Reacción
Tipos	Pelton	Francis, Hélice, Kaplan, Deriaz, Bulbo, Straflo
Admisión	Por puntos	Total
Elementos	Inyector rodete	Cámara espiral, antedistribuidor, distribuidor, rodete, tubo difusor
Energía Aportada	Cinética	Cinética de presión
Campo de trabajo	Pequeña	Media y grande
Número de Camerer (revoluciones)	5 - 36	51 - 1300
Tipo de Central	Cabecera de los ríos	Cause medio y terminal del río, y en las desembocaduras de los ríos

*Nota:* Adaptado de (Castillo Vásconez, 2015, p. 44)

En la tabla 1 se pueden apreciar las diferencias fundamentales entre los dos tipos de turbinas, entre las más destacadas es el número de camerer o números de revoluciones a las cuales trabajan usualmente cada tipo distinto de turbina.

Los rangos para los tipos de turbina expresado en la formula ya antes mencionadas en potencia de caballos de vapor (CV) esta dada y sus rangos son los siguientes:

**Tabla 2**  
*Clasificación utilizando CV*

Tipos de turbinas	Velocidades
Turbinas Pelton	$N_s \leq 100$
Turbinas Francis	$50 \leq N_s \leq 350$ (400)
Turbinas Kaplan	$N_s \geq 300$

*Nota:* Adaptado de (García Gutiérrez & Nava Mastache, 2014, p. 17).

En la tabla 2 se puede apreciar la clasificación del tipo de turbinas utilizando caballos de vapor (cv), y se puede apreciar que el rango de las turbinas Francis es tan amplio que incluso cubre el rango de las turbinas Pelton con tendencias cada vez mayores en el orden de 400.

### 2.2.2 Obras de captación

#### - Obras de conducción

Existen muchos casos en los que para conseguir la caída necesaria para poder producir energía y hacer mover las paletas de la turbina, se debe de conducir el agua almacenada en el dique por medio de canales, tubos a baja presión o incluso un túnel (BID & OLANDE, 1985, p. 80).

La obra de conducción tiene como principal elemento la compuerta radial, la cual será la encargada de permitir el paso del agua a la tubería de conducción que será dirigida al cuarto de máquinas para que la turbina entre en funcionamiento. La capacidad del mecanismo elevador puede definirse aplicando la siguiente ecuación:

$$CME = f + \text{Peso compuerta} + \text{Peso Vástago}$$

Donde

CME es la capacidad del mecanismo elevador.

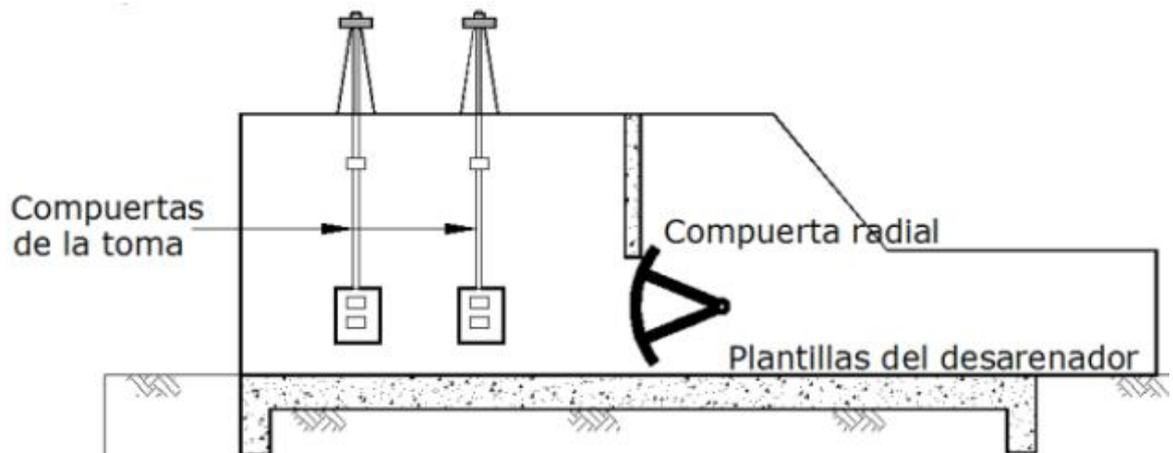
f es la fuerza de fricción producida por el empuje hidrostático

La fórmula que conlleva a la capacidad del mecanismo elevador (CME) se utiliza como elemento principal para que se efectúe la adquisición o construcción de compuertas que resistan la presión a la que serán expuestas una vez construido y puesto en marcha el desarenador.

En toda obra de toma, la disposición de las compuertas es esencial para que el agua fluya de manera correcta hacia el desarenador, si las compuertas no tienen el aguante suficiente para contener la presión del agua junto a sus residuos, la compuerta puede colapsar haciendo que el desarenador se llene de agua y posteriormente se colapse el sistema de filtrado.

**Figura 14**

*Obra de toma en presa derivadora*



*Nota:* Adaptado de (SAGARPA, s/f, p. 10)

En la ilustración se aprecia de manera gráfica la constitución de una obra de toma en una represa derivadora la cual consta con compuertas las cuales tendrán que ser accionadas desde la casa de máquinas con el fin de regular el paso de agua hacia los túneles de conducción que llegarán a alimentar las turbinas de la presa hídrica.

#### - Desarenador

Pequeñas partículas que son transportadas por el agua desde la presa de almacenamiento, usualmente suele pasar mediante la compuerta de distribución de caudal, para los cuales se necesita la construcción de los desarenadores los cuales buscan retener y eliminar aquellas pequeñas partículas que son arrastradas por el agua que usualmente resultan en el daño de las aspas de las turbinas de generación de energía (Proaño Procel, 2013, p. 20).

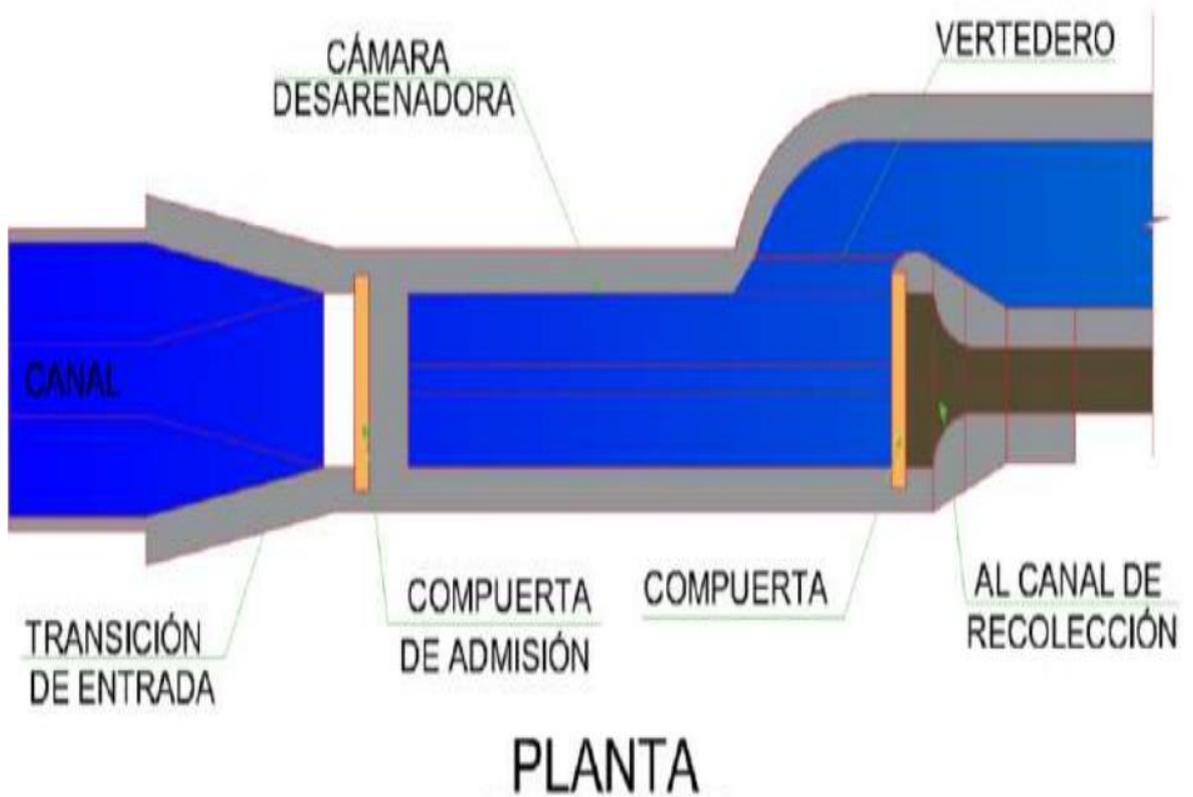
Un desarenador desarrollado en optimas condiciones evitará el ingreso de arenas y partículas a las estructuras situadas aguas abajo del desarenador, mientras que un desarenador mal diseñado cambiará la sección transversal de la nave, reduciendo así la capacidad del mismo debido al constante almacenamiento de sedimentos e incluso permitiendo el paso de partículas de agua a las turbinas generando así un desgaste a los rodets de las mismas (Gonzales Naquiche, 2020, pp. 23–24). Existen varios tipos de desarenadores entre los cuales se clasifican los siguientes:

- Desarenador de lavado continuo

Este tipo de desarenadores eliminan las partículas transportadas por el agua de manera continua y debido a eso es que la sedimentación y la descarga de sedimentos se efectúan de manera simultánea, este tipo de desarenador requiere que el caudal de diseño sea menor al caudal disponible.

**Figura 15**

*Desarenador de lavado continuo*

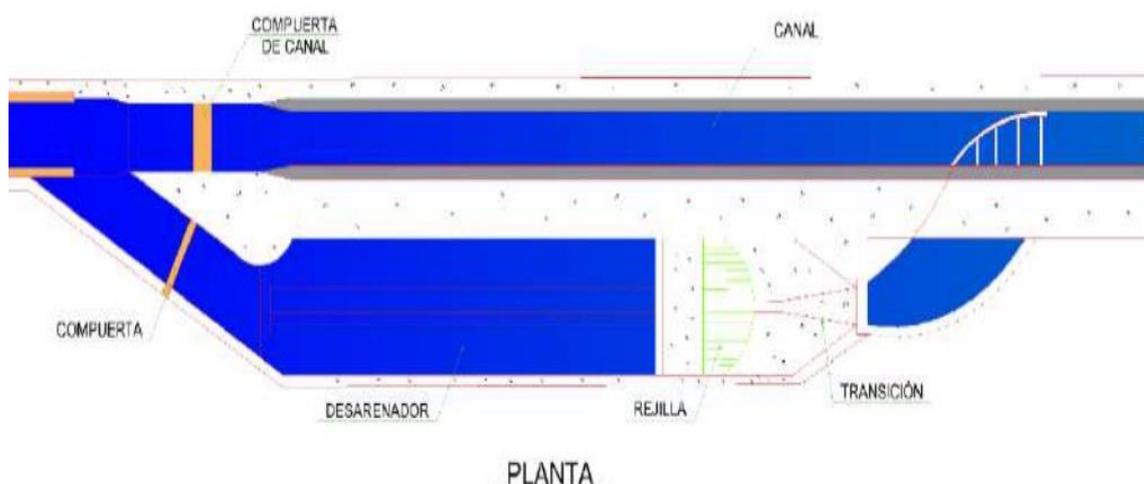


*Nota:* Adaptado de (Gonzales Naquiche, 2020, p. 24)

- Desarenador intermitente

Este tipo de desarenador acumulara los sedimentos que se encuentren en suspensión y los enviará al fondo del canal, dichos sedimentos se evacuaran a través del canal para completar la limpieza en el menor tiempo posible o en el caso de ser necesario se necesitará construir 2 o más cámaras desarenadoras o incluso un canal de by pass. Para este tipo de estructura es recomendable colocarla después de los túneles de captación justo por detrás de un canal con el fin de conseguir una velocidad de conducción uniforme.

**Figura 16**  
*Desarenador de lavado discontinuo o intermitente*



*Nota:* Adaptado de (Gonzales Naquiche, 2020, p. 25)

En la figura 16 se muestra un desarenador de lavada intermitente el cual aprovecha la mayor cantidad de agua posible a su vez que filtra y limpia el agua de partículas que puedan estropear.

### **2.3 Centrales hidroeléctricas en el Ecuador**

La energía hidroeléctrica en el país lleva ya muchos años asentada como una propuesta y un tipo de generación de energía eléctrica alternativa debido a varios problemas de déficit de energía que surgieron aproximadamente en el año 1992, efectuando así que desde el 2007 se diera inicio a la construcción de grandes infraestructuras productoras de energía que suplan aquel déficit que poseía el país. Como se puede apreciar en la tabla 5 son varias las presas hídricas que se han creado y que están en funcionamiento en el Ecuador.

La energía hídrica en el Ecuador es aun joven en lo que a tecnología de obra de se refiere, debido a la poca experiencia que posee el país en el tratamiento de aguas para el correcto funcionamiento de una central hidroeléctrica, no obstante, a lo largo de los años el país ha desarrollado un sin número de centrales hidráulicas las cuales han ayudado al abastecimiento de la demanda requerida del país, entre las tantas centrales que posee el Ecuador la siguiente tabla mostrará algunas de estas.

**Tabla 3**  
*Centrales hidroeléctricas en el Ecuador*

Hidroeléctricas	Ubicación	Tipo	Potencia nominal (MW)	Potencia efectiva (MW)
Coca codo Sinclair	Napo- El Chaco	Pasada	1.500,00	1.476,00
Paute	Azuay- Sevilla de Oro	Embalse	1.075,00	1.100,00
Sopladora	Azuay- Sevilla de Oro	Pasada	487	486
Minas san Francisco	Azuay- Pucara	Pasada	275,5	274,5
San Francisco	Tungurahua- Baños de Agua Santa	Pasada	230	212
Delsitanisagua	Zamora Chinchipe- Zamora	Pasada	180	180
Mazár	Azuay- Sevilla de Oro	Embalse	170	170
Agoyán	Tungurahua- Baños de Agua Santa	Embalse	160	156
Pucará	Tungurahua- Pillaro	Embalse	73	73
Manduriacu	Imbabura- Cotacachi	Pasada	63,36	65
Marcel Laniado	Guayas- El Empalme	Embalse	213	213
Hidrosanbartolo	Morona Santiago- Santiago	Pasada	49,98	49,95
Due	Sucumbíos- Gonzalo Pizarro	Pasada	49,71	49,71
Normandia	Morona Santiago- Morona	Pasada	49,58	49,58
Baba	Los Ríos- Buena Fe	Embalse	42,2	42
Cumbayá	Pichincha- DMQ	Pasada	40	40
Pusuno	Napo- Tena	Pasada	38,25	38,25
Abanico	Morona Santiago- Morona	Pasada	38,45	37,99
Topo	Tungurahua- Baños de Agua Santa	Pasada	29,2	27
Ocaña	Cañar- Cañar	Pasada	26,1	26,1

*Nota:* Adaptado de (Chanataxi et al., 2021)

Como se podrá observar en la tabla 3, muchas de las centrales hídricas en el país son con embalse o de pasada, y esto se debe a que el caudal de agua que maneja en país es el optimo para centrales de estos 2 tipos en específico.

Ecuador siendo un país con abundantes recursos naturales renovables y no renovables, apuesta por la generación de energía eléctrica de tal forma que se aminoren los valores de generación de CO<sub>2</sub>, disminuyendo así la emisión de gases de invernadero que ocasionan daños al ecosistema del país. El país como tal posee remarcables centrales de las cuales el Ecuador obtiene la mayor parte de su energía eléctrica, dichas centrales son las descritas en la tabla 6.

**Tabla 4**  
*Principales Hidroeléctricas del país*

Central Hidroeléctrica	Generación (MW)
Coca Coda Sinclair	1500
Sopladora	487
Minas de San Francisco	270
Toachi Pilatón	254
Delsitanisagua	180
Quijos	50
Maza dudas	21
Manduriacu	65
<b>TOTAL MW</b>	<b>2827</b>

*Nota:* Adaptado de (Guastay Cajo & Llanes Cedeño, 2020, p. 4)

La tabla 4 ilustra las principales centrales hidroeléctricas del Ecuador, con dichas centrales Ecuador es capaz de suplir su demanda energética en su totalidad, cumpliendo así con varios de los planes de electricidad que el gobierno establece.

### **2.3.1 Represas con embalse en Ecuador**

En el Ecuador un claro ejemplo de presa con embalse es el megaproyecto hidroeléctrico Paute – Integral, la cual está compuesta por un conjunto de 4 hidroeléctricas que se localizan una después de la otra en forma de cascada, 3 de las cuatro presas se encuentran ya en funcionamiento pleno, las presas que forman dicho proyecto aprovechan el caudal del río paute

**Figura 17**  
Proyecto Hidroeléctrico Paute - Integral



*Nota:* Adaptado de (Godoy Ortega, 2013, p. 40)

La figura 17 muestra el embalse de la central hidroeléctrica Paute Molino, la cual constituye la segunda hidroeléctrica mas grande del país, aportando un total de 160.387 GWh durante los 37 años que posee de funcionamiento continuo. Dicha central posee una capacidad de 1.100 MW y esta compuesta por la presa Daniel Palacios, que es de tipo arco gravedad con una altura de 170 metros (Noristz, 2020).

### **2.3.2 Represas de pasada en Ecuador**

La central hidroeléctrica minas San Francisco, esta central hídrica está ubicada en las provincias de Azuay y el Oro, cantones Pucará, Zaruma y Pasaje, la central aprovecha la potencia del Río Jubones que posee un caudal medio anual de  $48.26 \text{ m}^3/\text{s}$  que es aprovechable para su generación hidroeléctrica. La central hidroeléctrica inicio su construcción el mes de marzo del año 2012 y fue inaugurada el 15 de enero del año 2019, la central ha aportado al sistema no interconectado (S.N.I) una energía total neta de 2822.67 GWh desde noviembre de 2018 hasta junio del presente año (Ministerio de Energía y Recursos naturales no renovables, 2021).

**Figura 18**  
*Laúd de hidroeléctrica Minas San Francisco*



*Nota:* Adaptado de (CELEC SUR, s/f)

Como se puede apreciar en la figura 18 la central hidroeléctrica minas San Francisco expulsa el exceso de agua mediante su laúd debido que el cauce del río no puede verse afectado sino su capacidad productiva disminuiría a continuación, en la siguiente imagen se podrá observar en detalle el esquema de la central. Esta central está compuesta por una presa constituyente al tipo gravedad en hormigón rodillado de 54 metros de altura, la cual produce un embalse de regulación y control, esta obra se encuentra ubicada en el margen derecho del río Jubones que conecta con un túnel de conducción de aproximadamente 13.9 km. Como se aprecia en la figura 35 esta presa se encuentra de pasada por el río Jubones.

#### **2.4 Uso de nuevas tecnologías en la producción de energía hidráulica**

Las turbinas in-stream son un tipo de turbinas que tratan de revolucionar el mercado de las turbinas hidro-generadoras de energía eléctrica mediante la utilización de aguas corrientes como lo son las de los ríos, este tipo de turbinas no requieren del

desvío y la construcción de una represa, sino que se las puede instalar directamente en el río en cuestión, reduciendo en su máximo esplendor el impacto ambiental que muchas de hidroeléctricas poseen hoy en día (IES, 2020).

**Figura 19**

*Turbina In-stream en caudal de río pequeño*



*Nota:* Adaptado de (IES, 2020)

La figura 19 muestra un claro ejemplo de turbinas en caudales directos, evitando así la construcción de presas, minorando así los impactos negativos ambientales.

#### **2.4.1 Tecnología in-stream**

In-stream es una de las empresas que se encargan de la fabricación de este tipo de turbinas expresa en las especificaciones de las mismas que este tipo de turbinas disponen de ejes verticales los cuales son los encargados de aprovechar la energía cinética que el río produce.

Este tipo de turbinas se logran implementar gracias a la buena corriente que ofrece un río y con esta y muchas más características se puede implementar de manera correcta y sin sufrir ningún cambio o daño en el medio ambiente (IES, 2020), aunque sean de alto costo, la recuperación económica se ve reflejada en 5 años aproximadamente, con una ganancia de hasta un 200% del precio de compra.

**Figura 20**

*Instalación de una turbina in-stream*



*Nota:* Turbina in-stream en canal modificado. Adaptado de (IES, 2020).

En la ilustración 20 se puede apreciar como una turbina in-stream es instalada a medio caudal del río con el fin de aprovechar la misma fuerza de la corriente del agua para dejar la turbina en su lugar óptimo de funcionamiento.

#### **2.4.2 Turbinas in-stream**

Como ya se mencionó anteriormente en el informe las turbinas in-stream pueden ir instaladas ya sea en medio del río para mayor aprovechamiento de sus corrientes. Como se puede apreciar en la figura 32 la empresa encargada de producir este tipo de nuevas turbinas se encuentra realizando pruebas en un río con el fin de obtener datos sustentables que se mostraran en la tabla 5.

La pequeña estación de 3 turbinas in-stream como se muestra en la figura 21 poseen una capacidad de generación de aproximadamente 25 kW, cada una de ellas poseen paletas metálicas en forma de cuadros con el fin de aprovechar al máximo la corriente del río y evitar daños debido a los diferentes sedimentos que arrastra el mismo, dichas paletas están construidas parcialmente por acero inoxidable y por otra parte de aluminio.

**Figura 21**

*Prueba de turbinas In-stream en Duncan Dam*



*Nota:* Adaptado de (IES, 2020)

La figura muestra como se instalan 3 turbinas in-stream en el complejo Duncan Dam con el fin de evaluar si es factible instalarlas en ese lugar, este tipo de turbinas también son usadas en ambientes marítimos, ya que las fuertes corrientes marinas cerca de las orillas de las playas son lugares ideales de trabajo para este tipo de turbinas.

La tecnología que ofrece la empresa in-stream está empezando a tener impactos positivos en medios norteamericanos debido a la alta reducción de impactos y riesgos medio ambientales producidos por este tipo de turbinas, entre los mejores aspectos otorgados por este tipo de turbinas se encuentra su alta expectativa de vida y su recuperación de capital en tan solo 5 años de utilización.

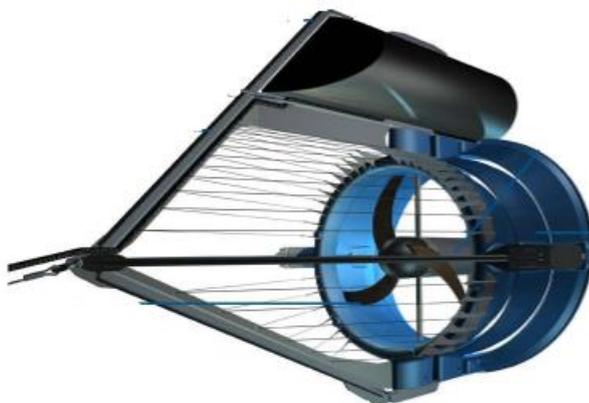
**Tabla 5**  
*Especificaciones de la turbina*

Características de la turbina	Valores reales
Rated power	25kW
Type	3 blades
Height of Blades	1.5 m
Diameter of Rotor	3 m
Swept Area	4.5 m <sup>2</sup>
Blade Material	Stainless Steel & Aluminium
Life Expectancy	>20 years

*Nota:* Adaptado de (IES, 2020)

La tabla 5 especifica de manera directa la potencia generada por la turbina, el peso, diámetro del roto, longitud de las aspas, material de las aspas y tiempo útil de una turbina in-stream. otro tipo de turbinas tales como las turbinas Smart monofloat también están diseñadas para ser instaladas en ríos y disponen por si propias un sistema de anclaje propio, este tipo de turbinas poseen, un flotador el cual se sumerge con el fin de evitar palizadas y residuos, un pequeño generador de imán subacuático capaz de producir corriente alterna trifásica, también posee un difusor el cuando protegerá al generador en el caso de que la velocidad del caudal del rio aumente, aumentando así la cantidad de agua que topará las aspas de la turbina.

**Figura 22**  
*Turbina smart Monofloat*



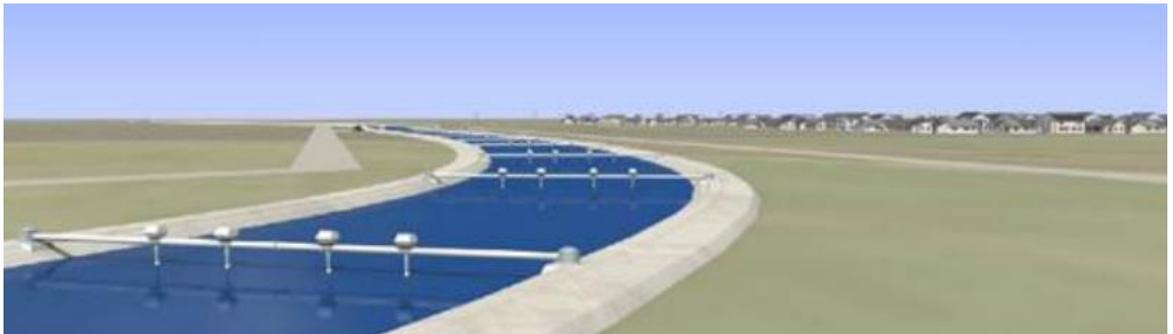
*Nota:* Adaptado de (Smart Hydro Power, s/f).

La figura 22 muestra una turbina monofloat a cuál es usada en ríos donde la cantidad de residuos que pasen por el río sean casi nulos. Varias de las empresas comercializadoras de este tipo de turbinas, realizan una construcción en 3D de los diferentes proyectos que ellos ofrecen, en muchos de los casos la misma empresa recomienda reforzar las orillas de los ríos con hormigón o con piedras forradas de alambre.

Como se podrá observar a continuación, para este tipo de turbinas el modelaje en tres dimensiones es un factor importante debido a que se debe de construir un muro de concreto alrededor del río con el fin de evitar colapsos de las cuencas no deseadas.

**Figura 23**

*Modelo 3D de posible canal*



*Nota:* Adaptado de (IES, 2020)

Adecuaciones que se podrían realizar en las orillas de los ríos con el fin de proveer un fuerte soporte a las estructuras de las turbinas, la figura 23 muestra una de las simulaciones creadas por la empresa con el fin de obtener un correcto y óptimo funcionamiento de sus turbinas en canales modificados para evitar así excesos de material que pueda producir averías en los álabes de sus turbinas.

## CAPÍTULO 3

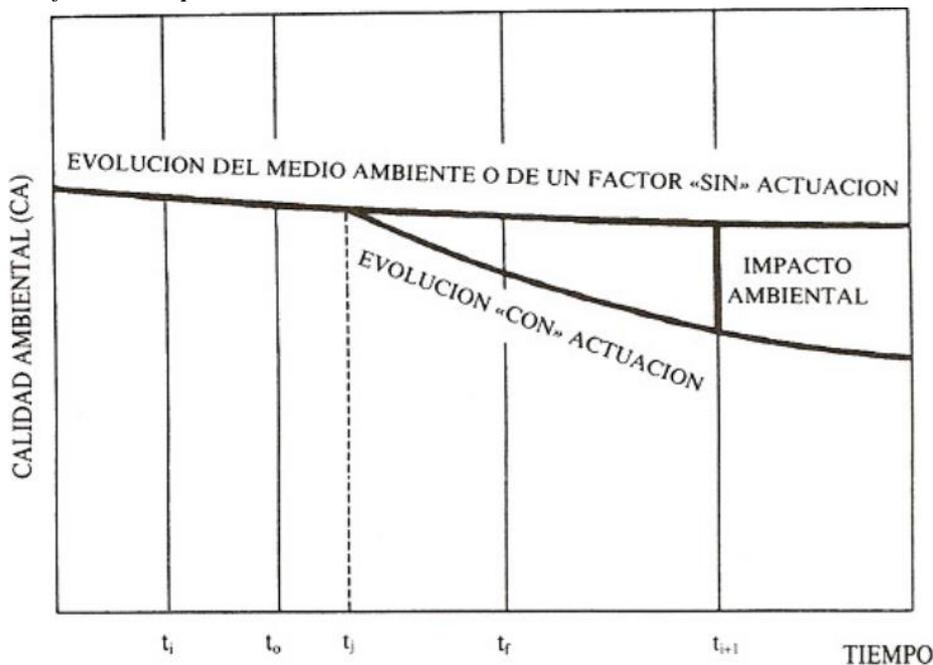
### IMPACTO AMBIENTAL

#### 3.1 Definición de impacto ambiental

Se conoce como impacto ambiental a la alteración, cambio en el ambiente, modificación en algunos de sus componentes debido a la acción o actividad humana, esta acción podría ser alguna obra de ingeniería, un plan de gobierno, un programa o alguna disposición que posea carácter jurídico.

**Figura 24**

*Gráfico del Impacto Ambiental*



*Nota:* Adaptado de (Cruz Mínguez et al., 2009, p. 9)

En la figura 24 se puede apreciar que el impacto ambiental no es más que la resultante entre la curva de evolución de la calidad ambiental sin un factor y la curva de evolución de la calidad ambiental con un factor, teniendo en cuenta el tiempo que transcurre entre ambos un impacto puede llegar a ser considerado como bueno o malo, y este resultado dependerá de las acciones que influyan en la evolución de la calidad ambiental en el tiempo. Como se puede apreciar en la figura 35, el impacto ambiental

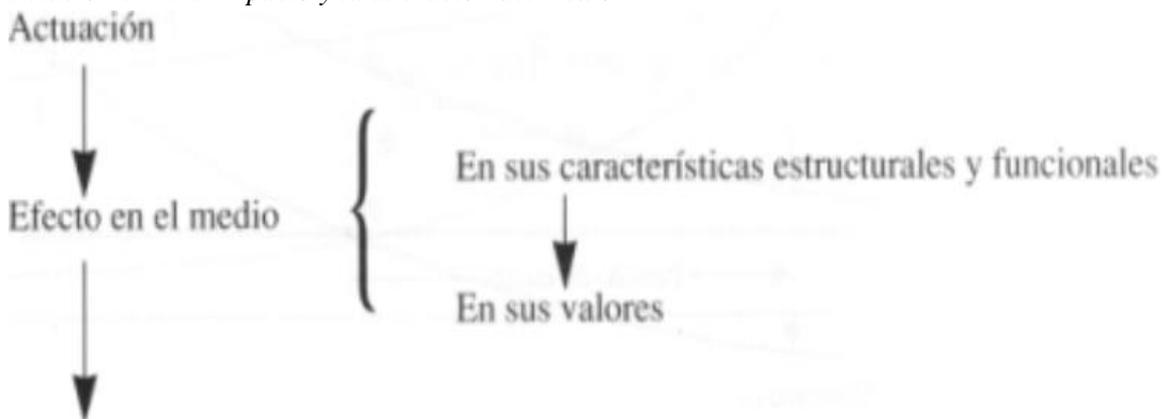
también se puede representar de manera grafica teniendo el eje Y la calidad ambiental y en el eje X la variable tiempo, como representación la primera línea paralela al eje Y se la identifica como  $T_i$  la cual hace referencia al momento actual, la segunda línea paralela al eje Y representa  $T_o$  el cual se refiere al momento cuando inicia la acción, la tercera línea paralela al eje Y es  $T_j$  la cual indica el momento de inicio del impacto ambiental, la cuarta línea paralela al eje es  $T_r$  la cual indica el momento en que finaliza la acción y la ultima línea paralela al eje Y indica el momento de interés que se considera en el estudio que se representa en el grafico de manera  $T_{j+1}$ .

### 3.1.1 Concepto de impacto ambiental

Como ya se ha mencionado el impacto ambiental se aplica para cualquiera que sea la alteración que se produzca debido a una actividad humana, no se suele aplicar el término impacto a las alteraciones que sea causadas por efectos medio ambientales propias, es decir por fenómenos naturales, tales como sismos, tormentas, tsunamis, etc; por tanto, el impacto ambiental es únicamente generado por la humanidad y posee las facetas mostradas en el siguiente grafico.

**Figura 25**

*Relación entre el impacto y la alteración del medio*



*Nota:* Adaptado de (Cruz Mínguez et al., 2009, p. 10)

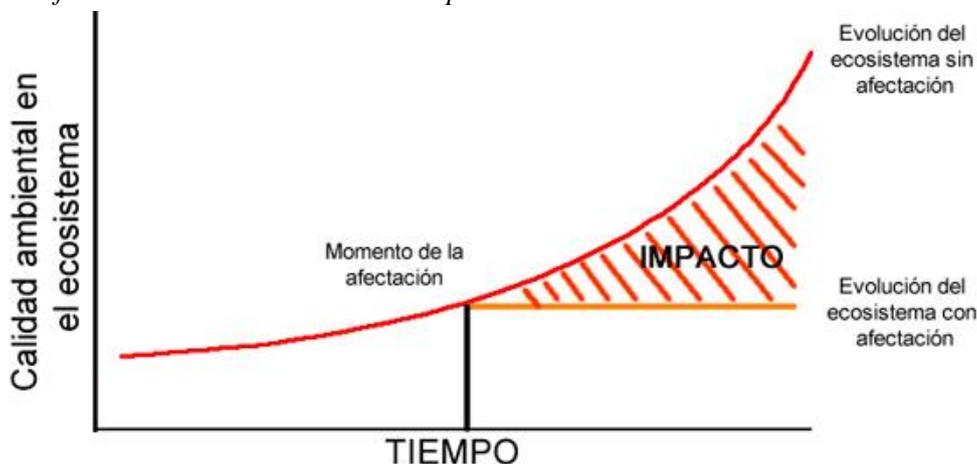
Como muestra el gráfico anterior, todo impacto ambiental generado por actividad humana posee etapas que van la una después de la otra de la siguiente manera,

- La modificación del conjunto del sistema ambiental o de alguno de los factores ambientales.
- La modificación de un valor de factor que se vea alterado o del conjunto del sistema ambiental por si mismo.
- El significado o interpretación medio ambiental de aquellas modificaciones, esta tercera faceta esta sumamente relacionada con el punto anterior ya que el valor no puede desligarse del significado ambiental principal.

Siempre que exista o se realice una actividad humana habrá impactos, sean negativos o positivos, usualmente mayor parte de ellos son despreciables, para que un impacto tenga atención significativa debe estar afirmada y respaldada por el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental la cual es la que señala cuales son los estudios que se deben de realizar y cuales son los efectos notables que se pueden apreciar. El impacto puede ser ocasionado por alguna actividad que se encuentre en pleno funcionamiento o también puede ser potencial, refiriéndose este ultimo al impacto que pueda ocasionar una actividad en marcha o los impactos que puedan llegar a derivarse de alguna acción de un proyecto en caso de ponerse en marcha. El impacto también se lo puede considerar como la diferencia de la evolución del entorno con o sin acción humana, la alteración es medida por la diferencia entre la evolución que tendría el entorno sin actividad causante y la presencia que posee el mismo.

**Figura 26**

*Gráfica de calidad ambiental vs tiempo*



*Nota:* Adaptado de (Flores Ramírez, 2016)

Para que el efecto ambiental pueda ser considerado un impacto como tal, se debe de valorar dicho impacto con el fin de saber si dicho impacto es negativo o positivo para el medio ambiente, es muy importante tener en cuenta que una única acción no va a afectar de manera singular al medio ambiente, sino que la misma afectará a varios de los factores medio ambientales.

### 3.1.2 Factores de riesgo

Para la identificación de los factores se tienen que tener en cuenta los siguientes criterios de valoración, los factores deben ser representados por el entorno afectado; dichos factores deben indicar la magnitud y también indicar la importancia de dicho impacto; a su vez deben ser excluyentes, no deben redundar ni tampoco debe haber solapamiento; deben de ser fácilmente identificables para su fácil estudio en trabajos de campo; y por ultimo deben ser fácilmente cuantificables y en el caso de no serlos se deberá recurrir a modelos de cuantificación específicos.

**Tabla 6**  
*Factores del medio físico o natural*

Componente	Riesgos
Inerte	Represamiento embalse
	Perdida de la biodiversidad
	Sedimentación
	Modificaciones a la calidad del agua
	Efectos sísmicos
	Modificaciones a las cuencas hidrológicas
Socio económico	Desplazamientos de pueblos indígenas y tribus
	Impactos sobre pequeñas comunidades

### **3.2 Riesgos ambientales en la construcción de centrales hidroeléctricas**

En la actualidad la toma de decisiones para la construcción de una central hidroeléctrica con embalse solo se tiene en cuenta la rentabilidad de estas omitiendo por completo el daño irreversible que puedan ocasionar las mismas, las cuales como ejemplo claro de contaminación que se puede destacar es la generación de gases de invernadero debido a un proceso de descomposición anaeróbica que es ocasionada al inundar vegetación y materia orgánica, a este efecto se le puede sumar como impacto a la inundación de bosques completos lo que significa pérdida de hábitats animales y vegetales (Godoy Ortega, 2013, p. 47).

El potencial de generación de energía hidroeléctrica en muchas regiones montañosas del mundo está en gran parte intacto, especialmente en los países menos industrializados y menos desarrollados. La probable evolución de la crisis energética, un aumento constante de los precios del petróleo y una disminución constante de los recursos disponibles, ejercerá una presión creciente sobre estos países para que desarrollen este potencial sin importar el coste. Los países industrializados deberían hacer todo lo posible para poner su experiencia a disposición de los que aún no han desarrollado su potencial hidroeléctrico.

Es bastante seguro que se construirán grandes centrales hidroeléctricas en zonas que hasta ahora no han sido tocadas por la civilización. También se reconoce que la construcción de estas grandes obras puede tener efectos secundarios perjudiciales. Sin embargo, no se sabe si los futuros planificadores y constructores de estas centrales considerarán cuidadosamente estos problemas, si tendrán en cuenta las experiencias del pasado. No obstante, estas experiencias deberían estar disponibles.

Existen riesgos que se caracterizan por estar presentes en la etapa de construcción los cuales son los que se llevan a estudio de manera inmediata antes de que se culmine con la obra, con el fin de proteger el medio ambiente y conservar los protocolos adecuados establecidos por la ley de protección ambiental.

Por otro lado, también existen riesgos que surgen en la etapa de operación de la cualquier proyecto y dichos factores tiene que ser analizados con la mayor rapidez posible con el fin de evitar un desastre dentro de la obra que ocasione malestares a las comunidades próximas al proyecto o incluso que cobre vidas mortales de trabajadores del proyecto.

A continuación una breve descripción de los factores y acciones que fueron tomados en cuenta para la realización de la matriz de Leopold, en este proyecto se analizarán 7 factores y 7 acciones en los cuales no todo es tan malo como parece ya que ciertas acciones ayudan a que los factores no sean de impacto negativo completo.

Factores de riesgos más comunes:

- Calidad del aire. - En varios de los lugares en los cuales existen diques hidroeléctricos, varias de las personas aseguran que el lugar pierde su concentración de oxígeno, debido a los gases que se producen por medio del estancamiento de las aguas en el embalse.
- Deposición. - El estancamiento de aguas en el dique produce sedimentos que se quedan en el fondo del mismo y que una vez que la represa pasa a su etapa de desguace, todos esos sedimentos afectan al entorno debido a que los mismos producen gas metano, el cual es uno de los que más influye en la contaminación del medio ambiente, ya que forma parte de los gases de invernadero.
- Bosque. - La tala indiscriminada de árboles es el factor que más repercute en la construcción de un dique hidroeléctrico.
- Animales terrestres. - el llenado de cualquier dique hidroeléctrico, amenaza directamente a la fauna animal que vive en las zonas aledañas de la hidroeléctrica.

- Peces y moluscos. - el cambio de cauces de varios de los ríos al momento del llenado afecta con la migración de varias especies de moluscos y peces que acuden a la zona con el fin de aparearse.
- Pesca. - debido a la escasez de peces en el cauce del río la pesca se ve afectada directamente, y esto repercute en el ámbito social de los habitantes circundantes a la zona del dique.
- Agricultura. - la destrucción de los terrenos y contaminación de estos afecta a los agricultores de la zona.

Acciones para mitigar los factores de riesgo:

- Controles biológicos. - los controles biológicos aumentan en la zona en los cuales se vaya a construir un dique hidroeléctrico, y esto a la larga puede llegar a salvar varias vidas de la fauna silvestre que habita en la zona.
- Modificación del clima. - la tala de árboles en masa, afecta el ecosistema en el que se encuentran, ejemplo: si se habita en una zona de lluvias y se produce una tala de árboles masiva, la zona se vuelve un poco menos húmeda y torna a hacerse seca.
- Pavimentación. - la pavimentación del suelo afecta de manera negativa al mismo, tornando la zona en una zona árida y de muy baja producción agrícola.
- Ruidos-vibraciones. - los altos ruidos que produce el vaciado de la presa, confunde a ciertas clases de aves que se desvían, y también afecta a la resistividad del suelo, acelerando la erosión propia de la tierra.

- Líneas de transmisión. - por su parte, la construcción de líneas de alto voltaje, afectan a las especies de aves exóticas que viven en las aéreas por donde va a pasar el tendido eléctrico.
- Presas-embalses. - la construcción de estos, ocasiona grandes destrucciones a nivel de ecosistema.
- Excavación del subsuelo. - debido a la cantidad de tierra que se debe extraer, con el fin de elaborar un buen dique, se generan socavones de tierra en las aéreas circundantes, y debido a los agujeros que quedan, la erosión natural del agua avanza más rápido por los ríos.

### **3.2.1 Riesgos a pequeñas comunidades**

El daño medio ambiental que pueden ocasionar las centrales hidroeléctricas son varios, entre los que incluyen destrucción de ecosistemas, devastaciones en especies animales y vegetales, contaminación de recursos hídricos, destrucción de terrenos ancestrales, tales son los daños causados por las centrales que incluso se puede llegar a violentar el derecho a un ambiente sano. Como lo establece el protocolo de San Salvador en su artículo 11 que todo ser humano tiene derecho a vivir en un ambiente sano y a contar con los servicios públicos básicos, por ende, si se construye una central hidroeléctrica y la misma destruye de manera irreversible el medio ambiente, esta estaría violentando este derecho.

A más de aquel derecho, la protección ambiental es un derecho internacional que trasciende la preservación del ambiente de una persona o comunidad, ya que este derecho pertenece a los derechos internacionales de protección medio ambiental para proteger a la humanidad, así mismo el impacto de las hidroeléctricas puede llegar a ser tan negativo para la mantención de comunidades tribales. Ya que al desviar los causes de los ríos las comunidades indígenas pierden fuentes de alimentación e hidratación, obligándolos así a migrar a tierras que no son propias de su cultura y causando así un

cruce de etnias la cual puede terminar con choques culturales. El impacto es tal que la comisión mundial de represas (CMR) estimó que hasta el año 2000 las grandes represas han desplazado a un total aproximado de cincuenta millones de personas a nivel mundial.

### **3.2.2 Desplazamiento de pueblos indígenas y tribales**

Por otro lado, los planes de reasentamiento deben ser imprescindibles con el fin de garantizar el derecho en contra al desplazamiento forzado, sin estos prever el impacto de los proyectos sería imposible, con dichos planes también se puede realizar una correcta estimación de los recursos que son necesarios para que la población desplaza sean compensadas por los daños ocasionados en sus zonas. Si estas medidas no son tomadas, fácilmente la reubicación de las personas se puede transformar en una movilización forzosa lo cual implicaría en el incumplimiento de los derechos humanos internacionales.

Este tipo de problemas están ligados a la falta de estudios y evaluaciones de impacto ambiental, las cuales priorizan el bienestar de los seres vivos y poseen planes de contingencia en el caso de que alguno de estos impactos afecte de manera directa y irremediable al medio ambiente, pero en muchos casos las autoridades aceptan los proyectos mucho antes de ser analizados por un especialista en el tema como ocurre en el caso de la represa Baba en Ecuador, dicho caso será explicado más a fondo, en los sub capítulos siguientes.

Las comunidades y pueblos indígenas son las más afectadas ya que como lo establecen artículos de la organización internacional del trabajo y también en artículos de la convención americana y en algunas declaraciones de las naciones unidas establecen que, los pueblos cuyos recursos se vean directamente afectados por la construcción de obras, los encargados de las mismas deberán consultar a las tribus de las zonas aledañas y este será un requisito esencial para la aprobación del mismo. Sin embargo, como es de conocimiento la consulta a los pueblos tradicionales que serán

afectados por la obra es omitida y simplemente hacen caso omiso a las declaraciones antes mencionadas.

### **3.3 Riesgos en la diversidad biótica**

En la construcción de un embalse se producen varios impactos ambientales, tales como la afectación al clima debido a la deforestación masiva de grandes bosques, la eliminación de especies animales y vegetales las cuales irrumpen de manera directa con el derecho a una vida saludable para el resto de la humanidad entre otros.

En definitiva, la afectación que produce una hidroeléctrica tanto en su etapa inicial como final, son muy notorios y de no ser neutralizados en su totalidad, se puede llegar a perder un bioma completo lleno de diversos tipos de fauna y flora, por dicha razón el uso de evaluación y métodos que reduzcan dichos cambios son esenciales en los mismos.

Los efectos generados en el agua y en el ecosistema que las represas ejercen también afectan directamente a la biodiversidad de la región, dichos cambios también arrastran cambios en los niveles de temperatura, minerales y oxígeno del agua, siendo estos nocivos para especies nativas de peces, moluscos, anfibios y mamíferos que viven en las áreas circundantes.

Una de las consecuencias en la biodiversidad acuática es la afectación de hábitats de especies migratorias las cuales suelen migrar a causas mas cálidas y tranquilas con fines reproductivos, se estima que el cuarenta por ciento de especies migratorias mueren en su camino de búsqueda a nuevos cauces que les permitan cumplir con su etapa de apareamiento, otro punto distinto es la afectación a especies nativas de aquellos cauces, por ejemplo en Brasil la pesca de bagres nativos del amazonas ha disminuido en un setenta por ciento debido al desvío de los ríos por la construcción de hidroeléctricas.

### 3.3.1 Sedimentación

Por lo general, los embalses se construyen en los ríos para distintos tipos de uso, ya sea, para riego, para la generación de energía, para la regulación de la descarga y para el control de las inundaciones. La capacidad de los embalses puede dividirse en tres partes: el volumen de almacenamiento muerto (volumen por debajo del nivel de salida más bajo, que no puede extraerse), el volumen de almacenamiento activo o vivo (volumen entre el nivel de salida más bajo y el nivel de superficie normal) y el volumen de almacenamiento de control de inundaciones (volumen entre el nivel normal y el nivel de superficie máximo).

La sedimentación del embalse se produce por el flujo de agua y sedimentos hacia el mismo, básicamente, todo el sedimento (grava, arena y lodo) transportado a un embalse por un río procede de la erosión de la superficie del terreno; Cuando el caudal del río entra en un embalse, su velocidad y, por tanto, su capacidad de transporte se reducen y la carga de sedimentos se deposita en el embalse.

La cantidad de sedimentos depositados depende de los tipos de sedimentos del sistema fluvial, de la forma del embalse, el tiempo de almacenamiento de la detención y los procedimientos de explotación. Los principales procesos de sedimentación en los embalses se dividen en tres categorías básicas:

- Deposición deltaica de materiales principalmente gruesos (grava y arena) (en la sección de entrada del embalse)
- Deposición de sedimentos finos (limo y lodo) a partir de un flujo homogéneo
- Deposición de sedimentos finos (limo y lodo) por flujo estratificado (corriente de turbidez).

A menudo, más del 90% de la carga de sedimentos entrantes queda atrapada y se deposita en estratos horizontales o en finas bandas en el fondo del embalse. En todo

el mundo, unos 40.000 grandes embalses sufren de sedimentación y se calcula que se pierde entre el 0,5% y el 1% de la capacidad total de almacenamiento al año.

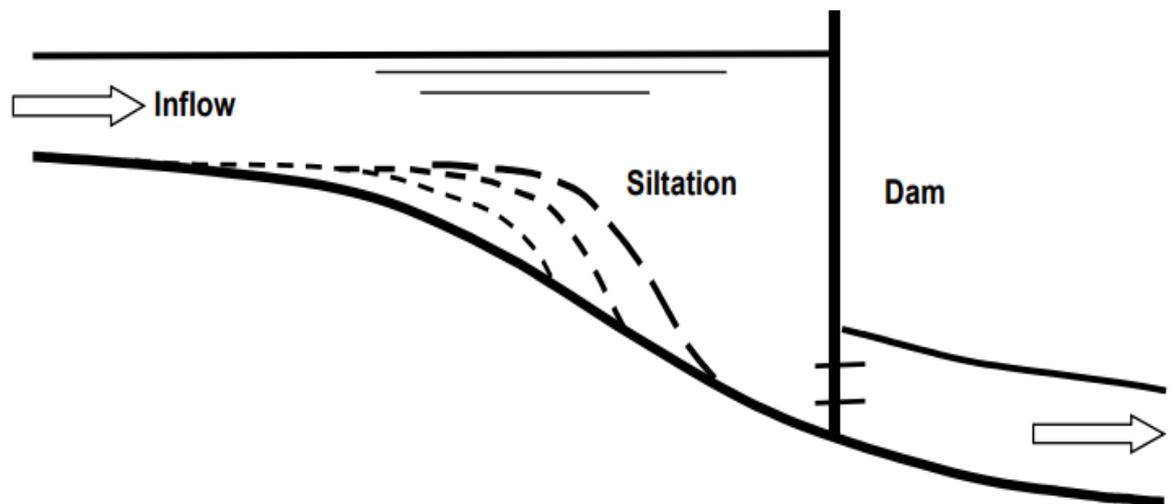
Los embalses suelen desarrollar estratificaciones de densidad debido a las diferencias de temperatura, salinidad y turbidez entre las distintas capas, estas estratificaciones de densidad son importantes para la circulación del agua y los sedimentos. La entrada de una corriente con una determinada densidad en un agua estancada con densidad ligeramente diferente puede producirse como una corriente en forma de penacho o de chorro, impulsada por las diferencias de densidad entre el flujo de entrada cargado de sedimentos y el agua clara del embalse.

La corriente de turbidez se sumerge bajo el agua clara y se mueve hacia la presa como una corriente sumergida, los sedimentos se depositarán de la corriente de turbidez y se depositan a lo largo del embalse a medida que la corriente se desplaza hacia la presa. En condiciones desfavorables, como una pendiente de fondo inadecuada o una duración insuficiente de la crecida, la corriente de turbidez se disipará antes de llegar a la presa.

El sedimento en una corriente de turbidez suele ser cohesivo, las corrientes de turbidez de baja velocidad son capaces de transportar grandes cantidades de sedimentos finos a las partes más profundas del embalse. En general, se distinguen tres tipos de corrientes de turbidez: aceleradora-erosiva, desaceleradora-erosiva y corrientes de turbidez de deceleración-deposición. En una corriente de turbidez de depósito la diferencia de densidad disminuirá gradualmente y finalmente desaparecerá, la propagación de la corriente de turbidez generalmente a lo largo de canales preexistentes, induce un flujo o circulación inversa en el embalse.

El punto en el que la corriente fluvial y el flujo inverso inducido se conectan se conoce como punto de inmersión, la cabeza o nariz de la corriente de turbidez es un frente que proporciona la energía potencial para vencer la inercia del agua del embalse por delante de la corriente.

**Figura 27**  
*Sedimentación en un embalse*



*Nota:* Adaptado de (Van Rijn, 2013, p. 2)

Como se puede apreciar en la figura 27, la mayoría de los depósitos tienen una configuración básicamente unidimensional, siendo la longitud del depósito mucho mayor que la anchura y la profundidad del mismo. Por último, se analiza la eliminación de los sedimentos del embalse mediante el lavado.

### **3.3.2 Destrucción del ecosistema**

La transformación en los ecosistemas no solo genera afectaciones en la producción y en la vida de las poblaciones circundantes a la zona, como ya se ha explicado previamente, sino que también genera daños irreparables a los ecosistemas debido a la inundación de zonas boscosas, alterando así el orden natural de la tierra, obligando a especies animales y poblaciones de personas a adaptarse a ambientes totalmente ajenos a los que han estado acostumbrados habitualmente; la construcción de embalses sumerge por completo cientos de hectáreas de zonas altamente fértiles, generando una pérdida enorme para los agricultores de la zona, la propagación de nuevas enfermedades en zonas donde nunca antes han aparecido como por ejemplo el dengue, este tipo de efectos también son atribuidos al embalsamiento del agua, según investigadores varias de las comunidades que han sido afectadas por la construcción de grandes embalses promueven ideas que van en contra de la construcción de centrales hidroeléctricas

- No promover las grandes represas como fuentes de energía limpia.
- Aumentar los incentivos para las iniciativas y proyectos de verdaderas fuentes de energía renovable.
- Excluir a las grandes represas de los mecanismos de incentivos de la Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como el fondo verde climático y el mecanismo de desarrollo limpio.

Adoptar procesos de toma de decisiones transparentes y participativos en el sector energético para satisfacer mejor las necesidades de las sociedades y comunidades.

### **3.4 Afectaciones hidrológicas y fenómenos sísmicos**

El desplome o fisuras dentro de un proyecto hidroeléctrico son temas muy importantes a tener en cuenta al momento de la construcción de las mismas, sin embargo, no solo pueden ocurrir desplomes dentro de la central sino también en montañas aledañas a la misma o incluso deslaves de tierra ocasionados por la erosión natural del agua como se puede observar en la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair la cual sufre daños estructurales a causa de la erosión acelerada del agua la cual está ocasionando derrumbes en las zonas circundantes a la hidroeléctrica.

#### **3.4.1 Afectación de cuencas hidrológicas**

Varias de las grandes represas suelen ser construidas bajo el argumento que sus embalses abastecerán con grandes cantidades de agua apta para el consumo humano a varias de las comunidades aguas debajo de la central, siendo todo esto un engaño para las comunas ya que el efecto producido por el estancamiento del agua en embalses provoca que dicha agua se torne insalubre y no apta para el consumo.

**Tabla 7***Procesos que afectan la calidad del agua*

Contaminantes y procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la	Fuentes industriales, domésticas
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutroficación	Fuentes industriales, domésticas
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centro industriales y mineros	Fuentes industriales, mineras, actividades militares
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados	Fuentes municipales
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, entre otros	Fuentes industriales, asentamientos humanos
Partículas suspendidas	Partículas de naturaleza orgánica u origen inorgánico y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio de tierra	Industria , asentamientos humanos
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados	Presencia de sales en los suelos

*Nota:* Adaptado de (Escobar Llanos, 2002, p. 11)

Como se puede apreciar en la tabla 8 para controlar los procesos que puedan contaminar el agua aguas arriba o aguas debajo de la central, se ha elaborado una tabla con el fin de establecer algunos de los procesos que contengan incidencia alguna en la afectación de la hidrología del sitio circundante a la hidroeléctrica. Adicionalmente, está muy bien comprobado que las grandes represas no solo afectan al río del que se abastecen sino también afectan a los ríos tributarios a los mismos. Muy aparte de las hidroeléctricas existen varios otros contaminantes que llevan a afectación hídrica de la zona como consecuencia de asentamientos urbanos en zonas ancestrales.

### 3.4.2 Efectos sísmicos

Otro de los alarmantes problemas encontrados que se encuentran vinculados directamente con la construcción de embalses son los efectos sísmicos que dichos embalses producen debido a dos grandes razones, la primera es por el gran volumen que soportan las presas al contener volúmenes muy grandes de agua embalsada, y la segunda es por el peso mismo del muro que sostiene al agua embalsada. Hasta ahora

los siguientes problemas más críticos no han sido considerados satisfactoriamente en el diseño sísmico de las presas de arco alto.

Además, la estabilidad de la roca de cimentación en los estribos es un factor decisivo para el diseño sísmico de las presas de arco alto. Sin embargo, el enfoque tradicional del método de equilibrio límite ampliamente utilizado en la ingeniería de presas para el análisis de la estabilidad de los bloques de los estribos de las presas de arco como un cuerpo rígido separado de la presa no puede considerar ni el acoplamiento de deformaciones ni la interacción dinámica entre la presa y ni los efectos dinámicos de las orillas del cañón durante un terremoto. Recientemente, se han realizado grandes esfuerzos para analizar los efectos de la acción sísmica de las presas con la consideración de todos los problemas críticos antes mencionados de forma simultánea. En China se ha desarrollado y utilizado ampliamente un modelo más realista con un método eficaz para analizar las presas.

Este tipo de estudios fueron realizados por primera vez en el año 1940 debido a los fuertes temblores en estados a causa de la construcción de la repesa Hoover, también se estima que grandes terremotos haya sido influenciados por la construcción de grandes presas como por ejemplo la presa Koyna en India. La mayor parte de esos eventos sísmicos están relacionados con presas de más de cien metros de altura, la teoría afirma que estos fenómenos son causados por la alta presión del agua embalsada que contribuye a la lubricación de las fallas tectónicas reduciendo así la superficie de rozamiento entre las rocas subterráneas.

El desastre de Koyna dio lugar a que se empezaran a estudiar acciones de sismicidad inducida por el llenado de embalses, tal como ocurrió en Koyna, que antes de la construcción de la presa era un lugar donde no existía actividad sísmica pero a raíz de la construcción de la misma la actividad sísmica incrementó drásticamente, llegando a causar un terremoto de gran escala el cual devastó gran parte de la presa, dejando un total aproximado de 180 personas y destruyendo casi el ochenta por ciento de la ciudad a causa del sismo.

## **Figura 28**

*Efectos del terremoto en la presa de Koyna*



*Nota:* Adaptado de (Gough & Gough, 1970)

Como se puede apreciar en la imagen 28 el terremoto devastó gran parte de la presa a pocos días de que la misma entrara en funcionamiento, desde aquel incidente los estudios para esclarecer el dilema de la inducción sísmica debido a la construcción de grandes embalses se tornaron algo de suma importancia con el fin de evitar futuros siniestros en la construcción de centrales hidroeléctricas con grandes embalses.

### **3.5 Análisis de impactos ambientales**

#### **- Efectos físicos**

Para delimitar e identificar los efectos medioambientales de las instalaciones hidroeléctricas, diversos organismos oficiales interesados en el tema han promulgado varias definiciones, pero éstas varían con el tiempo y a menudo están formuladas de forma ambigua. Además, dado que las distintas organizaciones definen las pequeñas centrales hidroeléctricas de forma diferente, pocos de los datos relacionados con las

grandes y pequeñas instalaciones hidroeléctricas se encuentran en formas coherentes y comparables. La cantidad de tierra inundada por un embalse tras la finalización de una presa hidroeléctrica es útil como índice de alteración del ecosistema. Las tierras inundadas desplazan o eliminan la biota terrestre al destruir el hábitat y alterar el ecosistema acuático del río que antes fluía libremente. Sin embargo, la superficie real inundada no es completamente satisfactoria como medida de la alteración del medio ambiente, la superficie de un embalse es menor que la superficie inundada de una manera que depende de la cuenca geográfica y de la variación del terreno en el lugar. Además, la perturbación ecológica se extiende por un área que supera la superficie de terreno directamente inundada. La fauna desplazada al hábitat que rodea al embalse perturba la estabilidad de ese hábitat al aumentar la competencia por los recursos restantes. Se puede argumentar que la tierra inundada para un embalse no se consume en el sentido de que la superficie de un embalse puede utilizarse luego para actividades humanas, como la navegación recreativa, el desarrollo de la pesca en aguas tranquilas, entre otras.

#### - Sedimentación

Toda masa de agua que fluye libremente arrastra una cantidad de materia en suspensión: la carga de sedimentos y la carga del lecho. Los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en el río proporcionan muchos de los nutrientes necesarios para la biota acuática. Los sedimentos también desempeñan un papel en la protección de los tramos aguas abajo contra la erosión, ya que aumentan la viscosidad del agua, disminuyen la velocidad y el efecto agrio de las aguas claras y rápidas, y depositando sedimentos a lo largo de las orillas del río. La transferencia de sedimentos de las regiones de aguas arriba a los estuarios y bahías es una valiosa fuente de nutrientes y materiales para los ecosistemas estuarinos. La carga de sedimentos de un río varía en función de numerosos factores, como el clima de la región, la naturaleza y la extensión de la cubierta vegetal de la cuenca, la geología y las características del suelo, la pendiente del terreno y del río, y el uso del suelo en la cuenca. La sedimentación es un problema medioambiental importante en el desarrollo hidroeléctrico por dos razones: las instalaciones hidroeléctricas afectan al flujo de sedimentos y, por tanto, de nutrientes y materiales aguas abajo de las presas; y los sedimentos afectan al volumen de almacenamiento y al funcionamiento de los embalses al ir desplazando la capacidad

útil de la misma. La pérdida de capacidad de almacenamiento afecta a la cantidad de energía que se puede producir, el modo de funcionamiento de la instalación, la capacidad del desarrollo para proporcionar de control de inundaciones y la calidad del agua del embalse. La pérdida de almacenamiento también de la producción de energía de punta a la explotación en régimen de aguas corrientes, ya que reduce la cantidad de agua que puede almacenarse para ser liberada en el momento en que se produzca la inundación. agua que puede ser almacenada para ser liberada en un momento posterior.

#### - Pérdidas por evaporación y filtración

El agua se pierde de los embalses y otras masas de agua como resultado de la evaporación de la superficie expuesta y por la filtración a través de las formaciones rocosas porosas subyacentes. Aunque los proyectos hidroeléctricos se consideran a menudo como recursos no consuntivos, la pérdida de agua por evaporación de una región debido a la presencia de grandes áreas de embalses artificiales representa el consumo de un recurso que, de otro modo, estaría disponible para uso humano y ecológico aguas abajo.

Los conflictos por el agua entre los usuarios agrícolas, industriales, comerciales industriales, comerciales y funciones de apoyo ecológico se intensifican con esta pérdida de agua. Como el agua se ha vuelto más preciada en diferentes regiones de Estados Unidos y del mundo, la evaporación y la filtración de los embalses artificiales han recibido cada vez más atención. La evaporación se produce de forma natural desde la superficie de cualquier masa de agua.

De hecho, uno de los primeros aspectos de la investigación hidrológica incluía estimaciones y estudios de la evaporación de los embalses y lagos regulados, las pérdidas brutas por evaporación de los embalses artificiales parecen superar el uso consuntivo del agua por parte de todas las demás actividades, aunque esta pérdida se suele ignorar. En parte, esto se debe a la percepción de que dichos embalses proporcionan un beneficio neto de agua al permitir que se almacene para su uso el agua que, de otro modo, se habría perdido en la escorrentía durante los períodos de gran caudal.

La evaporación del agua está directamente relacionada con la superficie de la masa de agua y varía con la temperatura, las condiciones del viento y la humedad de una región. En la tabla 8 se resumirán varios de los impactos mas incidentes en la construcción de embalses para centrales hidroeléctricas.

**Tabla 8**

*Impactos ambientales*

Escenario de Riesgo	Impactos
Embalsamiento de agua	Sedimentación, generación de gas metano
Pérdida de biodiversidad	Pérdida de flora y fauna
Modificaciones a la calidad del agua	Contaminación de agua limpia y subterránea
Efectos sísmicos	Sismisidad inducida
Modificaciones de cuencas hidrológicas	Modificaciones de cauces de ríos, afectación pesquera
Desplazamientos de pueblos indígenas y tribales	Impactos sobre pequeñas comunidades

Los impactos ambientales no solo están ligados a aspectos físicos sino que también incluyen aspectos sociales como lo es el desplazamiento de poblaciones que viven cerca del lecho del rio o incluso de pueblos tribales que han estado asentados en la zona por cientos de años, y este es uno de los mas grandes problemas en la construcción de grandes embalses para centrales hidroeléctricas. Varias de las comunas hoy en día realizan huelgas contra este tipo de construcciones debido a que se ven afectados de tal forma que tienen que verse en la obligación de mudarse a lugares nunca antes conocidos por ellos lo cual provoca choques culturales y sociales los mismos que producen que exista un cierto aumento de pobreza en la zona.

## CAPÍTULO 4

### EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

El debate internacional sobre el desarrollo sostenible y la conservación de la biodiversidad ha cobrado velocidad, centrándose en la necesidad de garantizar que las necesidades del presente puedan satisfacerse sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus necesidades a través de la degradación del medio ambiente y el agotamiento de los recursos naturales. A medida que aumenta la presión para garantizar que el crecimiento económico y el desarrollo sean compatibles con la conservación de la biodiversidad mundial, la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) ha sido anunciada como un mecanismo potencial para aplicar los principios de sostenibilidad y uso racional.

#### 4.1 Definición de EIA

El principio 17 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo respalda la aplicación universal de la EIA como instrumento nacional y existe un papel claro para la EIA en la aplicación de las estrategias nacionales de desarrollo sostenible. Al proporcionar procedimientos analíticos para estudiar las relaciones entre los organismos y su entorno, la ciencia ecológica tiene un papel evidente en la EIA, pero la evolución de una disciplina reconocible de evaluación del impacto ecológico ha sido lenta.

Dado que la necesidad de evaluar el impacto ecológico surge de una motivación política o socioeconómica, los científicos han tendido a dudar de que sea un foro aceptable en el que aplicar rigurosamente el método científico.

Los estudios ecológicos realizados para la EIA han sido objeto de considerables críticas por parte de otros ecólogos desde que la Ley Nacional de Política Medioambiental (NEPA) de Estados Unidos creara por primera vez un requisito

formal de evaluación del impacto ambiental de las acciones de desarrollo propuestas en 1969. Muchas de las cuestiones planteadas siguen sin resolverse y, en consecuencia, las evaluaciones ecológicas realizadas en el marco de la EIA y la legislación conexas siguen presentando graves deficiencias.

En la práctica, la evaluación del impacto ecológico ha surgido como una subdisciplina que a menudo carece de recursos y a veces se ignora por completo, la legislación ha dado lugar a marcos procedimentales que recurren a la ecología demasiado poco y demasiado tarde, y que no fomentan las buenas prácticas.

Para que la EIA se convierta en una herramienta de gestión ambiental que contribuya a la consecución de los objetivos de sostenibilidad y conservación de la biodiversidad, es importante que los ecologistas realicen una aportación mucho mayor, sobre todo en el desarrollo de su base científica.

#### **4.1.1 Concepto de EIA**

La evaluación del impacto ambiental, indica una valoración de impactos que son producidos sobre el medio ambiente debido a influencia de algún proyecto u obra determinada, este tipo de evaluación nunca debe de ser objetiva ya que en todo momento habrá contradicciones debido a que el concepto de calidad ambiental es un concepto netamente subjetivo y que variará de acuerdo al objeto de estudio.

Otro punto a tener en cuenta al momento de que se realice una valoración ambiental es la forma de tratar el problema adherido al proceso ambiental en cuestión, usualmente no es necesario esperar a tener la información completa para poder realizar una investigación o valoración adecuada, ya que este tipo de estudio puede abarcar bastante tiempo y si no se tiene una valoración preliminar la toma de decisiones se paralizaría.

Como en toda investigación hay ciertos problemas que afectan de manera directa a la evaluación de impacto ambiental entre las más importantes tenemos las siguientes:

- La falta de conocimientos científicos acerca de los elementos del ecosistema, de las consecuencias que puedan producirse por determinadas acciones sobre el mismo y de la ausencia de estudios predictivos.
- La poca importancia que se les da a ciertos elementos ambientales.
- El desconocimiento de ciertos criterios valorativos que deben utilizarse.
- La omisión de alternativas que puedan llegar a ser viables en el caso que se estudia.

Hay que tener en cuenta que los problemas pueden surgir en cualquier momento de la evaluación del impacto ambiental, es por eso que para reducirla o para resolverla se han creado varias metodologías.

Existen criterios que también tienen que ser tomados en cuenta para valorar un proyecto, uno de ellos es la viabilidad económica a corto plazo, esto implica si es viable para un sector de la población en específico perjudicando a otros, el proyecto siempre debe favorecer a todas las poblaciones por igual. Estas valoraciones económicas usualmente se transforman en valoraciones ambientales, aunque no todas las variaciones ambientales tienen como base el dinero y este ha tenido como consecuencia a varios casos no ser considerados como importantes.

En toda evaluación de impacto ambiental es necesario resaltar la importancia de los elementos en forma que se tengan en cuenta diferentes alternativas al momento de la toma de decisiones, para tener en cuenta las valoraciones todas están basadas en principios éticos que se usan de referencia ya que los resultados varían dependiendo de cuales sean los principios utilizados, estos principios se dividen en 2 grupos como lo muestran las tablas 9 y 10 respectivamente.

**Tabla 9**  
*Principios de evaluación éticos sociales*

Principios	Definición
Equidad	Consiste en que todos los seres humanos poseen los mismos derechos fundamentales, por lo tanto no es lícito que nadie realice acciones que puedan afectar a otro ser humano y en el caso de lograrlo deberá compensarlo de alguna forma
Responsabilidad	aquel que produce un daño a otra persona o a la sociedad en su conjunto
Prevención	prevenir los impactos antes de que estos ocurran
Cautela	establece que debe ser el promotor de la actividad el que demuestre que ésta no va a producir daños al ambiente.
Información Y Participación Públicas	benefician al proceso de evaluación porque permite que cualquier persona o entidad afectada por el proyecto emita su comentario propio

*Nota:* Adaptado de (Cruz Mínguez et al., 2009, p. 21)

Como se puede apreciar en la tabla 8, los principios éticos están relacionados los unos con los otros, siendo el más importante de ellos el principio de equidad, ya que todo proyecto debe de basarse en aquel principio para poder proseguir a su aprobación.

El otro grupo de principios éticos son los ambientales o también conocidos como principios de supervivencia de la especie humana, los cuales rigen las relaciones entre el ser humano y el medio ambiente.

**Tabla 10**  
*Principios de evaluación éticos ambientales*

Principios	Definición
Conservación de la diversidad	La extinción de una especie incluso a escala local se considera como algo indeseable, debido a que se pierde una de las posibles vías de flujo de materia, energía e información en el ecosistema.
Sostenibilidad	Se basa en la aplicación del criterio de equidad entre las generaciones actuales y las futuras de forma que el desarrollo actual no comprometa el desarrollo y la calidad de vida de las generaciones futuras.

*Nota:* Adaptado de (Cruz Mínguez et al., 2009, p. 21)

La tabla 9 menciona los 2 conceptos más básicos que se tiene que tomar en cuenta al momento de evaluar un proyecto con el fin de evitar impactos ambientales, la conservación de la diversidad debe de ser antepuesto debido a la exigencia de la organización de naciones unidas en cumplir con el protocolo de Kyoto.

## **4.2 Metodologías de EIA**

Con el fin de realizar una evaluación de impacto ambiental se utilizan varias metodologías, lo esencial de cada una de ellas son las técnicas que cada metodología posee, que con ayuda de variaciones hacen posible determinar los impactos ambientales que un proyecto posee y así poder cuantificarlos en una evaluación de impacto medio ambiental. Los principales impactos se han asociado tanto al entorno natural como al antropogénico y han implicado y exigido medidas específicas de seguimiento y mitigación, lo que es coherente con el análisis caso por caso y medidas de mitigación. La inclusión de los impactos en el marco de la toma de decisiones se facilita si todos se reducen a la misma unidad de medida, la conversión requiere el uso de metodologías de valoración económica.

Desde la etapa inicial todo proyecto sigue diferentes etapas entre las cuales se tiene la generación de la idea, los estudios varios (estudio económico, estudio técnico y estudio social), la base del proyecto o ante proyecto, la construcción del proyecto y la desmantelamiento del mismo, y a lo largo de cualquiera de los procesos mencionados anteriormente se profundizan ideas hasta que se logre integrar al ambiente en el proyecto, incorporando así sensibilidad al mismo y varios criterios ambientales que ayudarían a que el proyecto tome forma.

El profesional encargado del estudio de impacto puede incorporarse al equipo de trabajo en cualquiera de las fases ya mencionadas, ya que sus aportes son esenciales para determinados procesos en cada etapa, en todo caso, el encargado debe de contar con metodologías, conocimiento y técnicas, para ayudar a la creación de ideas alternativas en el caso de que alguna de ellas vaya a generar un grave efecto en el medio ambiente.

#### **4.2.1 Método ad hoc**

Los métodos ad hoc no son realmente métodos, ya que no estructuran el problema para que sea más susceptible de un análisis sistemático. Un buen ejemplo de método ad hoc es un equipo de expertos reunidos durante un breve periodo de tiempo para realizar una EIA. Las conclusiones de cada experto se basan en una combinación única de experiencia, formación e intuición. Estas conclusiones se reúnen en un informe. A veces, éste es el único enfoque necesario o posible. En otros casos, cuando se dispone de métodos más científicos, no basta con recurrir a métodos ad hoc.

La información se presenta en términos sencillos y fácilmente comprensibles para los profanos. No hay información sobre la relación causa-efecto entre las acciones del proyecto y los componentes medioambientales. se proporciona información sobre la relación causa-efecto entre las acciones del proyecto y los componentes medioambientales. No se identifican los impactos reales sobre los componentes medioambientales específicos que puedan verse afectados por el proyecto o aquellos que pueden requerir una mayor investigación. El método se limita a presentar la información pertinente sin recurrir a ninguna ponderación relativa de la importancia.

El problema del ejercicio del juicio de expertos de forma ad hoc es que se caracteriza por un proceso de evaluación que nunca puede repetirse, lo que dificulta la revisión y la crítica de las conclusiones de la EIA. La evaluación del impacto ambiental suele requerir la recopilación y el análisis de considerable información sobre el entorno económico, social y biofísico. Se necesitan métodos para organizar esta información para su análisis y presentación, y los métodos ad hoc no logran hacerlo de forma significativa.

#### **4.2.2 Método de Leopold**

La matriz de Leopold fue concebida por el geólogo Luna B. Leopold y sus colegas en 1971, como respuesta a la Ley de Política Medioambiental de Estados

Unidos de 1969, que no daba instrucciones claras a las agencias del gobierno federal para preparar un informe de impacto o para examinar los efectos medioambientales de los proyectos que una agencia planifica.

La matriz de Leopold abordó este reto proporcionando un sistema de análisis y ponderación numérica de los impactos probables, como señalaron los creadores de la matriz de Leopold, es una clara ventaja utilizar la matriz como lista de comprobación o recordatorio del gran alcance de las acciones e impactos sobre el medio ambiente que pueden relacionarse con las acciones propuestas.

La matriz de Leopold es uno de los métodos sistemáticos para evaluar impactos ambientales más utilizados, ya que ha sido diseñada exclusivamente para la evaluación de impactos asociados con cualquier proyecto de construcción, esta metodología sirve como precursor de proyectos anteriores ya que usualmente es utilizado en primera instancia para el análisis de impactos ambientales, es decir, para los impactos que puedan derivarse de algún proyecto.

La base del método es una matriz, en la cual la división de las columnas será asignada para las acciones que el hombre pueda alterar en el medio y en la división de las filas se asignarán los factores ambientales que podrían alterarse. Una de las principales desventajas de este tipo de metodologías es el tiempo que se demora en analizar las muchas alternativas a cualquier proyecto, aunque examinar un proyecto en sí no es particularmente complicado.

La matriz de Leopold abordó este reto proporcionando un sistema de análisis y ponderación numérica de los impactos probables. Como señalaron los creadores de la matriz de Leopold, es una clara ventaja utilizar la matriz como lista de comprobación o recordatorio del gran alcance de las acciones e impactos sobre el medio ambiente que pueden relacionarse con las acciones propuestas (Josimovic et al., 2014, p. 2).

**Figura 29**  
*Fragmento de matriz de Leopold*

		suministro de ganado	descarga de ganado	manejo del ganado en corrales	pesa y limpieza del ganado	proceso de sacrificio	manejo del ganado en canal	elaboración de embutidos	manejo del producto terminado	manejo de cuartos fríos	movimiento de personal
<b>TIERRA</b>	1 Recursos minerales										
	2 Suelos aprovechables										
	3 Materiales explotables					4					
	4 Geosférico					4					

*Nota:* Adaptado de (Ramos Soberanis, 2004, p. 58)

Como se puede apreciar en la figura 30 en la matriz se pueden asignar números en los factores como en las acciones con el fin de cuantificar los efectos y adicionalmente se añaden símbolos ya sea positivos o negativos, se usarán símbolos positivos cuando el impacto es beneficioso por otro lado, se usarán símbolos negativos cuando el impacto es perjudicial para el medio ambiente. Esta metodología como ya se mencionó anteriormente define factores y acciones dentro de una matriz la cual será cuantificada con valores dependiendo de la incidencia que tiene el mismo sobre el medio ambiente, colocando las acciones de manera horizontal y los factores deberán ser colocados de manera vertical en un mismo cuadro para mantener la síntesis de comparación entre ambos.

Otra de las desventajas más destacables de este método es la falta de objetividad del mismo, debido a la libertad que se posee al poner la valoración de los efectos y acciones, este método tampoco prevé la posibilidad exacta de que el impacto ocurra debido a que la predicción del mismo es tratada como si tuviera el cien por ciento de probabilidad de que ocurra. La descripción completa de la evaluación deberá

ser adjuntada por completo acompañada de toda información que pueda complementarla, tales como planos, diagramas, topografías, balances de energía, proyecciones, etc, toda información que sea adecuada podrá ser utilizada por el evaluador para dar a conocer más detalles de las implicaciones probables del proyecto.

Se debe de tener en cuenta que antes del desglose de cualquiera de las acciones del proyecto se debe de realizar una visita técnica, para así poder obtener la mayor cantidad de información real posible del proyecto que se desee evaluar, recogiendo información palpable como por ejemplo de los valores del suelo, acerca de las extracciones de recursos, observar los diferentes procesos, localizar donde irán los desechos, posibles accidentes, entre otros.

### **4.3 Tipologías y metodologías para el EIA**

Una de las características esenciales de estimar el impacto ambiental es la de poder tener una clara idea de cuales van a ser los efectos no deseados en el futuro y que luego su costo de modificación seria muy costoso, en países como Estados Unidos desde principios de la década de 1970 y en la actualidad en aproximadamente 80 países es necesario e imprescindible un estudio o una declaración de impacto ambiental para todo proyecto que pueda llegar a tener incidentes significativos en el medio ambiente (Coria, 2008, p. 4).

Todo estudio de impacto ambiental está compuesto por una serie de estudios que posibilitan a la autoridad de turno realizar una aproximación de impactos positivos y negativos que el proyecto ocasionará en su entorno, es decir, el estudio de impacto otorga una idea clara de las magnitudes positivas o negativas de la obra, teniendo los siguientes objetivos como esenciales.

- Clasificar, evaluar e identificar todos los impactos de un determinado proyecto;
- Exponer las medidas que sean necesarias para mitigar los posibles efectos negativos del anteproyecto;

- Facilitar información de las acciones positivas producidas por el anteproyecto con el fin de optimizar las mismas.

### 4.3.1 Tipologías de EIA

Los impactos ambientales pueden ser tipificados de acuerdo a su signo, es decir, a si es beneficioso o perjudicial sobre un determinado factor ambiental, y se clasifican de la siguiente manera.

**Tabla 11**  
*Clasificación de impactos según su evaluación*

Tipos de impacto	Definiciones
Positivo o negativo	Este tipo de impacto estará ligado al resultado de la actividad en la que se los involucra, siendo negativos si afectan de manera negativa al medio ambiente, o por su contraparte soín positivos si ayudan al desarrollo del medio ambiente
Directo o indirecto	Se denomina impacto directo cuando la afectación se aprecia en un corto periodo de tiempo, y se denominará indirecto, si la afectacion se apreciará en un largo periodo de tiempo.
Acumulativo o sinérgico	Impacto acumulativo es aquel que se produce por la suma de impactos de pequeña escala en una misma zona, mientras que impacto sinérgico es aquel que sucede de manera conjunta en diferentes actividades.
Reversible o irreversible	Cuando la zona afectada se puede recuperar con la ayuda de tratamientos especiales los impactos se denominan reversibles; mientras que los impactos irreversibles son aquellos en los que la zona no será recuperable en su totalidad.
Actual o potencial	Impacto actual hace referencia a un impacto que está ocurriendo en el presente, mientras que impacto potencial hace referencia a un impacto que puede ocurrir en el transcurso del tiempo.
Temporal o permanente	Un impacto es considerado como temporal cuando existe la posibilidad que en el futuro pueda desaparecer, mientras que un impacto permanente perdurará en el tiempo.

*Nota:* Adaptado de (IngFocal LTDA, 2011, p. 3)

- Positivo o beneficioso

Este impacto es aquel cuya acción aumenta la calidad ambiental del factor relacionado, por ejemplo, al momento en que se valora la calidad ambiental de dicho factor después de la implementación de la acción es mayor que la calidad ambiental antes de que se introdujera dicha acción.

- Negativo o perjudicial

Este impacto es aquel cuya acción disminuye la calidad ambiental del factor relacionado, por ejemplo, al momento en que se valora la calidad ambiental de dicho factor después de la implementación de la acción es menor que la calidad ambiental antes de que se introdujera dicha acción.

- Según su extensión

Esta tipología se refiere al área del impacto influenciado en relación al total del entorno tomado en cuenta, es decir al porcentaje de área respecto al entorno en donde es manifestado el efecto, teniendo en cuenta aquello se puede llegar a decir que un impacto negativo según su extensión puede llegar a ser puntual, parcial, extrema o total. Un impacto negativo puede llegar a ocasionar una consecuencia crítica si el efecto se produce en una zona de alto riesgo, es decir, en una zona sensible, de ser así el impacto tiene que ser corregido de manera irremediable.

**Tabla 12**  
*Evaluación de impactos según su extensión*

Por su extensión	Definición
Puntual	Aquél cuyo efecto está muy localizado
Parcial	Aquél que afecta a una zona apreciable del entorno
Extremo	Aquél que afecta a gran parte del entorno
Total	Aquél que afecta de forma general a todo el entorno

*Nota:* Adaptado de (Encinas Malagón, 2011, p. 36)

- Según su momento

El momento del impacto hace referencia al tiempo transcurrido desde que empieza la acción (to) hasta el momento donde aparece el efecto (tj), teniendo en cuenta aquello los impactos en función del momento pueden llegar a ser inmediatos o latentes y a su vez los latentes puede ser de corto, mediano y largo plazo dependiendo del tiempo en el que aparece el efecto.

**Tabla 13**

*Evaluación de impactos de acuerdo al momento*

Por el momento	Definición
Inmediato	Aquél cuyo efecto aparece en el mismo momento en que se inicia la acción
Latente	Aquél cuyo efecto aparece al cabo de cierto tiempo desde el inicio de la acción. Los impactos latentes pueden ser de corto, mediano y largo plazo

*Nota:* Adaptado de (Encinas Malagón, 2011, p. 37)

- Según su capacidad de recuperación

Esta tipología abarca la capacidad de reconstrucción del factor que se vea afectado, es decir, retomar el factor a las condiciones previas al inicio de la acción, sea de forma natural o con ayuda de una acción humana, la tabla 12 explica la clasificación de los impactos por su capacidad recuperativa.

**Tabla 14**

*Evaluación de impactos de acuerdo a su capacidad de recuperación*

Por la capacidad de recuperación	Definición
Reversible	Aquél cuyo efecto puede ser asimilado de forma natural por el entorno, si la recuperación es inmediata tras finalizar la actividad, se dice que el impacto reversible es fugaz.
Irreversible	Aquél cuyo efecto no puede ser asimilado de forma natural por el entorno, es decir que al finalizar la acción no es posible retornar a la situación antes que la acción surga efecto. Pueden subdividirse en recuperables, mitigables e irrecurribles

*Nota:* Adaptado de (Encinas Malagón, 2011, p. 39)

- Según su persistencia

Este tipo de tipología estudia el tiempo que dura el efecto sobre una acción determinada, se clasifican por temporales o permanentes, la tabla 12 explica cada uno de los tipos de impacto según su persistencia.

**Tabla 15**

*Clasificación de evaluación de impactos según su persistencia*

Evaluación de impactos por persistencia	Definición
Temporal	Cuyo efecto permanece en el tiempo Pueden ser de tipo fugaz, temporal o pertinaz.
Permanente	Cuyo efecto permanece en el tiempo, un impacto se considera permanente si posee mas de 10 años.

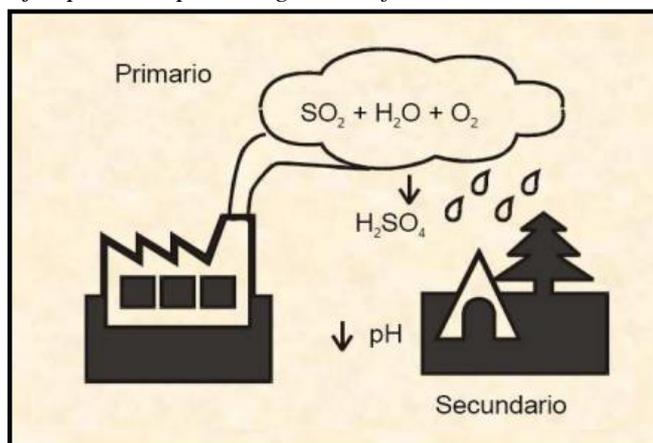
*Nota:* Adaptado de (Encinas Malagón, 2011, p. 41)

- Por su efecto

Esta tipología abarca la forma en la que se manifiesta el efecto sobre un factor como consecuencia de una previa acción, el impacto según su efecto puede ser directo o indirecto. Se dice que es directo cuando el efecto y la acción están relacionados directamente, y será indirecto cuando el efecto no es relación directa con la acción, sino que tiene relación con un impacto primario el cual actúa como acción de segundo orden.

**Figura 30**

*Ejemplo de impacto según sus efectos*



*Nota:* Adaptado de (Encinas Malagón, 2011, p. 43)

- Debido a la interrelación de impactos

Este tipo de impacto añade la posibilidad de adición de impactos que derivan de diferentes acciones, por ejemplo una acción B que tiene un impacto sobre un factor P provocando un impacto BP si no existen más acciones que intercedan en aquel impacto se puede llamar impacto simple pero si por el contrario al impacto BP se le suma la acción C provocando ahora un nuevo impacto denominado BCP entonces aquel impacto puede ser identificado como impactos acumulativos o sinérgicos, como se puede apreciar en la siguiente tabla de manera más explícita.

Los impactos según sus interrelaciones se pueden dividir en tres grupos los cuales son, impactos simple, acumulativos y sinérgicos; se denomina impacto simple cuando la acción afecta a un solo factor y no existe la posibilidad de que se sumen más impactos al mismo; un impacto es considerado acumulativo cuando el efecto aumenta de manera progresiva debido a la acción en conjunto de varias acciones similares; se considera un impacto sinérgico cuando el efecto en conjunto de varias acciones es mayor a la suma de las alteraciones de las acciones por separado, cuando se habla de lo contrario se puede hablar de un debilitamiento.

#### **4.4 Sostenibilidad ambiental**

Todo proyecto consta de evaluaciones, estudios e investigaciones para proteger el medio ambiente, sin embargo, no se toma en cuenta la degradación y el cambio climático a largo plazo que puede producir cualquier construcción a gran escala en cualquier parte de un bioma específico.

Como es de conocimiento los países más ricos son los que sacan más provecho de la explotación de los recursos del mundo y en este proceso es donde las personas de bajos recursos sufren las mayores consecuencias. Existen pruebas tales como, el calentamiento global el cual cada día sigue convirtiéndose en un peligro inminente para la vida en la tierra.

#### 4.4.1 Beneficio de un proyecto medioambiental sostenible

Como se puede apreciar en la figura 33 el medio ambiente tiene una relación directa antes y después de haberse elaborado un proyecto de obra, es por eso que se debe tener en consideración factores tales como el suelo y los futuros cambio de clima ya que, estos pueden ejercer un impacto sobre los proyectos elaborados. La imagen a continuación muestra un diagrama con relación entre los impactos ambientales y los proyectos que puedan llegar a construirse. A su vez todos los tipos de proyecto tienen un alto potencial de ejercer algún impacto ya sea positivo o negativo sobre el medio ambiente. La siguiente tabla resume algunas de las consecuencias en el caso de no ser considerada la sostenibilidad ambiental.

**Tabla 16**

*Tabla de consecuencias de sostenibilidad ambiental*

Consecuencia si no se considera la sostenibilidad ambiental	Ejemplos
Los proyectos pueden causar daño a los recursos naturales ambientales, lo cual a su vez podría causar prejuicios	<ul style="list-style-type: none"><li>- Un proyecto de capacitación en carpintería podría estimular la deforestación, lo cual podría afectar la calidad del suelo y contribuir a pérdidas en las cosechas a nivel local.</li><li>- Un proyecto de saneamiento podría contaminar el agua potable, lo cual podría aumentar las deficiencias en la salud.</li></ul>
Los proyectos podrían aumentar la exposición de personas locales a las amenazas naturales	<ul style="list-style-type: none"><li>- El despeje de grandes áreas de vegetación para la agricultura puede aumentar la probabilidad de sequías.</li><li>- La eliminación de manglares para dar acceso a la pesca podría exponer a una comunidad a inundaciones y a tormentas costeras.</li></ul>
Los proyectos pueden no completarse, o no lograr generar cambios sostenibles, puesto que las actividades son afectadas por problemas	<ul style="list-style-type: none"><li>- Las inundaciones o deslizamientos podrían destruir las edificaciones que se construyeron como parte de un proyecto.</li><li>- Nuevos pozos podrían estar contaminados por fertilizantes químicos y pesticidas que contaminan las aguas subterráneas.</li></ul>
Los proyectos podrían perder el apoyo de las comunidades locales o vecinas si éstos causan perjuicios al medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"><li>- Un proyecto que contamina un río y que contamina el agua que se usa para beber, puede afectar la salud de las personas y las existencias de peces río abajo. Esto podría conducir a conflictos.</li></ul>
Los proyectos podrían perder oportunidades de mejorar el medio ambiente local y la vida comunitaria	<ul style="list-style-type: none"><li>- En lugar de proveer ventiladores o aire acondicionado en una escuela nueva, podría diseñarse edificaciones que faciliten el enfriamiento natural y podrían sembrarse árboles en los alrededores, para dar sombra a las aulas.</li></ul>

*Nota:* Adaptado de (Wiggins, 2009, p. 49).

La tabla 16 muestra un resumen de todas las consecuencias que pueden ocurrir de no ser considerada la sostenibilidad medio ambiental al momento del desarrollo de un proyecto, los ejemplos fueron tomados de proyectos fallidos debido a la no consideración de la sostenibilidad ambiental.

#### **4.3.2 Sostenibilidad de los recursos hídricos**

La contaminación de cuencas hidrográficas y de hábitats acuáticos son las principales preocupaciones, estas son contaminadas debido a las aguas residuales industriales y agrícolas, también se incluye la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos, todos estos temas causan preocupación a nivel mundial. El derecho humano al agua es el derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico. Un abastecimiento adecuado de agua salubre es necesario para evitar la muerte por deshidratación, para reducir el riesgo de las enfermedades relacionadas con el agua y para satisfacer las necesidades de consumo y cocina y las necesidades de higiene personal y doméstica (ONU, 2002, p. 2).

Según estimaciones del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, también conocido como la PNUD, el cambio climático ya está presentando dificultades para alcanzar objetivos propuestos por la OEA, enfermedades transmitidas por medio de las abundantes inundaciones y por otro lado problemas de piel, enfermedades respiratorias y casos de insolaciones son problemas ocasionados por sequías y también debido a las altas temperaturas registradas en la última década.

En Ecuador la gestión del agua posee una gran inequidad en su acceso y distribución. En efecto los medios productores se concentran en grupos de poder que han concebido a la tierra y al agua como bien que pueden ser transables en el mercado, negando así a los pueblos el derecho a su acceso, uso, aprovechamiento y disfrute (Rivera Pazmiño, 2016, p. 35).

## **CAPÍTULO 5**

### **NORMATIVIDAD**

#### **5.1 Marco legal internacional**

El derecho internacional del medio ambiente engloba el conjunto de normas acordadas por los países con el fin de proteger diversos aspectos del entorno natural mundial, dos instrumentos no vinculantes adoptados por la comunidad internacional en conferencias de la ONU han desempeñado un papel importante en el desarrollo moderno del derecho ambiental internacional. La Declaración de Estocolmo de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano de 1972 marcó el inicio de una mayor acción internacional en materia de medio ambiente, que se vio reforzada por la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992.

Además de contribuir al impulso que ha dado lugar a los numerosos acuerdos ambientales multilaterales adoptados en los años posteriores, los principios generales propugnados en estos instrumentos no vinculantes aparecen en todos los acuerdos posteriores. La amplitud de este ámbito del derecho internacional incluye las subcuestiones medioambientales de la población, la biodiversidad, el cambio climático global, el agotamiento de la capa de ozono, la preservación de las regiones antárticas, el movimiento de sustancias tóxicas y peligrosas, la contaminación terrestre o por buques, los vertidos, la conservación de los recursos marinos vivos, la contaminación transfronteriza del aire y del agua, la desertificación y los daños nucleares, entre otros.

##### **5.1.1 Conferencia de Estocolmo**

La Conferencia sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo del 5 al 16 de junio de 1972, fue en muchos aspectos la conferencia internacional más exitosa de los últimos años; en un período de dos semanas adoptó no sólo una Declaración básica y una resolución detallada sobre acuerdos institucionales y financieros, sino también 109 recomendaciones que comprenden un ambicioso plan

de acción. La Declaración contiene un conjunto de principios comunes para inspirar y guiar a los pueblos del mundo en la preservación y mejora del medio ambiente humano.

La resolución sobre las disposiciones institucionales y financieras proponía la creación por parte de la asamblea general de las naciones unidas de: un consejo de administración intergubernamental para los programas medioambientales, que proporcionara orientación política general para la dirección y coordinación de los programas medioambientales; una secretaría de medio ambiente encabezada por un director ejecutivo; un fondo para el medio ambiente, que proporcionara financiación adicional para los programas medioambientales; y una junta de coordinación medioambiental interinstitucional con el fin de garantizar la cooperación y la coordinación entre todos los organismos interesados en la aplicación de los programas medioambientales. El plan de acción se concentra en la evaluación del medio ambiente, mediante la creación de un observatorio de la tierra, destinado a identificar y medir los problemas medioambientales internacionales y a advertir de las crisis inminentes; la gestión del medio ambiente actuando sobre la base de las evaluaciones del observatorio de la tierra y las medidas de apoyo necesarias, como la educación, la formación y la información al público.

El éxito de la conferencia de Estocolmo se basó en un complejo proceso preparatorio, durante el cual se alcanzó un acuerdo entre los principales grupos de países sobre la mayoría de las cuestiones, de modo que sólo hubo que resolver un número limitado de cuestiones en la propia conferencia. La preparación de la conferencia estuvo principalmente en manos de una pequeña pero bien organizada y eficaz secretaría de la conferencia, dirigida por Maurice F. Strong, antiguo Presidente de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional, un hombre con una extraña habilidad para encontrar en el último momento la fórmula de compromiso que se le había escapado a todo el mundo, y una perseverancia sin límites que, de alguna manera, derritió los numerosos obstáculos en el camino hacia Estocolmo. Los documentos de la conferencia fueron el resultado de una interacción multifacética entre la secretaría, los paneles de expertos independientes y los grupos de trabajo intergubernamentales.

### 5.1.2 Protocolo de Kyoto

El protocolo de Kyoto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático fue adoptado en diciembre de 1997 en Kyoto, Japón y entró en vigor el 16 de febrero de 2005. Las normas y requisitos para la implementación del protocolo de Kioto se desarrollaron más a fondo en un paquete de decisiones denominado acuerdos de Marrakech. Los acuerdos de Marrakech fueron adoptados formalmente por la CMP en su primera sesión en Montreal, Canadá en diciembre de 2005; actualmente existen ciento noventa y dos partes en el protocolo de Kyoto.

**Tabla 17**  
*Cantidad de limitación o reducción de emisiones*

Paises	Limitación o reducción de las emisiones
Austria, Bélgica, Bulgaria, Republica Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Letonia, Liechtenstein, Lituania, Luxemburgo, Mónaco, Países Bajos, Portugal, Rumanía, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte	-8,00%
Estados Unidos de América	-7,00%
Canadá, Hungría, Japón y Polonia	-6,00%
Croacia	-5,00%
Nueva Zelanda, Rusia, Ucrania	0,00%
Noruega	1,00%
Australia	8,00%
Islandia	10,00%

*Nota:* Adaptado de (UNFCCC, 2008, p. 13)

La tabla 17 muestra la limitación de emisiones para países que consten en el protocolo de Kyoto, el convenio se basa en disposiciones y anexos que vinculan solamente a los países desarrollados y les impone una mayor carga en el principio de responsabilidad común pero diferenciada y capacidades respectivas, porque se reconoce que los países más desarrollados son los principales responsables de los efectos actuales en el daño de la atmósfera debido a los gases de invernadero (United Nations, s/f).

Una de las partes más importantes del protocolo fue la implementación de mecanismos de mercado flexibles los cuales usan el comercio de permisos de emisión, con el objetivo de cumplir el protocolo los países que consten en el mismo deben de cumplir todos los objetivos por medio de medidas nacionales.

- Comercio internacional de emisiones
- Mecanismo de desarrollo limpio
- Aplicación conjunta

El comercio internacional de emisiones tal y como está establecido en el artículo 17 del protocolo de Kyoto, otorga permiso de comercializar el excedente de su capacidad de emisión a otros países que excedan su capacidad permitida de emisión (*Emissions Trading* / UNFCCC, s/f).

**Figura 31**

*Ejemplo del mercado de carbono*



*Nota:* Adaptado de (Garzón, 2012, p. 33)

En la figura 32 se puede apreciar como funciona el mercado de carbono, dando como ejemplo a dos empresas que desean reducir sus niveles de emisiones, como la empresa b analiza que le resulta mas económico comprar las reducciones de emisiones

que reducir las por cuenta propia y como la empresa a tiene excedentes en sus reducciones entonces se realiza una compra de reducciones entre ambas empresas.

El mecanismo de desarrollo limpio está establecido en el artículo 12 del protocolo de Kyoto le permite a un país que conste en el protocolo desarrollar un proyecto de reducción de emisiones en países que se encuentren en desarrollo, dichos proyectos tienen la posibilidad de obtener créditos de reducción de emisiones certificados, cada uno equivalente a una tonelada de CO<sub>2</sub>, que pueden ser contabilizados para cumplir con los requerimientos del protocolo (*The Clean Development Mechanism / UNFCCC*, s/f).

## **5.2 Marco legal nacional**

### **5.2.1 Marco político y normativo en Ecuador**

En la actualidad, el país posee varios instrumentos específicos dentro de la política los cuales han sido de gran importancia en el país y han permitido avances increíbles en lo que al cambio climático corresponde, existen referencias específicas sobre el cambio climático en estatutos que constituyen el marco normativo y político del país (Garzón, 2012, p. 41).

La Constitución de la República del Ecuador del 2008 nombra a dos artículos para la gestión sobre los cambios políticos del Ecuador:

- El artículo 413 manifiesta que el estado será responsable de la promoción de la eficiencia energética, el desarrollo y del uso de tecnologías amigables con el medio ambiente, así también el Estado promoverá el uso de energías limpias, diversificadas y de bajo impacto que no alteren el equilibrio medio ambiental.
- El artículo 412 expresa que el Estado tomará medidas pertinentes y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la

limitación de emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica.

El Plan Nacional para el Buen Vivir (2009-2013) tuvo como parte de su cuarto objetivo el incentivar la adaptación y mitigación de la variabilidad climática poniendo énfasis en procesos de cambio climático, adicionalmente el resto de las políticas de el cuarto objetivo mantiene una relación conjunta con la gestión del cambio climático

Se pueden encontrar ciertas referencias al cambio climático en algunas políticas sectoriales nacionales, un ejemplo claro es la gestión que posee el Ministerio de Electricidad y Energía renovable acerca del cambio climático el cual promueve el desarrollo de energías renovables de diferentes fuentes (hidroeléctrica, geotérmica, etc) y promueve el desarrollo de una nueva eficiencia energética. Asimismo, se puede hablar de la política ambiental nacional la cual para disminuir la vulnerabilidad social, económica y ambiental definió tres estrategias:

- Mitigar impactos del cambio climático y de otros eventos naturales y antrópicos en la población y el ecosistema.
- Implementar un manejo integral de los riesgos para afrontar eventos extremos asociados a la contaminación.
- Reducir las emisiones de gases de invernadero en sectores de producción y en sectores sociales.

El decreto ejecutivo 1815 del 1 de julio de 2009 que declara como política de estado a la adaptación y mitigación del cambio climático, señalando que el Ministerio del Ambiente será el encargado de la formulación y ejecución de una estrategia nacional y de un plan que permita generar acciones y medidas para concienciar al país de la importancia de la lucha contra el proceso natural que incluya mecanismos de coordinación y articulación en todos los niveles del Estado.

Decreto ejecutivo 495 del 8 de octubre de 2010 mencionó en su artículo 2 que el estado a través del Ministerio del Ambiente registrará todas las acciones de mitigación e impulsará las medidas de compensación que sean necesarias para apalancar recursos económicos adicionales y que promuevan la desagregación tecnológica y el desarrollo de capacidades locales.

La estrategia nacional de cambio climático surge como manera de cumplimiento de uno de los apartados del decreto ejecutivo 1815 y como parte del marco político para la gestión del cambio climático, se desarrolló la estrategia nacional del cambio climático generada por el Ministerio del Ambiente y presentando el 8 de octubre del 2012. Esta estrategia posee un plan nacional de adaptación y un plan nacional de mitigación, los cuales buscan ser una herramienta para la gestión del cambio climático del país en los distintos niveles de gobierno.

El acuerdo ministerial 231 establece Autoridad Nacional para el mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques (AN-REDD+) que es presidida por el superior al mando del Ministerio de Ambiente y se crea así el registro obligatorio del mecanismo REDD+, entre las cuales tiene como competencias iniciales:

- Adoptar procesos que estén sujetos y vayan de acuerdo a las iniciativas y proyectos REDD+.
- Elaborar la carta de registro para certificar así todos los proyectos que hayan sido registrados de manera satisfactoria.
- Emisión de una carta de respaldo a los proyectos REDD+ que hayan sido registrados previamente en base al cumplimiento de los procedimientos establecidos por la AN-REDD+.
- Aprobar la actualización de todos los procedimientos para evaluar los proyectos REDD+.

### **5.3 Ley de gestión ambiental**

La ley de gestión ambiental entró en vigencia el 10 de septiembre del año 2004, esta ley promulga el control de los proyectos con el fin de preservar el medio ambiente, como lo establece el artículo 1 el cual habla acerca de los niveles, obligaciones y responsabilidades de los sectores públicos y privados en la conservación del medio ambiente y establece límites permisibles, controles y sanciones para quienes incumplan dicha norma.

En el título III la Ley expone los instrumentos de gestión ambiental y como lo expresa en el artículo 14 del capítulo I, la totalidad de los planes de desarrollo, programas y proyectos deberán incluir en sus presupuestos todos los recursos que sean necesarios para la protección y el uso sustentable del medio ambiente y de incumplir de dicha disposición el proyecto será invalidado en su totalidad.

A su vez en el capítulo II el artículo 19 expresa que toda obra que esté susceptible a causar algún impacto medio ambiental, deberán ser calificados conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, el cual examinará la obra y determinará los posibles impactos para que sean corregidos antes de que se presente el nuevo estudio de obra; de ser aprobado el proyecto como lo expresa el artículo 20, el mismo deberá constar con una licencia que haya sido otorgada por el Ministerio del ramo al que podría llegar a causar algún impacto.

El artículo 23 expresa que toda evaluación de impacto ambiental deberá constar de 3 partes:

- Deberá contener la estimación de los efectos causados a la población, a la biodiversidad, al suelo, al agua y a la función correcta de los ecosistemas que se encuentren presentes en el área afectada;
- Deberá contener las condiciones de tranquilidad pública así como: el ruido, vibraciones, olores, cambios térmicos y cualquier otro perjuicio ambiental y por último;

- La evaluación de impacto deberá incluir la incidencia que el proyecto tendrá en los elementos de ámbito histórico, escénico y cultural.

En los artículos 25, 26 y 27 la Ley de Gestión Ambiental remarca que la Contraloría General del Estado será la encargada de auditar, controlar, aprobar y corregir todo proyecto que cuente con un estudio de impacto ambiental; la Contraloría también será la encargada de establecer multas si fuere posible que existiese algún indicio que irrumpa con la sostenibilidad del medio ambiente.

En el capítulo V de la Ley de Gestión Ambiental se esclarecen los instrumentos de aplicación de normas ambientales las cuales son bien detalladas en el artículo 33 las cuales son:

- Los parámetros de calidad ambiental;
- Las normas de efluentes y emisiones;
- Las normas técnicas de calidad de productos;
- El régimen de permisos y licencias administrativas;
- Las evaluaciones de impacto ambiental;
- Los listados de productos contaminantes;
- Y las certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios.

La Ley de Gestión Ambiental fue creada con el fin de controlar en su mayoría los diferentes tipos de obra y proyectos que surgen cada año en el país y que incumplen varias normas del derecho a un ambiente sano y sostenible, esta misma Ley sigue vigente y tiene que ser tomada en cuenta en cualquier tipo de obra y proyecto.

## PARTE II APORTACIONES

### CAPÍTULO 6

#### DIAGNÓSTICO DE LOS RIESGOS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO

La energía hidroeléctrica como una fuente de generación de energía renovable es una de las opciones mas viables a nivel de eficiencia energética y de utilización de recursos, en el presente proyecto se analizarán supuestos riesgos que posee la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair que serán enlistados en una tabla para mejor orden, para luego ser analizados en forma de matriz y así luego elaborar un comentario apropiado de la viabilidad del proyecto en cuestión.

Para el diagnostico de un proyecto grande así como lo es la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair se debe de tener en cuenta las siguientes características ilustradas en la tabla 18.

**Tabla 18**  
*Diagnóstico de riesgos en hidroeléctricas*

Escenario de riesgo	Causa	Consecuencia
Aceleración del proceso de erosión natural de la tierra	Altas precipitaciones de la zona y aumento de la turbulencia del agua	Contaminación de areas agrícolas y áreas urbanas cercanas
Aumento en la producción de gas metano	Estancamiento de aguas en embalses hídricos	Contaminación del medio ambiente y aumento de emisión de gases de invernadero
Deforestación	Construcción de carreteras cercanas a la hidrogeneradora e implementación del tendido eléctrico	Aumento de temperatura a nivel nacional, reducción de filtros de CO <sub>2</sub> , destrucción de hábitad de especies endémicas
Desaparición de fauna animal propia de la zona	Construcción de carreteras cercanas a la hidrogeneradora, desviación de los ríos y tala de árboles	Aumento de especies endémicas tanto en fauna vegetal como animal
Hydropeaking	Aumento de aguas turbulentas al salir de las turbinas y ser devueltas al río	Aceleración de la erosión natural en las cuencas de los ríos cercanos

## - Erosión

Este riesgo es el que más se toma en cuenta en la actualidad de la central, según investigadores la erosión en el río aumentó en un 42%, este fenómeno en el río según investigadores está ocasionado por la desaparición de un tipo de roca que es resistente a la erosión; el proceso de erosión natural de la hidroeléctrica está avanzando de manera acelerada y la corrección de dicho riesgo debe de ser tratado de manera inminente. En el caso de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair como ya es evidente, la erosión natural del río Coca ha tomado un giro inesperado y empieza avanzar de manera veloz hacia los cimientos de la central poniendo en riesgo no solo la estructura, sino también poniendo en riesgo la vida de cientos de habitantes que habitan aguas abajo de la central.

### **Figura 32**

*Erosión del río Coca*



*Nota:* Adaptado de (Cardona, 2020)

Como se puede apreciar en la figura 32, el proceso de erosión en el río Coca está causando estragos en toda la cuenca hidrológica, provocando deslaves y deslizamiento de tierra, el impacto que está causando a nivel social y ambiental es tal, que la central actualmente esta en riesgo de verse afectada de manera inminente por el avance acelerado de la erosión de la cuenca hidrológica.

- Aumento en la producción de gas metano

Como ya es de conocimiento, gracias a la acumulación de gases en el embalse de compensación de la central, se acumulan gases peligrosos en el fondo del embalse que una que la central hace circular el agua embalsada, dichos gases se desprenden a la atmosfera generando así gases nocivos para la atmosfera terrestre.

- Desaparición del la fauna vegetal y animal

Para la construcción del embalse de compensación se tuvieron que talar cientos de arboles, y se tuvieron que destruir varias hectáreas de bosque natural para la construcción del túnel de captación de agua. Como consecuencia mas próxima, las especies que viven en la cercanía de la obra se ven en la obligación a migrar de hábitat debido a la constante vibración que existe por el represamiento del agua, esta migración ocasiona impactos en la diversidad animal, debido a que especies que no son de dicho hábitat devastan su nuevo hábitat con el fin de saciar las necesidades que encontraban en su hábitat habitual.

**Figura 33**

*Perdida de fauna vegetal*



*Nota:* Adaptado de (Mundo Constructor, 2020)

En la figura 33 se observa un consecuencia directa del proceso de erosión, la misma que ocasiona que decenas de hectáreas de bosque y terreno agrícola se desplome a orillas del río, generando impactos sociales a su paso; se investigadores

aseguran que la pérdida de fauna vegetal y animal, constituye al impacto número 1 ocasionado por la construcción de centrales hidroeléctricas.

#### - Hydro-peaking

Las fluctuaciones de caudal inducidas por el funcionamiento de la hidroeléctrica pueden tener enormes efectos a corto y largo plazo sobre los organismos fluviales; debido al aumento de las fuerzas hidráulicas, los organismos pueden desprenderse del sustrato subyacente y ser arrastrados río abajo o deben invertir cantidades significativas de energía para evitar el desplazamiento río abajo durante un evento de hydro-peaking. El desplazamiento involuntario río abajo tiene como resultado la reubicación en un hábitat posiblemente menos adecuado, así como el estrés fisiológico, mecánico o depredador.

El desplazamiento lateral del hábitat de los organismos vagabundos puede ayudarles a permanecer en hábitats con condiciones hidráulicas adecuadas, pero esta táctica está vinculada a un riesgo de varamiento durante los descensos del nivel del agua. Además, un elevado estrés mecánico por el aumento de la movilización de sedimentos y el transporte de los mismos puede perjudicar a los organismos o provocar una disminución de la producción primaria. Este fenómeno aun no está confirmado en su totalidad en la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, pero se prevé que gracias a la salida de aguas por el túnel de desfogue, dichas corrientes se mezclan con corrientes tranquilas ocasionando pequeños remolinos en la zona, estancando el agua en ciertos espacios, y generando así que se generen corrientes inestables para el buen vivir de especies animales subacuáticas.

Todos estos riesgos ocasionaran un tipo de impacto en el medio ambiente, y la finalidad del proyecto es reducir dichos riesgos y contrastarlos con acciones positivas para así encontrar una cierta relación acción-riesgo y dicho resultado será evaluado mediante la matriz de Leopold con el fin de saber si el proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair es viable y amigable con el medio ambiente.

## CAPÍTULO 7

### EFFECTOS MEDIO AMBIENTALES DE LA CENTRAL HÍDRICA

#### 7.1 Estudio de caso

La advertencia de daños empezó desde que la Contraloría del Ecuador denunciara graves problemas dentro de la obra; daños tales como fisuras en la obra de conducción, un aumento exponencial de la erosión del río y un riesgo potencial de fallo en la casa de máquinas.

Dicho problema se agravó el 2 de febrero del año 2020 debido al colapso de la cascada San Rafael y dicho colapso aceleró el proceso de la erosión del río, la preocupación del mismo es por la estimación que investigadores han realizado acerca de dicha erosión, llegando a esclarecer que de seguir el proceso de erosión acelerado, la central hidroeléctrica se vería afectada por dicho fenómeno en aproximadamente 2 años.

Tratar de revertir la situación no es algo factible para el país ecuatoriano debido a la gran crisis económica que vive al momento, y para tratar de revertir dicho problema se necesita invertir millones de dólares en un plan de reestructuración total de obra; aguas debajo de la central problemas por la sedimentación también interfiere en el correcto funcionamiento de la central y debido a eso la central se encuentra produciendo una cantidad de energía mucho menor a la posible (un aproximado de 750 MW de 1500 MW posibles).

Con el fin de esclarecer un poco el caso, se efectuará una matriz en la cual se expondrán acciones y factores influyentes en la central Coca Codo Sinclair, dichas acciones y factores serán analizadas mediante la matriz de Leopold, la cual mediante la valoración de las acciones y factores, darán un resultado el cual será analizado como positivo o negativo según el signo que arroje la matriz luego de haber sido analizada. Dicha matriz será analizada en el capítulo 9 del presente proyecto.

### 7.1.1 Central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair

La central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair la cual posee una potencia de 1500 MW está situada entre las provincias de Napo y Sucumbíos, esta central inició su obra el mes de julio del año 2010 y se inauguró el 18 de noviembre de 2016, hasta junio del presente año esta central ha aportado una energía neta de 31954.07 GWh.

**Figura 34**

*Central Coca Codo Sinclair*



*Nota:* Adaptado de (Romero, s/f)

Esta central aprovecha el cauce de los ríos Quijos y Salado los cuales forman el río Coca, en una zona específica este río describe una curva con desnivel de 620 metros, el cual posee un caudal medio anual de  $287 \text{ m}^3/\text{s}$  para su aprovechamiento hidroeléctrico.

La central Coca Codo esta formada por una obra de captación construida en forma de presa de hormigón de 31.8 metros de altura, con un vertedero que posee un ancho neto de 160 metros, un desarenador de 8 cámaras y también posee compuertas de limpieza que transportan el caudal captado por un túnel de conducción de 24.83

kilómetros de longitud y un diámetro interior de 8.20 metros, desde el embalse compensador hasta la casa de máquinas existe una caída de 620 metros que serán aprovechadas por un total de 8 turbinas Pelton de 187.5 MW de generación cada una.

**Tabla 19**

*Ficha técnica de la central Coca Codo Sinclair*

Datos	Detalles
Embalse compensador	800000 m <sup>3</sup>
Altura de la presa	31,8 m
Desarenador	8 cámaras
Túnel de conducción	24,83 km
Turbinas	8 turbinas Pelton de 187,5 MW c/u

Desde el punto de vista analítico entre las faltas mas graves se encuentran la falta de justificación integral del proyecto, la presentación de una evaluación de impactos incompleta, la escases de factores que enriquezcan el costo-beneficio, y la falta de publicación de planes ambientales que mitiguen sus impactos generados; el estudio de impacto ambiental definitivo carece de valoraciones de escala y magnitud de impactos hacia las especies afectadas que se encuentran en peligro de extensión, y tampoco existen medidas que controlen dichos impactos en el hábitat de las mismas, el estudio de aumento de enfermedades como el dengue, el paludismo, entre otros, también presenta fallas y tampoco posee soluciones para dichos problemas.

Biólogos afirman que entre las especies mas afectadas se encuentra el venado pequeño, la nutria, el oso hormiguero de chaleco, el ave rascona y mas de 20 especies de plantas endémicas, además de una disminución en el caudal del rio el cual provoca que las especies migratorias de peces busquen lugares distintos haciendo que dichas especies se extingan de manera local. La acumulación de sedimentos y contaminantes también es otro de los riesgos que no fueron tomados en cuenta en las evaluaciones varias que fueron presentadas manifiestan investigadores y biólogos, dichos sedimentos provocarían la eutrofización y la concentración de varios minerales que en altas cantidades son dañinos para la ingesta humana.

En conclusión la central Coca Codo representa una seria amenaza al medio ambiente, numerosas instituciones internacionales y domesticas tales como el banco Interamericano de desarrollo y la misma Corte Constitucional de Ecuador, han rendido declaraciones de que la central presenta graves irregularidades y falencias en los estudios de impacto ambiental poniendo en riesgo la vida de los habitantes y especies animales de la zona circundante.

Las hidroeléctricas hoy en día son un boom en los países latinoamericanos, gracias a los grandes ríos que posee el continente americano tanto en la parte central como en la esquina sureña del mismo son cruciales para que este tipo de energía empiece a coger fuerza y armarse como una fuente de energía renovable, pero no todo es bueno en la obtención de este tipo de energía renovable.

El centro de los objetivos de desarrollo sostenible para América Latina realizó varias preguntas puntuales acerca de lo que los profesores de la universidad de Michigan habían investigado y a continuación se resumirá lo dicho en aquella entrevista, los investigadores respondieron al tema basándose en los diferentes resultados obtenidos en sus estudios realizados en los lechos submarinos de las represas, arrojando resultados como la producción del gas metano que ya antes ha sido mencionado en el informe.

A los investigadores se les pidió opinar acerca de una controversia emitida por varias naciones acerca de el gran potencial energético en ríos, María López y Emilio Morán supieron responder que el argumento no es válido ya que muchos de los países que generan este tipo de obras en América Latina no exponen los costos verdaderos de los mismos, sino que solo muestran los resultados más favorables excluyendo los problemas medioambientales o sociales que estos mismos conllevan.

Otra de las pregunta fue acerca de la equivocada idea de alimentar varias hidroeléctricas de un solo cauce de rio, a esto los indagadores de la universidad de Michigan supieron explicar que las hidroeléctricas son insostenibles desde el inicio de

su construcción, ya que varias de las especies que habitan en el río que se desviarán o cerrarán morirán, como ya ha sucedido en varios ríos de EEUU en los cuales se tuvo que desviar el río con el fin de que las especies que vivían en el mismo no se extinguieran.

**Tabla 20**  
*Especies afectadas*

Hábitat	Principales especies
Bosques	Salamandra salamandra, Pernis apivorus, Milvus migrans, Cercaetus gallicus, Accipiter nisus, Accipiter gentiles, Hieraeetus pennatus, Streptopelia turtur, Passeriformes diversos, Myotis daubentonii
Cultivos forestales	Páridos, Frangilla coelebs
Formaciones de especies exóticas	-
Bosque de ribera	Lacerta schreiberi
Monte bajo	Circus pygarcus, Caprimulgus europaeus, Sylvia undata
Roquedos	Falco peregrinus
Huertos, pastos y áreas entorno a aldeas y construcciones	Streptopelia decaocto, Pipistrellus pipistrellus / P. mediterraneus
Medio acuático / Curso fluvial	Chondrostoma arcasii, Chondrostoma duriensi, Squalus carolitertii
Arroyos	Discoglossus galganoi, Bufo calamita, Rana iberica

*Nota:* Principales especies afectadas por la construcción de presas hídricas. Adaptado de (Nuñez Manzaba, 2021).

Como se puede apreciar en la tabla 20, se presentaron varias de las especies que sufrieron afectaciones graves en sus hábitats llegando incluso a ser desplazados a otras áreas, y la acción de introducción de especies a un hábitat ajeno al que pertenece ocasiona que se altere el orden trófico de la naturaleza. Un ejemplo aun más claro de afectaciones fue en el caso de la represa Itaipú en la cual miles de especies tuvieron que ser reubicadas debido a la magnitud del embalse, los biólogos comentan que este tipo de obras benefician en parte al medio ambiente, pero produciendo efectos adversos en la misma zona debido a los escasos estudios de impacto de confianza.

Una vez analizados los posibles riesgos que conlleva la implementación de dicho proyecto se prosigue al análisis de cada uno de los factores y acciones que pueden afectar al medio ambiente, para por último continuar con la matriz de Leopold y así poder definir si el proyecto tiene o no viabilidad.

**Tabla 21**  
*Análisis de riesgos de central Coca Codo Sinclair*

# de riesgo	Fase	Escenario de riesgo	Tipo	Nivel de riesgo
R1	Construcción	Embalsamiento de agua	Ambiental	Alto
R2	Construcción	Pérdida de biodiversidad	Ambiental	Máximo
R3	Operación	Sedimentación	Ambiental	Alto
R4	Construcción	Modificaciones a la calidad del agua	Ambiental	Alto
R5	Construcción y operación	Efectos sísmicos	Ambiental	Alto
R6	Construcción	Modificaciones de cuencas hidrológicas	Ambiental	Alto
R7	Construcción	Desplazamientos de pueblos indígenas y tribales	Social	Alto
R8	Construcción	Impactos sobre pequeñas comunidades	Social	Alto

El análisis de riesgo que se efectuará en este proyecto está focalizado en la etapa de construcción y de operación de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

En la tabla 19 se describen los riesgos ambientales mas relevantes en la etapa de construcción y de operación de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, la probabilidad y la magnitud de dichos impactos esta valorada y estimada por el elaborador del informe. Teniendo como principal atención el riesgo en la perdida de la biodiversidad como se explicará en el capítulo posterior, la erosión del río y la

sedimentación en la central están ocasionando estragos en las zonas aledañas a la central.

- Niveles de riesgo

- Máximo (color rojo)

Se consideran riesgos con prioridad máxima y son las que requieren de acciones inmediatas, ya que por lo general este tipo de riesgos conllevan a la afectación grave del medio sea ambiental o social.

- Alto (color durazno)

Se consideran riesgos con prioridad alta a los riesgos que puedan ocasionar acciones a corto plazo, por eso es recomendable de llevar un control de 3 a 5 veces por año en el tratamiento de este tipo de riesgos con el fin de que no escale de nivel en el caso de que se encontrara un riesgo alto en la etapa de operación.

## CAPÍTULO 8

### EVALUACIÓN DE IMPACTOS POR EL METODO DE LEOPOLD

El proyecto tomará como referencia para la evaluación de impacto ambiental al método de Leopold, con el propósito de analizar siete de las acciones que mas inciden en la central y siete factores que afectan a la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

La matriz será elaborada según las acciones y factores que mas afecten o favorezcan al medio ambiente, dichos resultados serán estructurados en una matriz la cual es su parte superior poseerá las acciones y en la parte izquierda se ubicará los factores, cada acción será evaluada en términos de la magnitud de dicho efecto y sus valores estarán separados por una línea en diagonal en cada casilla en donde se espera una interacción.

Una vez colocados los factores y las acciones se procederán a la valoración de dichas acciones y de dichos factores, se colocaran números del 1 al 10 con signo positivo o negativo (negativo en el caso de que afecten al medio y positivo en el caso de que favorezca al medio ambiente), siendo el número 1 el valor que representa menor magnitud y siendo el número 10 el que represente una magnitud de consideración, sea positiva o negativa. Al finalizar la cuantificación de los factores y de las acciones se deberán multiplicar dichos valores para poder ser ingresados en la tabla de valoración de resultados.

Una vez finalizado el proceso de evaluación mediante la matriz de Leopold, se procederá a elaborar una tabla de importancia, la cual contendrá los valores de manera reducida y con dichos valores se procederá a un análisis de dichas acciones y dichos factores puestos a evaluación en la matriz, dichos valores deberán coincidir en una sola cifra final, la cual se encontrará en la esquina inferior derecha de la tabla de importancia, la factibilidad del proyecto evaluado dependerá de la magnitud y del

signo que la acompañe, para así poder determinar si el proyecto afecta de manera positiva o negativa al medio ambiente.

Existen factores y acciones que son tomadas en este proyecto y que se relacionan con evaluaciones realizadas a otras centrales hidroeléctricas del Ecuador. Los diferentes factores y acciones de este proyecto que coinciden con evaluaciones realizadas a diferentes centrales del país son las siguientes:

- Deposición.- la deposición de material en el fondo de un dique es perjudicial para el medio ambiente, este proceso también es conocido como sedimentación la cual es el problema mas grave que toda central hidroeléctrica con embalse sufre, este sedimento que se acumula en el fondo del lecho ocasiona diferentes gases los cuales al mezclarse forman gas metano, el cual es liberado en la atmosfera una vez que el agua embalsada empieza a ser enviada por los túneles de conducción hacia la casa de máquinas.
- Pesca.- debido a la perdida de una actividad de ímpetu humano, ocasionando así un impacto socio económico, el cual desencadena que habitantes se vean en la obligación de abandonar sus tierras y buscar la manera de adaptarse a un lugar que es totalmente ajeno para ellos.
- Calidad de vida silvestre.- al verse afectado el hábitat de varias especies de animales, a este factor se le puede atribuir la desaparición regional de ciertas especies.
- Cadenas tróficas.- al verse afectada la calidad de vida silvestre en zonas específicas, dichas especies se convierten en especies invasoras, alterando así el orden trófico de un bioma en específico.

Para este proyecto han sido tomados factores y acciones diferentes, debido al alto impacto que está teniendo la central en lo que respecta a lo social y medio ambiental, dichos factores y dichas acciones serán mencionadas a continuación.

Los factores que serán tomados en cuenta para la evaluación de impacto por la matriz de Leopold serán los siguientes:

- Calidad del aire. – se evaluará la calidad del aire debido a que se debe de asegurar que el gas metano que se acumule en el fondo del embalse no esté afectando a la calidad de vida del sector.
- Deposición. – debido a la erosión actual se deberá valorar la cantidad de incidencia de dicho factor.
- Bosque. – dicho factor está relacionado con la tala de árboles y la destrucción de un bioma natural.
- Animales terrestres. – se evaluará el efecto que ha tenido sobre animales que vivan en la superficie terrestre en la zona aledaña a la central.
- Peces y moluscos. – se evaluará el efecto que ha tenido la desviación de los cauces del río en lo que respecta a criaturas que habitan en el lecho del río.
- Pesca. – debido a la desviación del río y por efecto del hydro-peaking los peces se han visto en la obligación de migrar a cauces menos turbulentos, ocasionando problemas dentro de comunas que se dediquen a la pesca.
- Agricultura. – debido a la construcción de la central y por efecto de la erosión se pierden decenas de hectáreas agrícolas teniendo un impacto social muy alto.

Las acciones que serán tomadas en cuenta para la evaluación de impacto por la matriz de Leopold serán las siguientes:

- Controles biológicos. – se evaluarán los controles que fueron hechos antes y durante la construcción de la central.
- Modificación del clima. – debido a la tala de árboles el clima se ha vuelto inestable en la zona.
- Pavimentación. – la pavimentación realizada en la central ha destruido decenas de hectáreas agrícolas afectando a moradores de las zonas.
- Ruidos-vibraciones. – se evaluarán los ruidos y vibraciones que son generados por el desplazamiento de grandes volúmenes de agua que atraviesan el túnel de conducción que envía el agua embalsada directo a la casa de máquinas.
- Líneas de transmisión. – las líneas de transmisión que atraviesan la central, también han ocasionado un impacto, se evaluará si el impacto ocasionado es negativo o positivo.
- Presas-embalses. – el embalse compensador de la central, acumula sedimentos que son necesarios en el lecho del río para que la erosión natural del mismo no avance con dicha rapidez.
- Excavación del subsuelo. – se cuantificará el daño ocasionado por la alteración del terreno montañoso y de terreno agrícola.

**Tabla 22**  
*Matriz de Leopold - Central Coca Codo Sinclair*

ACCIONES FACTORES		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS
		CONTROLES BIOLÓGICOS	MODIFICACION DEL CLIMA	PAVIMENTACION	RUIDO - VIBRACIONES	LÍNEAS DE TRANSMISION	PRESAS - EMBALSES	EXCAVACION DEL SUBSUELO	ALTERACION DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA	TUNELES Y ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS	GENERACION DE ENERGIA		
1	CALIDAD DEL AIRE	5	-2						-6			1	2
		-1	-1						-1				
2	DEPOSICION	5		3			5	-5	-6			3	2
		-6		-2			7	-8	-1				
3	BOSQUES	5	-2	3		5	5	-5	-6	4		5	3
		-6	-8	-5		-7	-8	-9	-5	-4			
4	ANIMALES TERRESTRES	5	-2	3	-5	5	5	-5	-6	4		6	4
		-9	-1	-5	-7	-5	-6	-5	-3	-6			
5	PECES Y MOLUSCOS	5	-2	3	-5		5					3	2
		-8	-1	-2	-8		-7						
6	PESCA			3			5					2	0
				-4			-1						
7	AGRICULTURA	5	-2	3			5	-5	-6		5	4	3
		-3	-5	-4			-10	-9	-7		4		
8	MICROFLORA	5	-2	3			5					3	1
		5	-1	-2			-9						
9	CALIDAD DE VIDA SILVESTRE	5	-2	3	-5	5	5			4	7	6	2
		5	-1	-2	-5	-8	-10			-5	1		
10	CADENAS TROFICAS	5		3			5			4		4	0
		6		-2			-10			-9			
	AFECTACIONES POSITIVAS	3	0	0	0	0	1	0	0	0	2		
	AFECTACIONES NEGATIVAS	6	7	9	3	3	8	4	5	4	0		

**Tabla 23**

Tabla de importancia y resultados

ACCIONES FACTORES	CONTROLES BIOLOGICOS	MODIFICACION DEL CLIMA	PAVIMENTACION	RUIDO - VIBRACIONES	LINEAS DE TRANSMISION	PRESAS - EMBALSES	EXCAVACION DEL SUBSUELO	ALTERACION DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA	TUNELES Y ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS	GENERACION DE ENERGIA	COMPROBACION
CALIDAD DEL AIRE	-5	2						6			3
DEPOSICION	-30		-6			35	40	6			45
BOSQUES	-30	16	-15		-35	-40	45	30	-16		-45
ANIMALES TERRETRES	-45	2	-15	35	-25	-30	25	18	-24		-59
PECES Y MOLUSCOS	40	2	-6	40		-30					46
PESCA			-12			-35					-47
AGRICULTURA	-15	10	-12			-50	45	42		20	40
MICROFLORA	25	2	-6			-45					-24
CALIDAD DE VIDA SILVESTRE	25	2	-6	25	-40	-50			-20	7	-57
CADENAS TROFICAS	30		-6			-50			-36		-62
COMPROBACION	-5	36	-84	100	-100	-295	155	102	-96	27	-160



**Proyecto**

ANÁLISIS DE CENTRAL HIDROELÉCTRICA COCA  
CODO SINCLAIR MEDIANTE LA MATRIZ DE LEOPOLD

**Hecho por**

LEO NUÑEZ

En la tabla 23 que constituye a la tabla de importancia y valoración de resultados, se puede apreciar que existen procedimientos que poseen un alto resultado positivo para el medio, pero aun así los valores con signo negativo predominan en la tabla de valoración, esto implica que muchos de los factores tienen un desenlace negativo para el medio, como se puede apreciar actualmente en el proceso de erosión acelerada del río; según investigaciones realizadas dicha erosión puede conllevar a la destrucción parcial o incluso total de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

Como análisis preliminar se puede esclarecer de manera oportuna que el impacto ambiental generado por la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair es muy negativo, como se pudo apreciar en la tabla de importancia arrojando un valor de -160 lo cual según la teoría de la matriz de Leopold es un valor tomado como sumamente perjudicial para el medio ambiente, la teoría sugiere que el proyecto debe de ser retomado y reestructurado con el fin de que no ocasione tantos daños al medio ambiente.

## CAPÍTULO 9

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 9.1 Conclusiones

La energía hidroeléctrica como tal, es una ayuda para el medio ambiente reduciendo así la quema de combustibles fósiles para producir energía eléctrica, pero como se pudo estudiar en el informe, existen impactos medio ambientales que son omitidos al momento de la construcción de una central hídrica y la omisión de dichos informes tienen consecuencias graves en las inmediaciones de las obras hídricas, como ejemplo en el Ecuador se tiene el caso Coca Codo Sinclair, el avance agrandado en la erosión natural del río ha ocasionado graves problemas aguas arriba de la central, y por dichos problemas la central actualmente se encuentra en alerta ya que la afectación a la obra es inminente.

La evaluación del impacto ambiental es un proceso importante previo a la aprobación de la actividad propuesta. Puede proporcionar información esencial sobre los impactos previsibles del plan de inversión en el medio ambiente. La evaluación de los impactos potenciales sobre el medio ambiente es la etapa más importante etapa del proceso de EIA. La evaluación medioambiental se basa en la descripción técnica del proyecto así como en la predicción y evaluación de los impactos sobre los componentes medioambientales.

La decisión de si implementar o no una central hidroeléctrica de gran embalse debe de estar enmarcada dentro de las políticas estatales de cada nación y deben de considerarse de manera oportuna la participación de los habitantes que residan cerca del proyecto que se planea construir con el propósito de evitar impactos sociales graves, así también se debe de examinar el proyecto mediante un análisis costo-beneficio y mediante la evaluación del impacto antes de la construcción de la misma, evitando así un aumento de los costes debido a impactos imprevistos durante la fase de construcción.

## **9.2 Recomendaciones**

Desde el punto de vista de los requisitos medioambientales para la construcción, el impacto negativo sobre el medio ambiente se minimiza en la fase de preparación del proyecto mediante el análisis y la evaluación del impacto de la construcción sobre el medio ambiente, evitando así un aumento de los costes debido a impactos imprevistos durante la fase de construcción.

La matriz de Leopold es una gran ayuda como metodología para el estudio de impactos ambientales, ya que describe acciones y factores que pueden incurrir en dicha obra y las cuantifica, para luego mediante la ayuda de otros evaluadores determinar si el proyecto estudiado está apto para su realización y que no vaya a ocasionar daños irreversibles en el medio y las poblaciones circundantes a la zona.

Investigar de casos similares, previo a la construcción de cualquier tipo de embalse con el fin de evitar un impacto al medio ambiente innecesario, recordando siempre los principios de los derechos humanos a vivir en un ambiente sano y apto para habitar armónicamente con el medio ambiente

## REFERENCIAS

- bid, & Olande. (1985). *Guía de diseño de obras civiles de pequeñas centrales hidroeléctricas*. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0125.pdf>
- Cardona, A. (2020, julio 14). *Ecuador: Gobierno reconoce que la erosión de la cascada San Rafael podría afectar la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair*. Noticias ambientales. <https://es.mongabay.com/2020/07/erosion-rio-coca-ecuador-hidroelectrica-coca-codo-sinclair/>
- Castillo Vásquez, M. V. (2015). *Rediseño de la turbina, eje y laberinto de la máquina hidráulica de generación eléctrica de 500kW y la simulación para la central Península en Ambato*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12561/1/CD-6657.pdf>
- Celec Sur. (s/f). *Central Minas San Francisco*. Recuperado el 22 de agosto de 2021, de <https://www.celec.gob.ec/celecSUR/index.php/generacion/minas-san-francisco>
- Chanataxi, H., Montalvan, M., & Santillan, J. (2021, abril 26). CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL ECUADOR. *CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL ECUADOR*. <https://observatorioelc.ister.edu.ec/2021/04/26/centrales-hidroelectricas-del-ecuador/>
- Comisión Nacional del Agua. (s/f). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Obras de captación superficiales*. <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro7.pdf>
- Coria, I. D. (2008). *El estudio de impacto ambiental: Características y metodologías*. Vol. 11.

- Cruz Mínguez, V., Gallego Martín, E., & González de Paula, L. (2009). *SISTEMA DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL*.  
<https://eprints.ucm.es/id/eprint/9445/1/MemoriaEIA09.pdf>
- Emissions Trading* | UNFCCC. (s/f). Recuperado el 18 de agosto de 2021, de  
<https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/emissions-trading>
- Encinas Malagón, M. D. (2011). *EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ASPECTOS TEÓRICOS*.  
<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16783/Evaluaci%C3%B3n%20de%20impacto%20ambiental.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Escobar Llanos, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Fernández, P. (s/f). *Turbinas Hidráulicas*.  
[http://www.ing.una.py/pdf\\_material\\_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf](http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/turbinas-hidraulicas.pdf)
- Flores Ramírez, N. J. (2016, julio 18). *Evaluación del impacto ambiental en la economía*.  
<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/evaluacion-del-impacto-ambiental-en-la-economia/>
- García Gutiérrez, H., & Nava Mastache, A. (2014). *Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas*.  
[https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf\\_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf](https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/SELECYDIMENSIONAMIENTOdeTURBINAS.pdf)
- Garzón, A. (2012). *Una Oportunidad para Mitigar el Cambio Climático y Contribuir a la Gestión Sostenible de los Bosques*. 123.
- Godoy Ortega, J. (2013). *DESDE PAUTE HASTA COCA CODO SINCLAIR 40 AÑOS DE HIDROENERGÍA EN EL ECUADOR. DISCURSO ALREDEDOR DE*

*CAMBIO DE MATRIZ ENERGÉTICA.*

<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/6171/3/TFLACSO-2013JCGO.pdf>

Gonzales Naquiche, S. S. (2020). *Verificación del comportamiento hidráulico del Desarenador de la Central Hidroeléctrica Quiroz mediante Ansys CFX.*

[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4697/ICI\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4697/ICI_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gough, D. I., & Gough, W. I. (1970). Load-induced Earthquakes at Lake Kariba?II. *Geophysical Journal International*, 21(1), 79–101.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1970.tb01768.x>

Guastay Cajo, W., & Llanes Cedeño, E. (2020). *EL USO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL EN EL ECUADOR. 24.*

IES. (2020). *Instream Energy Systems.* Instream.

<https://www.instreamenergy.com/technology>

IngFocal LTDA. (2011). *Atlas—Potencial Hidroenergético de Colombia.*

[https://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Atlas/Atlas\\_p25-36.pdf](https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf)

IRENE. (2012). *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES.* <https://www.irena.org/->

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2012/RE\\_Technologies\\_Cost\\_Analysis-HYDROPOWER.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2012/RE_Technologies_Cost_Analysis-HYDROPOWER.pdf)

Jimbo, P., & Martin, V. (2019). *Diseño de una central hidroeléctrica para abastecer la demanda del consumo eléctrico de Plantaciones Malima Cía. Ltda.* 86.

- Josimovic, B., Petric, J., & Milijic, S. (2014). The Use of the Leopold Matrix in Carrying Out the EIA for Wind Farms in Serbia. *Energy and Environment Research*, 4(1), p43. <https://doi.org/10.5539/eer.v4n1p43>
- Ministerio de Energía y Recursos naturales no renovables. (2021). CENTRAL HIDROELÉCTRICA “MINAS SAN FRANCISCO”. *CENTRAL HIDROELÉCTRICA “MINAS SAN FRANCISCO”*. <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/proyecto-hidroelectrico-minas-san-francisco/>
- Mundo Constructor. (2020, diciembre 29). 50 hectáreas alteradas por la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair serán reforestadas. *Mundo Constructor*. <https://www.mundoconstructor.com.ec/50-hectareas-alteradas-por-la-hidroelectrica-coca-codo-sinclair-seran-reforestadas/>
- Noristz, M. (2020, mayo 22). *Central Hidroeléctrica Paute Molino cumple 37 años de operación continua*. <https://www.celec.gob.ec/electroguayas/index.php/sala-de-prensa/noticias/208-central-hidroelectrica-paute-molino-cumple-37-anos-de-operacion-continua-21-mayo-2020>
- Núñez Manzaba, L. (2021). *Análisis y Evaluación del impacto ambiental negativo que generan las hidroeléctricas*.
- Proaño Procel, P. D. (2013). *BASES PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA ESTRUCTURA DE ENTRADA, CÁMARA DE DESARENACIÓN Y ESTRUCTURAS DE LIMPIEZA, CON CAUDALES ENTRE  $20 \text{ m}^3/\text{s} \geq Q \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$  PARA DESARENADORES EN APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2210/1/T-UCE-0011-74.pdf>

- Ramos Soberanis, A. N. (2004). *METODOLOGÍAS MATRICIALES DE EVALUACIÓN AMBIENTAL PARA PAISES EN DESARROLLO: MATRIZ DE LEOPOLD Y MÉTODO MEL-ENEL*.  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2469\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2469_C.pdf)
- Romero, Ma. S. (s/f). *La Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair genera un ahorro de 70 millones de dólares a Ecuador*.  
<https://www.celec.gob.ec/bitacoralegal/index.php/component/k2/item/611-la-central-hidroelectrica-coca-codo-sinclair-genera-un-ahorro-de-70-millones-de-dolares-a-ecuador.html>
- Sagarpa. (s/f). *Obras de toma para aprovechamientos hidráulicos*.  
[https://0201.nccdn.net/1\\_2/000/000/136/494/Obras-de-toma-para-aprovechamientos-hidr--ulicos.pdf](https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/136/494/Obras-de-toma-para-aprovechamientos-hidr--ulicos.pdf)
- Smart Hydro Power. (s/f). Smart Hydro Power. *ES SMART HYDRO POWER*. Recuperado el 24 de junio de 2021, de <https://www.smart-hydro.de/es/sistemas-de-energia-renovable/turbinas-para-rios-y-canales/>
- The Clean Development Mechanism / UNFCCC*. (s/f). Recuperado el 18 de agosto de 2021, de <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>
- UNFCCC. (2008). *KYOTO PROTOCOL REFERENCE MANUAL ON ACCOUNTING OF EMISSIONS AND ASSIGNED AMOUNT*. 130.  
[https://unfccc.int/sites/default/files/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf)
- United Nations. (s/f). *¿Qué es el Protocolo de Kyoto?*  
[https://unfccc.int/es/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/es/kyoto_protocol)

Van Rijn, L. C. (2013). *SEDIMENTATION OF SAND AND MUD IN RESERVOIRS*  
*IN RIVERS.* [https://www.leovanrijn-](https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Reservoirsiltation2013.pdf)

[sediment.com/papers/Reservoirsiltation2013.pdf](https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Reservoirsiltation2013.pdf)

Wiggins, S. (2009). *Sostanibilidad ambiental*. Tearfund.

Zamora Parra, B., & Viedma Robles, A. (2016). *Maquinas Hidraulicas Teorias y*  
*Problemas* (Primera edicion).

[https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5476/isbn9788416325191.](https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5476/isbn9788416325191.pdf)  
pdf

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Nuñez Manzaba, Leo Alexander** con C.C: # **0930529532** autor del trabajo de titulación: **Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación de los efectos ambientales por el Método de Leopold** previo a la obtención del título de **Ingeniería en Eléctrico Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 17 de septiembre de 2021



f. \_\_\_\_\_

Nombre: NUÑEZ MANZABA, LEO ALEXANDER

C.C: 0930529532

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Análisis del impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos. Evaluación de los efectos ambientales por el Método de Leopold		
<b>AUTOR(ES)</b>	Núñez Manzaba, Leo Alexander		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M Sc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico Mecánica		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniería en Eléctrico Mecánica		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	17 de septiembre de 2021	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	106
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Biodiversidad, Hidrología, Geología, Biología		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Impacto, Riesgos, Factores, Matriz, Hydro-peaking, Erosión.		

#### **RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):**

La construcción de diques para la obtención de energía hidráulica es un trabajo muy forzoso y muy riguroso, ya que la mínima falla en la construcción del mismo implicaría un derrame de miles de litros de agua que caerían sobre la ciudad más cercana donde esté ubicada la misma. Pero este tipo de riesgo es insignificante en comparación al impacto ambiental que este genera por el embalse lleno agua, el cual es un método de producción de gas metano el cual se genera en la profundidad de dicha agua estancada y el cual es uno de los gases que produce el efecto de invernadero en el planeta tierra. El proyecto a continuación tratará de esclarecer y concientizar al lector acerca de los diferentes tipos de riesgos y factores que se omiten a la hora de la elaboración de un proyecto hidroeléctrico, utilizando la matriz Leopold en la cual se analizarán varios riesgos y se los comparará con consecuencias ya evidentes en la naturaleza, muchos efectos tales como el hydro-peaking, la erosión de la tierra y la eliminación de fauna silvestre y fauna vegetal son muchos de los ejemplos de impacto ambiental negativo que una hidroeléctrica puede ocasionar, aquellos ejemplos serán tomados del estado actual de la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-939555312	<b>E-mail:</b> leoalexandermanzaba@gmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Melendez, Edwin Fernando	
	<b>Teléfono:</b> +593 96 274 5157	
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>	

#### **SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA**

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	