

ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIOAMBIENTAL DE LAS HIDROELECTRICAS EL
QUIMBO E HIDROITUANGO EN COLOMBIA

HELEN JULIETH MORALES PARDO

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIRECTOR

HARVEY ANDRÉS MILQUEZ SANABRIA

ING. QUÍMICO.

MSC. INGENIERIA – INGENIERÍA QUÍMICA

PHD CIENCIAS – ENERGÍAS RENOVABLES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre del director

Firma del Director

Nombre

Firma del presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. mayo de 2022

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada Garcia-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Esta Monografía está dedicada a mis padres, quienes con su esfuerzo, dedicación y amor me han formado a través del tiempo y me han dado la oportunidad de ser quien soy. A mi hijo, por ser mi mayor motivación día a día y enseñarme que todo es posible si te lo propones. A mi hermano por enseñarme el significado de un ser humano ejemplar. Los amo a todos, este logro es por y para ustedes.

Infinitas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	pag
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2. MARCO REFERENCIAL	13
2.1 Energías Renovables	13
2.2 Energía Hidráulica	14
2.2.1 <i>Concepto.</i>	14
2.2.2 <i>Historia</i>	15
2.3 Hidroeléctricas	16
2.3.1 <i>Clasificación</i>	16
2.3.2 <i>Componentes principales</i>	19
2.4 Panorama global	21
2.4.1 <i>Construcción de represas</i>	22
2.4.2 <i>Producción hidroeléctrica</i>	22
2.4.3 <i>Proyección a futuro de proyectos hidroeléctricos</i>	23
3. ENERGÍA HIDRÁULICA EN COLOMBIA	25
3.1 Potencial hidroeléctrico	25
3.1.1 <i>Distribución de potencial</i>	25
3.2 Principales hidroeléctricas	27
3.2.1 <i>Hidroeléctrica de Chivor</i>	28
3.2.2 <i>Hidroeléctrica Sogamoso</i>	28
3.2.3 <i>Hidroeléctrica Betania</i>	29
3.2.4 <i>Hidroeléctrica Urra I</i>	29
3.2.5 <i>Hidroeléctrica del Guavio</i>	30
3.2.6 <i>Hidroeléctrica el Quimbo</i>	30
3.2.7 <i>Hidroituango</i>	31
3.3 Impactos de la energía hidráulica	31

3.3.1 <i>Impactos ambientales</i>	32
3.3.2 <i>Impactos sociales</i>	34
4. HIDROELÉCTRICAS EL QUIMBO E HIDROITUANGO	36
4.1 Hidroeléctrica El Quimbo	36
4.1.1 <i>Impactos ambientales</i>	37
4.1.2 <i>Impactos sociales</i>	38
4.2 Hidroituango	40
4.2.1 <i>Impactos ambientales</i>	41
4.2.2 <i>Impactos sociales</i>	43
5. ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO SOSTENBILE DE LAS HIDROELÉCTRICAS	45
6. CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFIA	49

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. <i>Tipos de rueda</i>	15
Figura 2. <i>Central de embalse Jung Hua, Taiwán.</i>	17
Figura 3. <i>Central de agua fluyente Chief Joseph, Washington.</i>	18
Figura 4. <i>Central de bombeo en China.</i>	18
Figura 5. <i>Esquema turbina Pelton.</i>	19
Figura 6. <i>Esquema turbina Francis</i>	20
Figura 7. <i>Distribución del potencial hidroeléctrico bruto.</i>	21
Figura 8. <i>Construcción de represas a nivel mundial.</i>	22
Figura 9. <i>Posibles proyectos hidroeléctricos.</i>	24
Figura 10. <i>Potencial hidroeléctrico por área hidrográfica en kilovatios.</i>	27
Figura 11. <i>Hidroeléctrica de Chivor.</i>	28
Figura 12. <i>Hidroeléctrica Sogamoso</i>	29
Figura 13. <i>Hidroeléctrica Betania</i>	29
Figura 14. <i>Hidroeléctrica Urra I</i>	30
Figura 15. <i>Hidroeléctrica del Guavio</i>	30
Figura 16. <i>Hidroeléctrica el Quimbo</i>	31
Figura 17. <i>Hidroituango</i>	31
Figura 18. <i>Localización del proyecto hidroeléctrico El Quimbo</i>	36
Figura 19. <i>Localización del proyecto Hidroituango</i>	40

RESUMEN

El presente trabajo de grado analiza los impactos socioambientales de las hidroeléctricas El Quimbo e Hidroituango en Colombia, a través de una revisión bibliográfica. La búsqueda de información comprende el periodo histórico entre 2000 y 2020, con el fin de obtener información actualizada y de utilidad para el estudio. Se hace uso de la base de datos SCOPUS, obteniendo un total de 1127 documentos que comprenden artículos, libros, papers y reseñas. Posterior a la revisión bibliográfica, se seleccionaron los recursos de información con mayor relevancia para la construcción del presente documento.

El objetivo general y los objetivos específicos se plantean en el primer capítulo. El segundo capítulo comprende el marco referencial en el cual se presentan los términos y definiciones necesarias para la comprensión del tema principal del proyecto, energía hidráulica, las hidroeléctricas y su clasificación y el panorama global de esta energía.

Cerca del 70% del suministro de energía del país proviene de las hidroeléctricas. Existen cerca de 56 proyectos, clasificadas entre pequeñas y grandes centrales. El capítulo tres del presente documento expone la energía hidráulica en Colombia, el potencial y los principales proyectos hidroeléctricos, además de los impactos sociales y ambientales que generan.

El cuarto capítulo presenta a fondo los impactos socioambientales como afectación al cuerpo de agua y zonas forestales, desalojo territorial, violencia y afectaciones económicas y psicológicas a la población, generados por la inundación de la presa del proyecto El Quimbo y la contingencia presentada en el año 2018 en Hidroituango.

Por último, se lleva a cabo el planteamiento de estrategias para el desarrollo sostenible de las hidroeléctricas, en las etapas de planeación, construcción y operación, presentadas en el capítulo cinco.

Palabras Clave: Demanda energética, energías renovables, energía hidráulica, desarrollo sostenible.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la búsqueda de nuevas fuentes de energía más limpias y eficientes se encuentra en constante incremento a nivel mundial. La contaminación ambiental, la emisión de gases contaminantes, el agotamiento de recursos naturales no renovables, entre otros factores, son el principal motivo de esta búsqueda para el avance en el desarrollo de energías alternativas que puedan reemplazar total o parcialmente los combustibles fósiles. Una de las opciones con mayor potencial con relación al desarrollo social y económico es la energía hidráulica, principalmente en países que cuentan con los recursos hídricos necesarios, como es el caso de Colombia.

Si bien la energía hidráulica no podría cubrir en su totalidad la demanda energética, los avances tecnológicos, su confiabilidad y rentabilidad la hacen una de las más importantes para el mundo. Para el 2015, cerca de 2600TWh de energía al año, se produjeron a partir de fuentes hídricas, esto fue aproximadamente el 20% del consumo mundial para ese año (Balat, 2006). Aun cuando existe un gran potencial y ventajas, esta actividad también trae consigo una serie de consecuencias negativas ambientales y sociales que afectan el desarrollo sostenible.

Los impactos sociales y ambientales van desde la alteración de los ecosistemas acuáticos y terrestres, despojo de tierras, afectaciones en la pesca y agricultura, entre otros. En el afán de llevar a cabo una transición a energías más limpias, no se ha tenido la suficiente consideración de las consecuencias y efectos que traen consigo. Sin embargo, es de gran importancia hacer este análisis con el fin de asegurar la funcionalidad a futuro de los proyectos, no solo en términos de rentabilidad sino de sostenibilidad.

Colombia, gracias a su topografía, pluviosidad y recursos hídricos tiene un potencial excepcional para el desarrollo de proyectos de energía hidráulica, de hecho, alrededor de un 70% de la generación de energía eléctrica depende de estas fuentes. (Rico, 2018). En Colombia hay cerca de 28 hidroeléctricas despachadas centralmente y 115 no despachadas en funcionamiento, además de tres grandes proyectos en construcción, el país le ha apostado a esta tecnología debido a los recursos hídricos disponibles (BEC, 2019). Sin embargo, a pesar de los grandes beneficios, la construcción, funcionamiento y mantenimiento de hidroeléctricas representa un gran costo no solo económico sino social y ambiental y esta complejidad ha llevado a contemplar la

implementación de otros proyectos energéticos con el fin de generar un balance con el consumo ambiental.

Un ejemplo de esto es Hidroituango, proyecto del cual se esperaba contribución social y aportes en pro del desarrollo económico de la región impulsando a una mayor competitividad y productividad energética en el país. Sin embargo, a lo largo de los últimos años ha tenido un sin fin de fallas técnicas, representando un riesgo inminente para la población y el ecosistema. Estos eventos han puesto en evidencia las falencias del proyecto, además de disminuir las expectativas de este. (Montaño et al., 2019)

De igual manera, la hidroeléctrica El Quimbo, ha presentado problemas durante la operación y funcionamiento del proyecto relacionadas con la licencia ambiental otorgada y con los planes de compensación ambiental y social a los que la empresa Emgesa S.A se comprometió, esto debido a la falta de una supervisión eficiente del proyecto. (Leal, 2017).

El presente documento tiene como fin identificar el impacto socio ambiental de la energía hidráulica en Colombia, específicamente en las hidroeléctricas El Quimbo e Hidroituango a través de una revisión bibliográfica en diferentes bases de datos con información documental y estudios de caso relacionados a la temática para su análisis.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Analizar el impacto socioambiental de las hidroeléctricas El Quimbo e Hidroituango en Colombia.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la energía hidráulica en Colombia y sus impactos.
- Identificar las problemáticas socioambientales de las hidroeléctricas El Quimbo e Hidroituango en Colombia.
- Establecer estrategias socioambientales que contribuyan al desarrollo sostenible de las hidroeléctricas.

2. MARCO REFERENCIAL

Con el fin de llevar a cabo el óptimo desarrollo y comprensión de la temática del presente proyecto, en este capítulo se describen diferentes conceptos relacionados a la energía hidráulica.

2.1 Energías Renovables

Las fuentes de energía renovables son aquellas que son infinitas dentro de un marco de tiempo considerable para la humanidad y se obtienen de fuentes naturales, se dividen en tres grupos principales, solar, planetaria y geotérmica. (Quaschnig, 2016) En la tabla 1 se presentan las principales tecnologías para cada fuente de energía renovable.

Tabla 1.

Tecnologías de conversión de energías renovables

TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES	
TECNOLOGÍA	PRODUCTO ENERGÉTICO
Biomasa	
Combustión	Calor
Gasificación	Electricidad, hidrocarburos, metanol, hidrógeno
Hidrolisis y fermentación	Etanol
Pirólisis	Biocombustibles, carbón
Extracción	Biodiesel
Digestión	Biogás
Energía eólica	
Turbinas	Electricidad
Energía solar	
Paneles fotovoltaicos	Electricidad
Electricidad térmica solar	Calor, vapor, electricidad
Fotosíntesis artificial	Hidrógeno
Energía hidráulica	Electricidad
Energía geotermal	Calor, vapor, electricidad
Energía marina	
Energía de la marea	Electricidad
Energía de las olas	Electricidad
Gradiente salino	Electricidad
Producción de biomasa marina	Combustibles

Nota. En la tabla se mencionan las diferentes tecnologías existentes para cada una de las fuentes de energía renovable y el producto energético que se obtiene. Tomado de *Quaschnig, V. (2016). Understanding Renewable Energy Systems*. Modificado por el autor

Como se puede observar en la tabla 1, existen diferentes tecnologías para la transformación de energías renovables que resultan en productos como electricidad, calor, vapor, entre otras.

Por otro lado, cabe resaltar que, a través de las energías renovables, se busca tener fuentes de energía limpia que permitan equilibrar el uso de combustibles fósiles con el fin de reducir y mitigar la contaminación y las emisiones de los sistemas energéticos tradicionales. Además de suministrar energía en zonas rurales gracias a la practicidad de algunas de las tecnologías, como los paneles solares.

Sin embargo, es importante mencionar que las energías renovables también generan impactos sobre el medio ambiente y las comunidades.

2.2 Energía Hidráulica

La energía hidráulica es una de las primeras energías renovables usadas por el hombre, a través del tiempo su uso ha incrementado gracias a las diferentes tecnologías desarrolladas para el diseño de plantas hidroeléctricas. En la actualidad, es una de las fuentes de energía más importantes y con mayor potencial a nivel mundial. A continuación, se explica con mayor profundidad el concepto, los tipos de plantas hidroeléctricas y el panorama actual de esta energía.

2.2.1 Concepto.

Al hablar de energía hidráulica, se hace referencia a la energía que deriva del movimiento del agua, ya sea a través de molinos, ruedas hidráulicas o turbinas, los cuales transforman la energía cinética y potencial de las corrientes. En términos generales, el agua pasa a través del dispositivo, generando un movimiento que posteriormente se utiliza para la generación de energía, ya sea mecánica o eléctrica. (Breeze, 2018).

Los recursos hídricos que pueden ser aprovechados, se encuentran distribuidos por todo el mundo y solo unas cuantas regiones no cuentan con potencial hidroeléctrico significativo. Es por esta razón que muchos países se han enfocado en esta energía renovable, dependiendo en gran medida de esta para cubrir su demanda energética. El continuo desarrollo de nuevas y

mejores tecnologías se convierte entonces en una prioridad, sobre todo en países desarrollados como Estados Unidos y China. (Breeze, 2018).

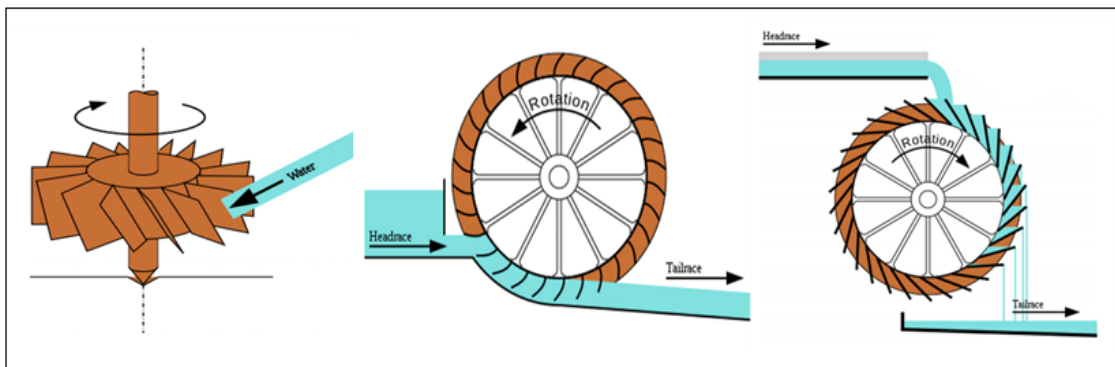
2.2.2 Historia

La historia de la energía hidráulica comienza en esencia con la rueda hidráulica, la cual remonta su existencia al año 4000 a.C. en Mesopotamia, implementada para sistemas de riego. Existen evidencias más claras del uso de ruedas de agua para riego y consumo en el año 600 a.C. en el imperio Romano. Posteriormente a principios del primer milenio en China se utilizaron para moler y para proporcionar energía a herramientas como martillos de viaje. (Breeze, 2018).

Las primeras civilizaciones hicieron uso de tres tipos de rueda para la generación de energía hidráulica, a continuación, se muestra en la figura 1 de izquierda a derecha, los tres tipos de rueda: la rueda hidráulica horizontal, rueda hidráulica vertical inferior y rueda hidráulica vertical superior. (Breeze, 2018).

Figura 1.

Tipos de rueda



Nota. La imagen ilustra los tres tipos de rueda para la generación de energía hidráulica. Tomado de Breeze, P. (2018). *Hydropower*. Elsevier Ltd.

De los tres tipos de rueda la horizontal es la menos eficiente, sin embargo, cada uno de los diseños fue popular en diferentes regiones. No se sabe a ciencia cierta el origen de cada una de las ruedas hidráulicas, ya que se han encontrado evidencias en diversas partes del mundo.

La energía hidráulica como se conoce actualmente surge en el siglo XVII gracias a la revolución industrial que inicialmente se centró en dispositivos accionados por agua, sin

embargo, la energía de vapor tuvo una mayor acogida y la energía hidráulica pasó a segundo plano. Fue entonces hasta el siglo XIX cuando la energía hidráulica fue aprovechada por primera vez para la generación de electricidad y nace la energía hidroeléctrica. (Breeze, 2018)

A partir de este suceso, comenzaron a generarse avances en torno a la tecnología hidráulica y así aparece la turbina, diseñada para la construcción de centrales hidroeléctricas. El uso de la energía hidráulica se extendió rápidamente, lo que conllevó a la construcción de grandes proyectos por todo el mundo. Hasta el día de hoy se siguen desarrollando nuevas herramientas y tecnologías para el diseño de plantas hidroeléctricas debido al gran potencial que representan respecto al suministro energético a nivel global.

2.3 Hidroeléctricas

Las hidroeléctricas tienen como principio de funcionamiento la energía potencial que deriva de la masa del agua en consecuencia de su elevación y de su energía cinética contenida en la corriente. La primera planta hidroeléctrica se construyó en el año 1870 en Inglaterra, sin embargo, fue hasta 1882 en Estados Unidos que un generador eléctrico se acopló a una turbina, poniendo en servicio la primera central hidroeléctrica del mundo con una capacidad de 12,5kW. (Govorushko y Rupert, 2014).

Existen diferentes clasificaciones, así como componentes a identificar para la total comprensión de su funcionamiento. En la sección 2.3.1 y 2.3.2 se dará respectivamente una mejor descripción de cada uno.

2.3.1 Clasificación

Las clasificación de las centrales hidroeléctricas se puede realizar según diferentes factores. En la tabla 2 se presenta la clasificación por estructura y tamaño.

Tabla 2.
Clasificación de centrales hidroeléctricas

TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	
ESTRUCTURA	TAMAÑO
Central de embalse	Microcentrales

Tabla 2. (Continuación)

TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	
Central de agua fluyente	Minicentrales
Central de bombeo	Centrales de gran potencia

Nota. La tabla ilustra los diferentes tipos de centrales hidroeléctricas y su clasificación según estructura y tamaño. Tomado de *Breeze, P. (2018). Hydropower. Elsevier Ltd.* Modificado por el autor.

En cuanto a estructura, las centrales de embalse son las más comunes, su diseño se basa en una presa para el almacenamiento de agua de río en depósitos, el agua es liberada para que fluya a través de las turbinas. (Govorushko y Rupert, 2014) Como se observa en la figura 2 , el agua se dispone según las necesidades de energía o de nivel del depósito.

Figura 2

Central de embalse Jung Hua, Taiwán.



Nota. Imagen de la central de embalse Jung Hua. Tomado de *Govorushko, S. M., & Rupert, C. E. (2014). Hydropower: Types, Development Strategies and Environmental Impacts. Nova Science Publishers, Inc.*

Las centrales de agua fluyente utilizan la corriente de un río para la generación de energía, las condiciones de salida están dadas por la velocidad y el nivel del río, estas variables son estacionales, por lo tanto, el suministro de energía no es constante. Sin embargo, existen centrales de agua fluyente con almacenamiento integrado, el cual permite regular el flujo de agua y de esta forma evitar los picos de generación de energía. Un ejemplo de este tipo de centrales se muestra en la figura 3. (Govorushko y Rupert, 2014).

Figura 3.

Central de agua fluyente Chief Joseph, Washington.



Nota. Imagen de la central de agua fluyente Chief Joseph, Washington. Tomado de Govorushko, S. M., & Rupert, C. E. (2014). *Hydropower: Types, Development Strategies and Environmental Impacts*. Nova Science Publishers, Inc

En cuanto a las centrales de bombeo, su funcionamiento consta de dos depósitos situados en diferentes niveles. Cuando la demanda energética es menor, se bombea agua desde el nivel inferior hacia el superior. Por el contrario, cuando se requiere mayor generación de energía, el agua se devuelve al depósito inferior para generar electricidad. En la figura 4 se muestra un ejemplo de este tipo de hidroeléctrica. (Govorushko y Rupert, 2014).

Figura 4.

Central de bombeo en China.



Nota. Imagen de la central de bombeo en China. Tomado de Govorushko, S. M., & Rupert, C. E. (2014). *Hydropower: Types, Development Strategies and Environmental Impacts*. Nova Science Publishers, Inc.

En cuanto a la clasificación por tamaño o capacidad, las microcentrales tienen una capacidad menor a 1MW, las minicentrales entre 1MW y 10MW y las centrales de gran potencia tienen una capacidad mayor superior a 10MW. Estas últimas representan la mayor parte de la capacidad hidroeléctrica a nivel global, sin embargo, desde una perspectiva local, las micro y minicentrales tienen un gran impacto. Con respecto al diseño, la complejidad es mayor para las grandes centrales ya que depende de su ubicación, las centrales más pequeñas suelen utilizar tecnologías distintas y económicamente más rentables. (Breeze, 2018)

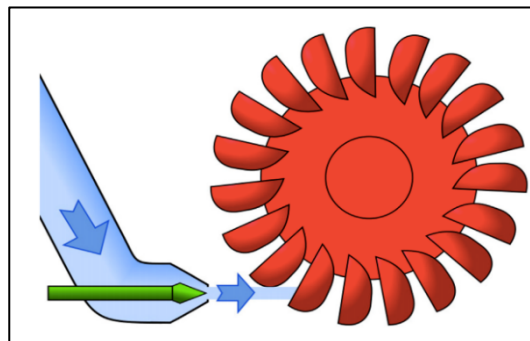
2.3.2 Componentes principales

Los componentes de una instalación hidroeléctrica varían según el tipo de estructura, sin embargo, existen dos componentes esenciales que toda central debe tener para poder transformar la energía hidráulica en electricidad. Estos son:

- Turbinas: es el elemento más importante, encargado de convertir la energía proveniente del flujo de agua en energía mecánica por medio de la rotación. Se clasifican principalmente en turbinas de impulso y turbinas de reacción.
- ✓ Turbinas de impulso: usa la velocidad del agua para generar movimiento, la corriente choca cada uno de los cubos de la rueda, este tipo de turbinas es adecuada para bajos y altos caudales. La principal turbina de impulso actualmente es la turbina Pelton, su máxima eficiencia es de 95%. (Brookshier, 2004). Un esquema del diseño se muestra en la figura 5.

Figura 5.

Esquema turbina Pelton.



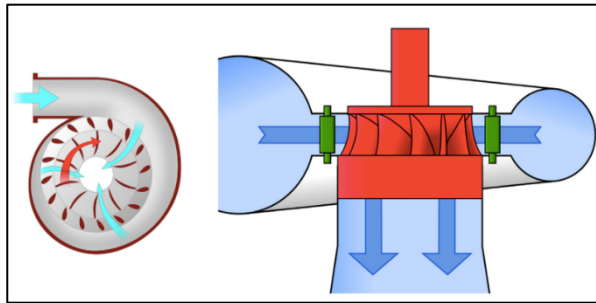
Nota. Ilustración de la turbina Pelton. Tomado de Govorushko, S. M., & Rupert, C. E. (2014). Hydropower: Types, Development Strategies and Environmental Impacts. Nova Science Publishers, Inc

Los cubos están diseñados para que el agua que ingresa por un lado, cambie de dirección y de esta forma logre impulsar la rueda. El agua sale a una baja velocidad ya que la mayor parte del impulso se gasta en este proceso. (Breeze, 2018).

- ✓ Turbinas de reacción: la energía es obtenida tanto del movimiento del agua como de su presión. A medida que el agua entra en la turbina, se ejerce presión sobre las palas provocando su movimiento. Las palas están diseñadas de tal forma que el agua que entra es expulsada de forma axial. Las turbinas de reacción son aptas para caudales más altos. (Brookshier, 2004). Existen diferentes diseños, sin embargo, el más usado es la turbina Francis, debido a su fácil adaptación, en la figura 6 se muestra su diseño.

Figura 6.

Esquema turbina Francis



Nota. Vista superior y lateral de la turbina Francis. Tomado de *Govorushko, S. M., & Rupert, C. E. (2014). Hydropower: Types, Development Strategies and Environmental Impacts. Nova Science Publishers, Inc.*

Para que la turbina funcione correctamente, debe estar totalmente sumergida y el agua debe llegar a cada una de las aspas por igual.

- Generadores: se encargan de transformar la energía mecánica generada en la turbina, en energía eléctrica. La eficiencia de estos equipos es muy cercana al 100%. Su funcionamiento se basa en el principio de campos magnéticos, según Breeze:

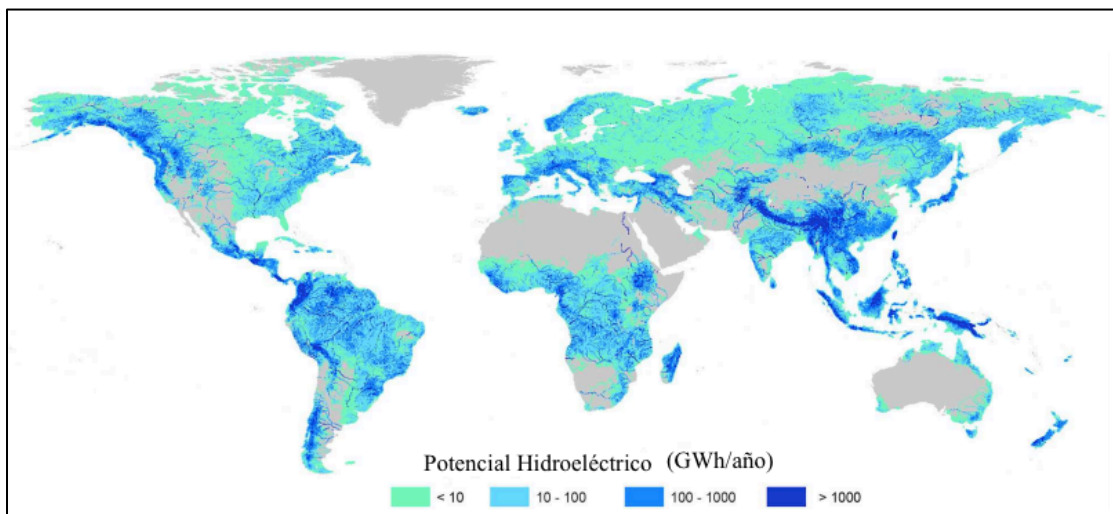
El imán gira y genera una corriente en bobinas estacionarias. El uso de un imán permanente como elemento giratorio suele ser engorroso. En cambio, la parte giratoria de la máquina, llamada rotor, es una bobina electromagnética que genera un campo magnético cuando se "excita" al pasar una corriente eléctrica directa través de ella. Este campo magnético induce una corriente en las bobinas estacionarias, llamadas estator, del generador." (Breeze, 2018)}

2.4 Panorama global

La energía hidráulica es una de las energías renovables más importantes y con mayor potencial, resulta necesario mostrar su rol en el balance global de energía. En la figura 7 se muestra el mapa global de potencial hidroeléctrico bruto para el año 2017.

Figura 7.

Distribución del potencial hidroeléctrico bruto.



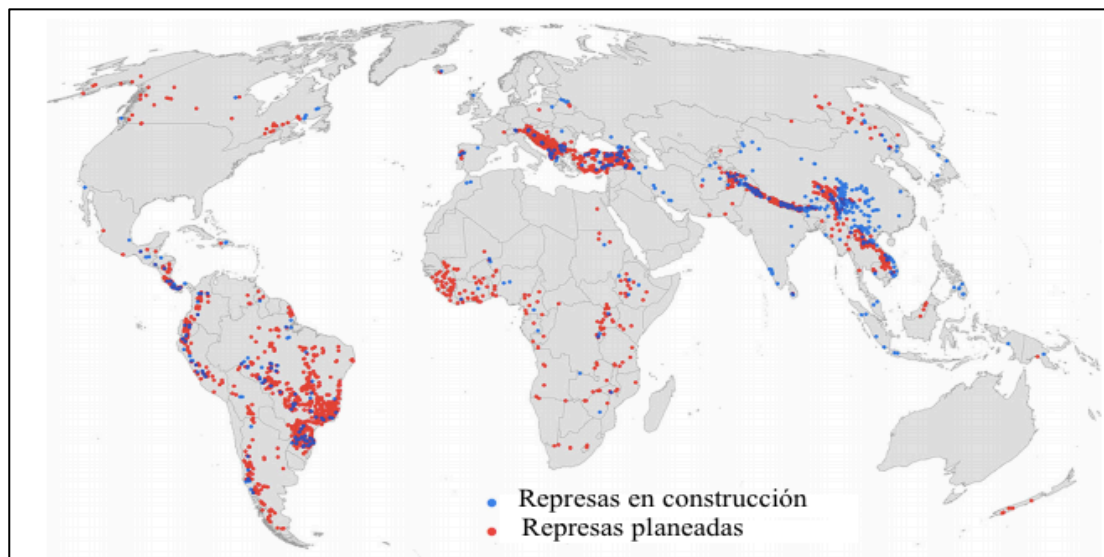
Nota. La imagen representa la distribución del potencial hidroeléctrico bruto a nivel global para el año 2017. Tomado de Hoes, O., Meijer, L., van der Ent, R., & van de Giesen, N. (2017). *Systematic high-resolution assessment of global hydropower potential*. PLOS ONE, 12(2), e0171844.

2.4.1 Construcción de represas

Por lo general, para llevar a cabo proyectos de energía hidroeléctrica se deben construir represas o embalses. El volumen total de las represas en todo el mundo era de 15 km³ para inicios del siglo XIX, tan solo para el año 2005 esta cifra aumentó a unos 10.000km³. (Govorushko y Rupert, 2014). En la figura 8 se puede apreciar las represas bajo construcción y en planeación en todo el mundo, se espera que existan más de 2000 represas construidas. (Zarfl et al., 2014). Sin embargo, tan solo el 25% de las represas existentes son utilizadas para la generación de energía.

Figura 8.

Construcción de represas a nivel mundial.



Nota. La figura ilustra las represas en construcción y las planeadas a nivel mundial para el año 2014. Tomado de Zarfl, C., Lumsdon, A., Berlekamp, J., Tydecks, L., & Tockner, K. (2014). *A global boom in hydropower dam construction.* *Aquatic Sciences*, 77(1), 161-170

2.4.2 Producción hidroeléctrica

En cuanto a la producción hidroeléctrica, entre los años 1970 y 2015 la energía hidráulica aportó aproximadamente el 20.3% de la producción mundial de energía. En la tabla 3 se expone la producción por país para el año 2015.

Tabla 3.

Producción anual de hidroeléctricas por país.

PAÍS	PRODUCCIÓN HIDROELÉCTRICA (TWh)	PORCENTAJE DEL TOTAL
China	1130	28.4
Canadá	381	9.6
Brasil	360	9
Estados Unidos	271	6.8
Rusia	170	4.3
Noruega	139	3.5
India	138	3.5
Japón	91	2.3
Suecia	75	1.9
Venezuela	75	1.9
Resto del mundo	1148	28.8
Total	3978	100

Nota. La tabla muestra la producción anual de hidroeléctricas por país para el año 2015. Tomado de *Breeze, P. (2018). Hydropower. Elsevier Ltd.* Modificado por el autor.

El mayor porcentaje de producción hidroeléctrica proviene de China, esto se debe a su potencial hidroeléctrico, su gran capacidad de generación de energía (457,473 MW) y a su capacidad instalada (331,110 MW). Entre los países que le siguen se encuentran principalmente Estados Unidos, Canadá y Brasil. Por su parte, Colombia se encuentra entre los tres países con mayor capacidad instalada en Sur América (Breeze, 2018).

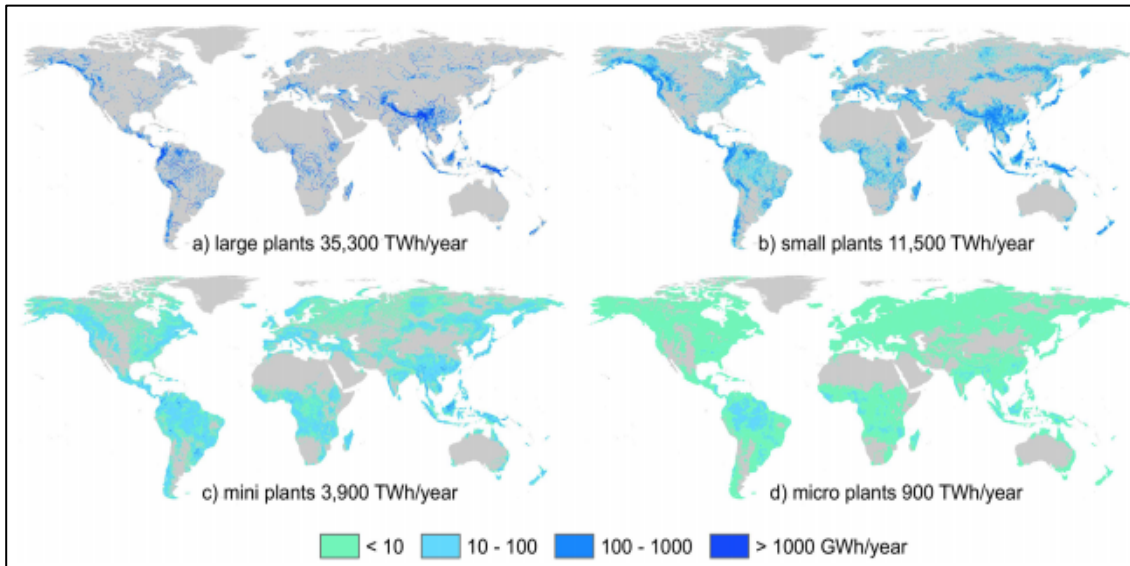
2.4.3 Proyección a futuro de proyectos hidroeléctricos

Debido a los recursos hídricos disponibles, los proyectos hidroeléctricos en construcción y planeados son cada vez más. En la figura 9. Se muestra la distribución de posibles centrales hidroeléctricas alrededor del mundo, basado en las fuentes hídricas disponibles, clasificadas

según su tamaño. Esto es una estimación realizada a partir de la relación entre el potencial hidroeléctrico y el número de ubicaciones con ese potencial. (Wagner et al., 2019)

Figura 9.

Posibles proyectos hidroeléctricos.



Nota. La figura ilustra los posibles proyectos hidroeléctricos a nivel mundial, clasificados por tamaño para el año 2017. represas en construcción y las planeadas a nivel mundial para el año 2014. Tomado de *Hoes, O., Meijer, L., van der Ent, R., & van de Giesen, N. (2017). Systematic high-resolution assessment of global hydropower potential. PLOS ONE, 12(2), e0171844.*

Esto es un panorama a futuro, con base en esas estimaciones se concluye que aún hay mucho potencial por explotar para la generación de energía a partir de hidroeléctricas que hasta el momento ha demostrado ser en términos de producción, una de las mejores alternativas.

3. ENERGÍA HIDRÁULICA EN COLOMBIA

A partir de la estructuración del sistema energético de Colombia se determinó que gracias a la gran cantidad de recursos hídricos y su ubicación el país contaba con potencial para la generación de energía hidráulica. De esta forma, se inicia el desarrollo de un conjunto de centrales de generación eléctrica y sistemas de distribución denominado Sistema Interconectado Nacional (SIN), que cubre alrededor del 48% del territorio nacional y el cual se encuentra interconectado a través del Sistema de Transmisión Nacional (STN) proveyendo aproximadamente el 98.2% del consumo total de energía (Valencia, 2018). Este suministro de electricidad depende en gran medida de fuentes hidráulicas, lo que ha incentivado la generación de centrales hidroeléctricas a lo largo del tiempo. En este capítulo se abordará el potencial hidroeléctrico y los principales proyectos en Colombia.

3.1 Potencial hidroeléctrico

Colombia tiene la tercera capacidad hidroeléctrica instalada más grande de América del Sur, con 11726 MW. Aproximadamente el 70% de la electricidad en Colombia proviene de fuentes hídricas, por esta razón se considera la base energética del país. Para el año 2017 produjo el 86% de la generación eléctrica nacional, superando el 70% de generación promedio de los últimos cuatro años (International Hydropower Association, 2018). La oferta hídrica, que supera el promedio mundial, sumada a la orografía, régimen pluviométrico y condiciones topográficas favorables generan un alto potencial hidroeléctrico (BEC, 2019). De acuerdo con Acolgen, existen más de 50 pequeñas hidroeléctricas y 6 de mayor escala (MinEnergía, 2019).

3.1.1 Distribución de potencial

Para el año 2015, La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) en conjunto con Colciencias y la Universidad Javeriana desarrollaron un atlas del potencial hidroenergético de Colombia, documento que permite conocer la distribución espacial del potencial hidroenergético

en las diferentes regiones del país a través de un conjunto de mapas que incluyen diferentes aspectos cartográficos, hidrológicos, económicos, sociales y ambientales. (UPME, 2015)

A través del análisis de los aspectos considerados para el desarrollo del atlas hidroenergético de Colombia, es posible identificar si el potencial hidroeléctrico es o no aprovechable. Un ejemplo de esto es la cuenca alta del río Magdalena, el cual tiene una restricción de tipo ambiental al encontrarse en un área de Parque Natural, por lo cual el potencial hidroeléctrico para este caso no es aprovechable (UPME, 2015). A continuación, en la tabla 4 se presenta la estimación del potencial hidroeléctrico identificado como aprovechable en kilovatios.

Tabla 4.

Potencial hidroeléctrico acumulado por tipo de central en cada una de las subzonas hidrográficas.

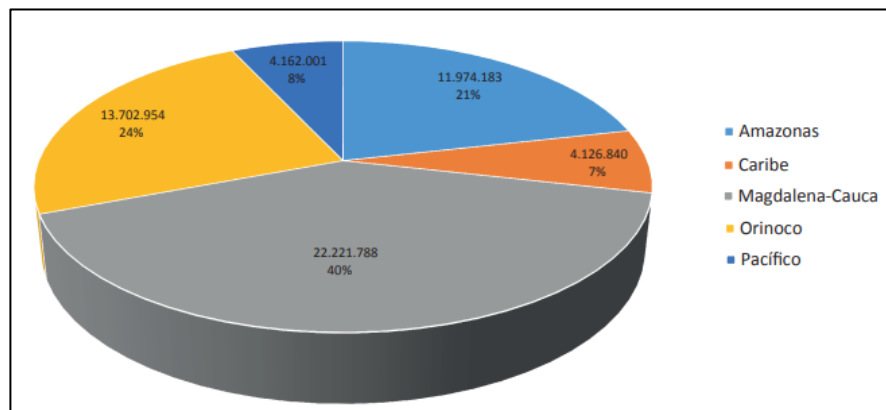
ÁREA HIDROGRÁFICA	TIPO DE CENTRAL					
	Pico	Micro	Mini	Pequeñas	Grandes	
					20-40 MW	>40 MW
Amazonas	285	2.799	26.948	903.311	1.518.300	9.522.541
Caribe	210	1.935	16.843	436.476	749.309	2.922.066
Magdalena Cauca	514	5.229	47.567	1.646.204	2.808.652	17.713.622
Orinoco	360	3.599	35.789	1.230.958	2.205.013	10.227.236
Pacífico	165	1.647	15.984	568.657	831.949	2.743.598
Total por tipo de central	1.533	15.209	143.132	4.785.606	8.113.222	43.129.063

Nota. La tabla presenta el potencial hidroeléctrico en kilovatios para cada una de las subzonas hidrográficas y el total acumulado por tipo de central. Tomado de *Unidad de planeación minero energética. (2015). Atlas potencial hidroenergético de Colombia.* Modificado por el autor.

Los datos presentados en la tabla 4 corresponden al tramo de río con mayor potencial hidroeléctrico aprovechable de cada una de las subzonas hidrográficas y para cada tipo de central, el potencial total para todos los tipos de central corresponde a 56.187 MW (UPME, 2015). En la figura 10 se presenta el porcentaje de potencial hidroeléctrico por área hidrográfica.

Figura 10.

Potencial hidroeléctrico por área hidrográfica en kilovatios.



Nota. El gráfico de distribución representa de manera porcentual el potencial hidroeléctrico. Tomado de *Unidad de planeación minero energética. (2015).*

Como se puede observar, el área hidrográfica con mayor potencial hidroeléctrico aprovechable es Magdalena-Cauca, con un total de 22.221 MW, representando el 40% del total, seguido por el Orinoco, con 13.802 MW que representa el 24%, con un porcentaje similar de 21% se encuentra el Amazonas con 11.974 MW.

Los datos expuestos evidencian un alto potencial hidroeléctrico en el país, condición que conduce al planteamiento de proyectos hidroeléctricos para su aprovechamiento. Una de las propuestas son las pequeñas centrales hidroeléctricas, las cuales, según estudios realizados en 2013, son la alternativa más adecuada debido a las pocas restricciones de tipo ambiental y social que se pueden presentar y la reducción de costos operativos que generan este tipo de proyectos. De esta forma, se espera a futuro seguir aprovechando el potencial hídrico de manera responsable a través de PCH. (Arias et al., 2017)

3.2 Principales hidroeléctricas

Debido al potencial hidroeléctrico que existe en Colombia, se han construido a través del tiempo diferentes hidroeléctricas para su aprovechamiento. A continuación, se presentan los más importantes actualmente:

3.2.1 Hidroeléctrica de Chivor

Está localizada en el departamento de Boyacá, sobre el río Batá a 160 km al nororiente de la ciudad de Bogotá. La obra tiene 237 m de altura, aprovecha una caída neta promedia de 756 m, cuenta con un volumen de embalse de 582 Mm³ y su capacidad es de 1000 MW. (CAR, 2011). La hidroeléctrica inició en el 2022 el Proyecto de Extensión de Vida Útil, con el cual se busca extender y dar continuidad a la operación por 50 años más. En la figura 11 se observa el proyecto hidroeléctrico de Chivor (Semana, 2022).

Figura 11.

Hidroeléctrica de Chivor.



Nota. Tomado de La República. (2022).

3.2.2 Hidroeléctrica Sogamoso

Está ubicada en el departamento de Santander, utiliza las aguas del río Sogamoso, inició su construcción en el año 2009, cuenta con la presa La Tora la cual tiene 190 m de altura, una de las más altas de Colombia, además de tres de las más grandes unidades de generación. Su capacidad máxima instalada es de 820 MW. (Acero y Sánchez, 2017) En la figura 12 se observa la hidroeléctrica Sogamoso.

Figura 12.

Hidroeléctrica Sogamoso



Nota. Tomado de Acero y Sánchez (2017).

3.2.3 Hidroeléctrica Betania

La Central Hidroeléctrica El Quimbo es propiedad de Enel Colombia, está ubicada al sur del departamento de Huila. Cuenta con una capacidad instalada de 400 MW y una generación media de 2.216 Gwh/año (ENEL, 2020). En la figura 13 se observa la hidroeléctrica Betania.

Figura 13.

Hidroeléctrica Betania



Nota. Tomado de Acero y Sánchez (2017).

3.2.4 Hidroeléctrica Urra I

Se encuentra localizada en el municipio de Córdoba, principalmente se suministra por el río Sinú. Para el año 2000 se inauguró, es operada por la empresa Emec S.A.S, su altura es de 73 m y cuenta con una capacidad total instalada de 336 MW, la producción anual es de 930 GWh. (Acero y Sánchez, 2017) En la figura 14 se observa la hidroeléctrica Urra I.

Figura 14.

Hidroeléctrica Urra I



Nota. Tomado de Acero y Sánchez (2017).

3.2.5 Hidroeléctrica del Guavio

Esta central se encuentra en el departamento de Cundinamarca, represa aguas de los ríos Guavio, Batatas y Chivor (Acero y Sánchez, 2017). La presa es de tipo enrocado con una altura de 243 m que forma un embalse útil de 1.047 millones de metros cúbicos, de los cuales 787 millones son utilizables para la generación, cuenta con una capacidad total instalada de 1213 MW distribuidos en cinco unidades y una producción anual de 5890 GWh (Gutiérrez y Franco, 2019). En la figura 15 se observa la hidroeléctrica del Guavio.

Figura 15.

Hidroeléctrica del Guavio



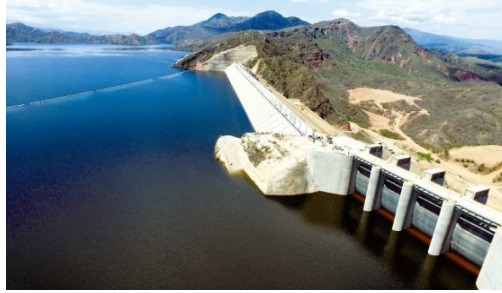
Nota. Tomado de Acero y Sánchez (2017).

3.2.6 Hidroeléctrica el Quimbo

Pertenece a la empresa Emgesa, está ubicada en el departamento del Huila. Cuenta con una capacidad instalada de 400 MW y su producción anual media es de 2216 GWh. (Osorio, 2017). En la figura 16 se observa el proyecto hidroeléctrico El Quimbo.

Figura 16.

Hidroeléctrica el Quimbo



Nota. Tomado de Osorio (2017).

3.2.7 Hidroituango

Localizada en el departamento de Antioquia, a la fecha se encuentra aún en construcción. Es el proyecto más grande del país hasta el momento, su objetivo es producir 2400 MW/año, sin embargo, desde el 2018 se encuentra en estado de contingencia. (Cuervo, 2019) En la figura 17 se observa el proyecto hidroeléctrico Hidroituango.

Figura 17.

Hidroituango



Nota. Tomado de Acero y Sánchez (2017).

3.3 Impactos de la energía hidráulica

La energía hidráulica es considerada una fuente de energía renovable y por tanto amigable con el medio ambiente. Sin embargo, a través del tiempo se ha demostrado que la

construcción de hidroeléctricas, su mantenimiento y constante operación generan eventos negativos de aspecto ambiental y social.

3.3.1 Impactos ambientales

El impacto ambiental generado depende características del lugar de implementación y la dimensión o tamaño del proyecto hidroeléctrico. Por lo tanto, la evaluación de impacto ambiental es diferente para cada caso. Sin embargo, es posible identificar los impactos más significativos entre los cuales se encuentran:

- **Emisiones:** Estudios realizados en la cuenca del río Mekong, demostraron que la emisión de gases de tipo invernadero de 97 de 119 embalses hidroeléctricos están dentro del rango de otras energías renovables ($<190 \text{ kg CO}_2 \text{ e MWh}^{-1}$) durante una vida útil de 100 años y 14 de los embalses igualaron las emisiones de centrales de combustibles fósiles ($>380 \text{ kg CO}_2 \text{ e MWh}^{-1}$) (Räsänen et al. 2018). La energía hidroeléctrica emite cerca de 15 millones de toneladas de CO_2 al año y se prevé que esta cifra aumente considerablemente a medida que se lleven a cabo más proyectos de hidroeléctricas. (Williams, 2019).
- **Sedimentación:** el flujo natural de las fuentes hídricas transporta pequeñas partículas, una vez se represa un río para el funcionamiento de una hidroeléctrica, las partículas se asientan por la falta de un corriente que los desplace y se convierten en sedimentos. Recientes estudios en Europa indican que para el año 2080 los sedimentos ocuparán un 80% del volumen de las represas. (Wagner et al., 2019). Este problema tiene mayor impacto aguas abajo, debido a que algunos de estos sedimentos son vitales para el correcto funcionamiento de los sistemas fluviales. La pérdida de estos sedimentos puede causar erosión de los ríos y pérdida del ecosistema marino, como es el caso del río Nilo y el Mar Negro. (Breeze, 2018)
- **Cambios en el régimen hidrológico:** el régimen hidrológico es la “integración de todos los factores, procesos y sinergias de una cuenca” (Izquierdo y Madroñero, 2013), la construcción de hidroeléctricas genera un cambio en la distribución, magnitud, frecuencia y tiempo del régimen habitual. Estas irregularidades afectan de sobremanera el hábitat de las

especies obligándolas a desplazarse a otros lugares o en dado caso a morir (Burke, 2014).

- **Calidad del agua:** el ciclo natural del agua tiene una capacidad de purificación que disminuye cuando se represa, debido a la alteración de esta propiedad y a la concentración de materia orgánica las características físicas, químicas y biológicas del agua se ven afectadas. Las alteraciones físicas incluyen color, olor, sabor, temperatura, materiales en suspensión, entre otras. Las características químicas incluyen pH, oxígeno disuelto, el cual indica la calidad y vida en los cuerpos de agua, materia orgánica, entre otros (Cifuentes et al., 2014). Las represas generan cambios de volumen, bajas velocidades, oxigenación y estratificación térmica del agua, lo cual reduce los procesos de purificación natural de las fuentes hídricas, resultando en la generación de sustancias nocivas, bacterias y contaminantes lo que genera una disminución en las formas de vida acuáticas (Burke, 2014).
- **Flora y fauna:** la modificación de un ecosistema en cualquier escenario induce a respuestas ecológicas negativas. Las hidroeléctricas no son la excepción, es muy frecuente que al construir depósitos de agua se inunden grandes áreas de bosque y el crecimiento de vegetación terrestre y acuática se vea limitado, estudios realizados en Alemania demostraron que la energía hidráulica es responsable de la extinción de 92 especies de plantas. (Govorushko y Rupert, 2014). Además, las zonas alteradas son el hábitat de muchas especies acuáticas y a pesar de que existen medidas de mitigación que incluyen la generación de hábitats sustitutos, para muchos de los animales resulta difícil esta adaptación el crecimiento y maduración de los peces se ve gravemente afectada. En China, el delfín Yangtzé fue declarado extinto en el 2006, consecuencia de las alteraciones provocadas por proyectos hidroeléctricos, las cuales limitaban el movimiento de esta especie (Govorushko y Rupert, 2014). Por otro lado, las especies terrestres también se ven afectadas ya que muchas de ellas no alcanzan a refugiarse del rápido incremento de nivel del agua, estos cambios en el nivel también son desfavorables para las aves (Burke, 2014).

3.3.2 *Impactos sociales*

La construcción y operación de hidroeléctricas afecta en gran medida a las poblaciones aledañas social y culturalmente. Estos impactos, al igual de los ambientales deben ser evaluados según cada caso. No obstante, a continuación, se exponen los más relevantes y comunes:

- **Desplazamiento:** las hidroeléctricas requieren de grandes áreas de construcción en zonas específicas, en las que pueden o no habitar comunidades, por esta razón muchas veces resulta necesario un reasentamiento, que puede llegar a convertirse en desplazamiento forzado de ser necesario. Se estima que entre 40 y 80 millones de personas han sido víctimas de desplazamiento por la construcción de proyectos hidroeléctricos. Tan solo en China, la Presa de las Tres Gargantas, desplazó a 1,13 millones de personas. (Zhao et al., 2020). Los planes sociales están desarrollados para asegurar una restauración de la comunidad, programas de compensación, generación de empleos, protección de minorías, entre otras cosas. Sin embargo, se han llevado a cabo estrategias de clasificación de afectados, en directos o indirectos con el fin de reducir estas compensaciones, de este modo muchas víctimas del impacto de estos proyectos no han sido reubicados o recompensados a pesar de las alteraciones generadas. (Gómez et al., 2014).
- **Salud:** en regiones cálidas, las instalaciones hidroeléctricas generan un aumento en las enfermedades como la malaria, el dengue, paludismo, fiebre amarilla entre otras que se favorecen con los cuerpos de agua estancados. La bioacumulación produce liberación de metilmercurio a través de bacterias, que puede llegar a la cadena alimenticia por medio de los peces, resultando en envenenamiento para quien lo consume. (Govorushko y Rupert, 2014).
- **Actividad pesquera:** los peces son una de las especies más afectadas por la construcción de hidroeléctricas, debido al cambio de propiedades del agua y el suelo. Este conjunto de impactos se ven reflejados en la tasa de reproducción de los peces y por lo tanto en la pesquería, actividad económica de gran importancia para las comunidades. Un ejemplo de este problema es la Amazonía de Brasil, donde la falta de datos, deficiencia en las licencias

ambientales, entre otros factores, han causado marginación y violación de derechos humanos hacia las pesquerías y pescadores artesanales, afectando su economía. (Doria et al., 2017)

- Agricultura y ganadería: los proyectos hidroeléctricos limitan el acceso a recursos terrestres e hídricos, impidiendo el desarrollo de la vida rural. Además, las inundaciones de grandes áreas de tierra, causadas por el represamiento para las hidroeléctricas, generan un cambio en las propiedades del suelo haciéndolo apropiado para actividades de agricultura y ganadería. Todos estos impactos afectan el logro del segundo Objetivo de Desarrollo Sostenible: Hambre cero. (Bazzana et al., 2020)

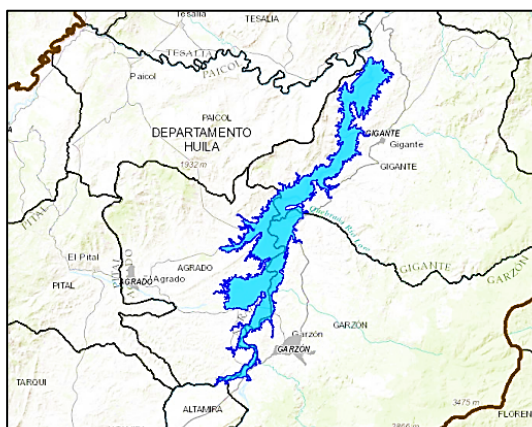
4. HIDROELÉCTRICAS EL QUIMBO E HIDROITUANGO

4.1 Hidroeléctrica El Quimbo

La hidroeléctrica El Quimbo es una central a pie de presa que cuenta con una capacidad de 400 MW y actualmente se encuentra en etapa de operación, el volumen del embalse es de 2601 hm³ y el área inundada es de 8250 ha, se encuentra ubicado entre las cordilleras Oriental y Central al sur del departamento del Huila como se ve en la figura 18 (ANLA, 2020).

Figura 18.

Localización del proyecto hidroeléctrico El Quimbo



Nota. En la figura se resalta la ubicación de la hidroeléctrica El Quimbo. Tomado de ANLA (2020).

El proyecto inicia en el año 2008, cuando la empresa EMGESA S.A realiza la solicitud de licencia ambiental ante la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), iniciando así el trámite y evaluación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) con el fin de determinar la viabilidad ambiental del proyecto (ANLA, 2020).

Para el año 2009, tras realizar una audiencia pública ambiental para escuchar la opinión de la población con respecto al proyecto, la licencia ambiental es otorgada con una serie de compromisos, los cuales debían tener un control y seguimiento por parte de la ANLA (CGR, 2016)

Finalmente, la empresa Emgesa inicia en el año 2011 la construcción y terminación del desvío, desde el 2012 hasta el año 2013 realiza la construcción del dique auxiliar y en el año 2014 lleva a cabo la presa, vertedero, descarga de fondo, casa de máquinas y el llenado de embalse, para el año 2015 la empresa informa que entra en etapa comercial (operación) (ANLA, 2020).

4.1.1 Impactos ambientales

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) expresa que el EIA correspondiente al proyecto hidroeléctrico El Quimbo no contaba con información precisa de la biodiversidad existente en el área, lo que explica el poco alcance del Plan de Manejo Ambiental y por consiguiente los grandes impactos ambientales generados por el proyecto (MADS, 2009)

Aproximadamente 8.568 hectáreas fueron inundadas durante la construcción de la central, 7.400 de estas corresponden al área de Reserva Forestal Protectora de la Amazonía y del Macizo Colombiano, además de 82,4 hectáreas necesarias para la construcción de vías sustitutivas. Lo anterior implica la destrucción de fauna y flora. (MADS, 2009)

Dussán afirma que “103 especies de aves, 13 especies de reptiles y tres especies de mamíferos en vías de extinción y poblaciones de peces que eran básicas para la seguridad alimentaria de la población” (Dussán, 2017) se vieron fuertemente afectadas.

Por otro lado, se generó la destrucción del bosque tropical seco, además de una deforestación no compensable de coberturas vegetales y bosques, cerca de 3.000 hectáreas de cobertura vegetal se vieron afectadas, aun cuando Emgesa cuenta con un plan de reforestación de 11.079 hectáreas, se requieren de cientos de años para la recuperación del ecosistema. (Dussán, 2017)

Entre otros impactos ambientales generados por el proyecto El Quimbo, se encuentra el cambio del uso del suelo, pérdida de suelos y erosión en aproximadamente 8.250 hectáreas. La afectación de la calidad del agua, disminución de oxígeno y de caudal ecológico que se traduce en la alteración de las comunidades hidrobiológicas. Por otro lado, durante la construcción y llenado del embalse, 47.000 m³ de madera no fueron aprovechados y se inundaron en el embalse (Leal, 2017).

4.1.2 Impactos sociales

- **Desplazamiento forzado**

El desalojamiento de tierras se vivió en toda el área de influencia de El Quimbo, para el año 2015 más de 3000 personas fueron desalojadas y 700 fueron desplazadas por medio de la violencia policial (CIJ, 2016). La comunidad que se encontraba en terrenos considerados de utilidad según el Ministerio de Minas solo contaba con dos opciones, vender o aceptar 5 hectáreas que entregaba la empresa Emgesa en otro lugar llamado “La Nueva Escarlata”. Sin embargo, las casas otorgadas por la multinacional no contaban con las condiciones necesarias para que la población pudiera mantener sus costumbres, su cultura y sus actividades regulares. Adicionalmente, las víctimas mencionan que no han sido compensadas según los acuerdos establecidos en la licencia ambiental del proyecto (Sánchez et al., 2019).

- **Economía**

El impacto del proyecto El Quimbo se extiende desde su construcción hasta su etapa operativa, inicialmente para la construcción de la central, resultaba necesario llevar a cabo la adquisición de predios, en este proceso el avalúo se realizó sobre el valor catastral el cual era aproximadamente el 60% del valor comercial, generando pérdidas económicas para la comunidad (Asoquimbo, 2015).

La relocalización de la comunidad en nuevos predios ubicados en La Nueva Escarlata también generó afectaciones económicas como desempleo, costo de vida más alto, carencia de transporte público y la imposibilidad de producir alimentos, pues cuentan con acceso a la tierra más no al riego impactando de manera negativa el comercio y la adquisición de alimentos para el autoconsumo (Sánchez et al., 2019).

Por otro lado, el trabajo y sustento de más de 15.000 personas de la región se vieron afectados por la inundación de 8.586 hectáreas necesarias para el proyecto. Adicionalmente, de los 28.664 pescadores, jornaleros, campesinos, transportadores, comerciantes y mineros artesanales que solicitaron ser incluidos como afectados directos de la empresa Emgesa, solo 1.537 fueron reconocidos (Asoquimbo, 2015).

- **Destrucción del patrimonio cultural**

El departamento del Huila, lugar en el que se desarrolló el proyecto hidroeléctrico el Quimbo, se caracteriza por su gran legado cultural e histórico además de grandes hallazgos arqueológicos. La compañía Emgesa reconoció 78 áreas de interés arqueológico sobre las que el proyecto tendría impacto, ante esta situación plantearon un plan de manejo con un programa de arqueología preventiva, el cual según varios arqueólogos cuenta con vacíos y no es apropiado (Dussán, 2017)

En el año 2011 durante las obras de las vías de acceso del proyecto, se informó a Emgesa la presencia de restos arqueológicos con el fin de llevar a cabo el correspondiente estudio y sustracción, sin embargo, la empresa hizo caso omiso a la advertencia y continuó con la operación para no tener retrasos en la obra, destruyendo por completo las piezas arqueológicas (Dussán, 2017).

Otro caso fue la destrucción de la capilla de San José de Belén, ubicada en el municipio de Agrado con más de 200 años y declarada patrimonio cultural del departamento del Huila (Dussán, 2017). Teniendo en cuenta la importancia de la capilla, en el año 2008 Emgesa presentó el programa de traslado y restauración mediante el cual la empresa se comprometía a garantizar la conservación integral de este patrimonio como condición para la aprobación de la licencia ambiental (CGR, 2014). No obstante, cinco años después de otorgada la licencia Emgesa expresa que “El Traslado Total e Integral de la Capilla, no reúne las condiciones apropiadas para su ejecución, por lo tanto, esta opción es totalmente inviable de acuerdo con aspectos técnicos, temporales y contextuales. El Traslado Parcial de la capilla es la opción más adecuada, representada en sus bienes muebles y elementos representativos de imágenes de arte religioso y símbolos preponderantes de la iglesia” (Dussán, 2017).

Para el año 2015 Emgesa solicitó al Magistrado Ramiro Aponte Pino la construcción de una réplica de la Iglesia y el acceso para realizar el traslado de los bienes por sus propios medios, el Magistrado aceptó la solicitud que no estaba establecida en la Licencia Ambiental, resultando en la demolición de la Capilla de San José de Belén (Dussán, 2017).

4.2 Hidroituango

El proyecto Hidroituango tiene como principal objetivo el aprovechamiento del potencial hidroeléctrico del Cañón del Cauca, cuenta con una presa de 225m de altura y 20M m³ de volumen y una central subterránea con capacidad instalada de 2400 MW. Las principales obras se encuentran ubicadas al norte del departamento de Antioquia, entre las embocaduras del río Ituango y el río San Andrés como se ve en la figura 19 (ANLA, 2020)

Figura 19.
Localización del proyecto Hidroituango



Nota. En la figura se resalta la ubicación del proyecto Hidroituango.
Tomado de ANLA (2020).

La central hidroeléctrica Hidroituango se contempla desde el año 1969, cuando la ingeniero José Tejada Sáez, presenta el proyecto “Desarrollo Hidroeléctrico del Cauca Medio, un análisis sobre el potencial del río” el cual buscaba aprovechar el caudal del Cauca a través de grandes centrales (Yepes, 2018).

Para el año 1979 la firma Integral S.A desarrolla un programa aproximado para la construcción de la central, con base en diferentes estudios de la localización exacta de la obra, dimensiones y características. Sin embargo, el programa planteado representaba una gran complejidad para su ejecución por lo cual fue postergado varios años (Ortiz, 2019).

Posteriormente, en 1998 se crea la Sociedad Promotora de la Hidroeléctrica Pescadero Ituango y se actualizan los estudios de factibilidad con el fin de llevar a cabo el proyecto, el

estudio de impacto ambiental y estudios de complementación de factibilidad se realizaron por parte de la empresa Consorcio Integral en el año 2006 (Ortiz, 2019).

En el año 2009 se otorga la licencia ambiental para el proyecto y un año más tarde inicia la construcción de la central con el contrato entre la Sociedad Hidroituango y Empresas Publica de Medellín (EPM). Según el contrato la construcción del proyecto tardaría 8 años y la operación 42 (Ortiz, 2019).

Para el año 2014, tras diferentes problemas de condiciones climáticas, demoras en la adquisición del predial y construcción de vías de acceso y problemas de orden público, se toma la decisión de llevar a cabo la desviación del río Cauca sin las compuertas previstas en el diseño original. Como consecuencia, se debía construir posteriormente un tercer túnel de desviación no previsto, el cual contendría las compuertas de cierre (Yepes, 2018).

Las obras avanzaron de manera óptima, sin embargo, para el año 2018 el proyecto Hidroituango colapsó, desde entonces EPM ha implementado un proceso de recuperación de Hidroituango y de los daños causados, reportando un avance constructivo del 87% para el 2022, finalmente, la empresa anunció que la central iniciará la generación de energía de 300 megavatios el 26 de julio de este mismo año (Semana, 2022).

En el año 2018 el proyecto hidroeléctrico Hidroituango generó una de las contingencias más grandes en la historia de Colombia. En el mes de abril de ese mismo año, sin haber finalizado la construcción del muro de la represa, el vertedero ni el túnel de descarga, EPM inició el llenado controlado del embalse a través de la obstrucción del río Cauca causando destrucción e inundación de miles de hectáreas de tierra en las que habitaban familias (Moreno y Montenegro, 2021).

4.2.1 Impactos ambientales

La auditoría de la Contraloría realizado en el 2018 al ANLA y EPM, revela que el estudio de impacto ambiental y el plan de manejo del proyecto Hidroituango no contemplaban la magnitud de este y se ajustaban a las necesidades de la empresa y no a los impactos reales. Adicionalmente, la contingencia no prevista presentada en el año 2018 generó más impactos de los esperados, razón por la que la licencia ambiental ha sido modificada más de 12 veces. (CGP, 2018)

El cauce del río Cauca fue afectado debido al cierre no previsto de las compuertas tras la contingencia, lo cual afectó de manera negativa los ecosistemas acuáticos causando pérdida en especies de flora y fauna y alteración en el ciclo hidrológico. Los días siguientes al cierre de la compuerta el caudal del río pasó de 500 m³ a 100 m³, esto sumado al cierre de las conexiones de las ciénagas con el municipio generó el atrapamiento y muerte de diversas especies de peces y deshidratación de las ciénagas (Morales, 2019).

En el año 2019 EPM reportó a la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) la muerte de cerca de 12.300 peces a causa del desastre. El 96% de esta cifra corresponde a la especie *Astyanax microlepis* (sardina) ya que es la de mayor abundancia en el embalse, además es muy sensible a los bajos niveles de oxígeno disuelto. (Morales, 2019)

Para este mismo año, la Fiscalía llevó a cabo el programa Copérnico dirigido en conjunto con la Agencia Espacial Europea y la Unión Europea con el fin de monitorear novedades que afectan el medio ambiente y contribuyen al cambio climático, por medio del cual se evidenció que el buchón de agua está invadiendo el río Cauca de manera acelerada (Tamayo et al, 2020). Esta especie “presenta alta competitividad con especies nativas, rápido crecimiento y reproducción, su biomasa es capaz de duplicarse en un mes, provocando la formación de densas colonias flotantes que disminuyen el flujo del agua y la disponibilidad de oxígeno. Una sola planta es capaz de provocar la invasión completa de un lago” (Corpoboyacá, 2020).

En apenas dos meses el buchón de agua, que se encuentra ubicado a 55 km de la presa de Hidroituango, cubrió aproximadamente 8.5 km del río Cauca. Como es de esperar esta la calidad de vida acuática de esta zona disminuyó considerablemente y existen tramos de cero navegabilidad. Ante la situación, EPM retira la especie con solamente una máquina, lo cual resulta ineficiente y no frena la cantidad de buchón de agua ni su reproducción exponencial. (Tamayo et al., 2020)

Por otro lado, en uno de los afluentes que nutre el río Cauca se encuentra una planta de asfalto abandonada que contiene residuos de material carburado del petróleo y otros elementos peligrosos generados en la obra civil del proyecto Hidroituango. El debido cierre de la planta no se hizo según lo establece las normas ambientales y representa un peligro no solo para la calidad de los cuerpos de agua sino también para la población. (Tamayo et al., 2020)

4.2.2 Impactos sociales

- **Desplazamiento Forzado**

Cuando se lleva a cabo la construcción de megaproyectos resulta necesario la adquisición de predios que se encuentren dentro del área de construcción, esto justificado bajo interés general y el desarrollo que proporcionan dichos proyectos. Para Hidroituango esto no fue diferente, sin embargo, las personas que se negaron a vender sus predios fueron desalojados, se han reportado cerca de 800 familias victimas de desalojo forzado tan solo para la construcción del proyecto (Moreno y Montenegro, 2021). Adicionalmente, la tragedia ocurrida en el 2018 dejó mas de 2000 familias damnificadas, desplazadas y en constante riesgo. Las tazas de desplazamiento para los municipios aledaños de Ituango, Peque y Sabanalarga son de 384,2 a 859,5 por cada mil habitantes (Moreno y Montenegro, 2021).

EPM tras el colapso, comunicó que cerca de 1990 de las familias retornaron a sus hogares y 365 reciben apoyo por parte de la empresa. Sin embargo, esta afirmación no concuerda con las condiciones de abandono y condiciones de vulnerabilidad que denuncian las víctimas (Zuleta, 2021).

- **Violencia**

En el año 2008, diferentes personas de la comunidad que se oponían al proyecto Hidroituango formaron el Movimiento Ríos Vivos (MRV) para expresar su inconformidad, sustentando que la central representaba daños sociales y ambientales. Para el año 2013 cuando más de 400 personas fueron desalojadas a causa del proyecto, razón por la que se alojaron en una universidad local exigiendo por sus derechos. En este mismo año, uno de los miembros del MRV fue encontrado muerto por disparos. A lo largo del tiempo aumentaba la violencia, para el 2018 año del desastre de Hidroituango las personas defensoras que se oponían al proyecto eran objeto de intimidaciones, amenazas, ataques y asesinatos (Coalición para los Derechos Humanos en el Desarrollo, 2020).

- **Economía**

El proyecto hidroeléctrico presenta hasta el momento un impacto económico negativo. En zonas aledañas como Sabana larga, los ingresos de aproximadamente el 90% de la población dependen del río, pescadores y mineros artesanales se ven fuertemente afectados tras la emergencia ocurrida. Por otro lado, el sector de transporte de la zona reporta pérdidas de aproximadamente 25% esto debido al difícil acceso a los municipios afectados. Esta misma situación afecta a comerciantes. No existe una cifra exacta de esta afectación económica pues los ingresos provienen en gran parte de trabajos informales (Moreno y Montenegro, 2021).

- **Bienestar**

Tras el desastre, el pánico colectivo de la comunidad no cesa. Todos los impactos generados por el proyecto afectan el bienestar de la comunidad, pues no se protegen los derechos humanos fundamentales, como la salud, la vida, la movilidad, la vivienda digna, asistencia alimentaria, la salud mental y emocional entre otros (Román et al., 2020).

Los niveles de ansiedad, estrés y miedo son elevados dado los riesgos a los que la comunidad se encuentra expuesta, la incertidumbre del futuro, la carencia de seguridad y las pérdidas materiales. Las comunidades afrocolombianas y pueblos indígenas fueron particularmente afectados (Román et al., 2020).

5. ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LAS HIDROELÉCTRICAS

Con el fin de asegurar el desarrollo sostenible, es necesario plantear estrategias de mitigación de los impactos socioambientales que generan los proyectos hidroeléctricos. En la etapa inicial de planeación se realiza una Evaluación de Impacto Ambiental con el fin de contemplar los posibles impactos que va a generar el proyecto, en conjunto se crea un Plan de Manejo dependiendo de las necesidades. Sin embargo, se debe tener en cuenta que a medida que se desarrollan las etapas de construcción y operación, los impactos pueden presentar variaciones y de ser así las estrategias de mitigación deberán cambiar.

Teniendo en cuenta los impactos socioambientales generados por los proyectos hidroeléctricos, se plantean a continuación algunas estrategias para el desarrollo sostenible de las hidroeléctricas.

Teniendo en cuenta los antecedentes de las hidroeléctricas en Colombia como El Quimbo e Hidroituango, se identifica que no se lleva a cabo un óptimo proceso en el otorgamiento de licencias ambientales. Para que la licencia ambiental sea otorgada, las empresas deben presentar diferentes documentos, entre ellos la Evaluación de Impacto Ambiental y Planes de Manejo correspondientes. Sin embargo, en ambos casos estudiados en el presente proyecto se pudo evidenciar que los EIA no contemplaron la magnitud de los proyectos y por tanto sus impactos, adicionalmente para el caso de El Quimbo la modificación del Plan de Manejo de los patrimonios culturales no se llevó a cabo con la autoridad competente. Por tanto, se propone como estrategia un mayor control, regulación y seguimiento en las fases previas a la aprobación de licencias ambientales, teniendo en cuenta la importancia de estas.

Por otro lado, uno de los problemas en común es la falta de conocimiento de la comunidad sobre los proyectos hidroeléctricos, es decir la falta de comunicación y de información por parte de las empresas hacia la población que se encuentra en el área de interés. Resulta necesario implementar jornadas informativas en los lugares de impacto, asambleas que involucren a la población y en las que se fomente la discusión del proyecto, transmitir la información por diferentes medios teniendo en cuenta que sea accesible.

En cuanto a los impactos ambientales generados en el proyecto hidroeléctrico Hidroituango, es necesario llevar a cabo acciones para mejorar las condiciones de los medios

físicos y bióticos a través de planes de manejo y ordenamiento de cuencas y microcuencas, implementando tratamientos de aguas residuales en municipios aledaños. De esta forma, al mejorar la calidad del agua, las diferentes especies de peces y flora del río pueden iniciar un proceso de normalización, mejorando así las malas condiciones sociales a través de una reactivación económica parcial.

Cabe resaltar que para el proyecto hidroeléctrico Hidroituango, se ha venido implementando desde el 2018 acciones de manejo para mitigar el impacto ambiental ocasionado tras la contingencia. Entre las estrategias implementadas se encuentra la hidratación de las ciénagas con el fin de que estas no pierdan su nivel de agua, el suministro de agua potable a través de la disposición de 21 carrotanques, 82 bidones y 33 tanques para los acueductos conectados al río y el rescate y recuperación de peces para el cual ubicaron 700 pescadores en la zona (EPM, 2019).

Por su parte en el proyecto El Quimbo, Emgesa y Fundación Natura implementaron estrategias para la restauración ecológica del bosque seco tropical a través de la siembra de 54.320 arboles de 52 especies nativas, además de establecer 17.000 metros lineales de cerca para el aislamiento y protección de estos nuevos árboles. El proceso de restauración también implica el mantenimiento y manejo silvicultural, riegos, fertirriego, control fitosanitario y control de malezas. La estrategia de restauración pretende ser replicada en las 11.079 hectáreas del área de compensación de El Quimbo (Fundación Natura, 2017).

6. CONCLUSIONES

- El panorama de la energía hidráulica a nivel global es positivo en cuanto a producción, pues existe un gran potencial de recursos hídricos distribuidos por varias regiones que pueden ser aprovechados para la generación de energía.
- Actualmente, el 70% de la energía eléctrica en Colombia proviene de hidroeléctricas. Se estima un potencial de 56.187 MW entre pico, micro, mini, pequeñas y grandes hidroeléctricas distribuido en diferentes áreas hidrográficas a lo largo del país. El 40% del potencial se encuentra en el Magdalena-Cauca seguido por el Orinoco con el 24%, y el Amazonas con 21%.
- El promedio de emisión de gases de efecto invernadero de los proyectos hidroeléctricos se encuentra en el mismo rango que otras energías renovables ($<190 \text{ kg CO}_2 \text{ e MWh}^{-1}$) y algunos embalses generan la misma cantidad de emisiones que los combustibles fósiles ($>380 \text{ kg CO}_2 \text{ e MWh}^{-1}$).
- Cerca de 3.000 hectáreas de cobertura vegetal se vieron afectadas en el proyecto El Quimbo y 7.400 de las hectáreas inundadas pertenecen al área de Reserva Forestal de la Amazonía y del Macizo Colombiano. Cerca de 103 especies de aves y 13 especies de reptiles en vía de extinción se vieron afectadas.
- La contingencia presentada en Hidroituango generó una disminución del caudal del río Cauca, pasando de 500 m^3 a 100 m^3 , cerca de 12.300 peces murieron a causa de esto. Por otro lado, la especie buchón de agua está invadiendo el río de manera acelerada afectando el desarrollo de vida dentro del agua.
- El desarrollo de la hidroeléctrica el Quimbo implicó el desalojamiento de más de 3000 personas, la disminución de actividades económica como la pesca, afectando el trabajo y sustento de aproximadamente 15.000 personas entre pescadores, jornaleros, campesinos, trasportadores y comerciantes.

- Aproximadamente 800 familias fueron desalojadas tan solo para la construcción de Hidroituango y posteriormente tras la contingencia del 2018, más de 2000 familias fueron afectadas, las tasas de desplazamiento para los municipios aledaños son de 384,2 a 859,5 por cada mil habitantes. La salud y bienestar de la comunidad se ve afectada debido a la falta de protección por parte de las entidades correspondientes.
- Desde el año 2018, se ha venido implementando estrategias de mitigación para Hidroituango. El suministro de agua potable a través de la disposición de 21 carrotaques, 82 bidones y 33 tanques para los acueductos conectados al río y el rescate y recuperación de peces para el cual ubicaron 700 pescadores en la zona son algunas de ellas.
- El proyecto hidroeléctrico El Quimbo trabaja en la restauración ecológica del bosque seco tropical a través de la siembra de 54.320 árboles de 52 especies nativas, la estrategia tiene como objetivo restaurar las 11.079 hectáreas de área de compensación.

BIBLIOGRAFIA

- Arias-Gaviria, J., van der Zwaan, B., Kober, T., & Arango-Aramburo, S. (2017). The prospects for Small Hydropower in Colombia. *Renewable Energy*, 107, 204-214.
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (s.f.). Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Gobierno de Colombia – ANLA. <https://www.anla.gov.co/proyectos/proyecto-de-interes-en-seguimiento-proyecto-hidroelectrico-el-quimbo>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (s.f.). “Proyecto Hidroeléctrico Pescadero Ituango”. Gobierno de Colombia – ANLA. <https://www.anla.gov.co/proyectos/proyecto-de-interes-en-seguimiento-hidroelectrico-pescadero-ituango>
- Bazzana, D., Gilioli, G., & Zaitchik, B. (2020). Impact of hydropower development on rural livelihood: An agent-based exploration. *Journal Of Cleaner Production*, 275, 122333.
- Breeze, P. (2018). *Hydropower*. Elsevier Ltd.
- Burke, L. (2014). *Hydroelectricity and Power Electronics: Environmental Impacts, Emerging Technologies, and Challenges*. Nova Science Publishers, Inc.
- Brookshier, P. (2004). *Hydropower Technology*. *Encyclopedia Of Energy*, 333-341.
- CGR.(2014) Actuación Especial ANLA. Seguimiento a Denuncias Ciudadanas para exigir el cumplimiento de obligaciones ambientales en la actual construcción de Hidroeléctricas Bogotá.
- CGR (2016). Informe de Auditoría. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales 2015. Bogotá
- Cifuentes, G., Gamboa R. y Rocha, Z. (2014) “Diagnóstico fisicoquímico, biológico y microbiológico de las aguas del embalse de la copa (Boyacá), Tunja, Boyacá”: Ediciones Universidad de Boyacá.
- Coalición para los Derechos Humanos en el Desarrollo (s.f.). Riesgos no calculados. Amenazas y ataques contra las personas defensoras de los derechos humanos y el papel de los financiadores del desarrollo. COALITION FOR HUMAN RIGHTS IN DEVELOPMENT. <https://rightsindevelopment.org/nuestro-trabajo/riesgosnocalculados-webinar/?lang=es>
- Comisión Internacional de Juristas -CIJ.(2016) El Quimbo: Megaproyectos, Derechos económicos, sociales y culturales y protesta social en Colombia

- Cuervo, I., 2019. Hidroeléctrica Ituango, un caso para el análisis ambiental del territorio. *Ingenierías USBMed*, 10(2), pp.44-54.
- Doria, C., Athayde, S., Marques, E., Lima, M., Dutka-Gianelli, J., & Ruffino, M. et al. (2017). The invisibility of fisheries in the process of hydropower development across the Amazon. *Ambio*.
- Duarte-Abadía, B., Boelens, R. and Roa-Avenidaño, T., 2015. Hydropower, Encroachment and the Re-patterning of Hydrosocial Territory: The Case of Hidrosogamoso in Colombia. *Human Organization*, 74(3), pp.243-254.
- Dussán, M. (2017). EL QUIMBO: EXTRACTIVISMO, DESPOJO, ECOCIDIO Y RESISTENCIA. Torre Gráfica Limitada. <https://bibliotecaplanetapaz.org/bitstream/handle/bpp/63/El%20Quimbo-%20Extractivismo%2c%20Despojo%2c%20Ecocidio%20y%20Resistencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fundación Natura. (2017) Conservación y Restauración de la Biodiversidad.
- Gómez, A., Wagner, L., Torres, B., Martín, F., & Rojas, F. (2014). Resistencias sociales en contra de los megaproyectos hídricos en América Latina. *European Review Of Latin American And Caribbean Studies | Revista Europea De Estudios Latinoamericanos Y Del Caribe*, 0(97), 75.
- Govorushko, S. M., & Rupert, C. E. (2014). *Hydropower: Types, Development Strategies and Environmental Impacts*. Nova Science Publishers, Inc.
- Histórico de Noticias. [Minenergia.gov.co](http://minenergia.gov.co). (2020). Consultado 27 November 2020, de <https://www.minenergia.gov.co/historico-de-noticias?idNoticia=24094573>.
- Hoes, O., Meijer, L., van der Ent, R., & van de Giesen, N. (2017). Systematic high-resolution assessment of global hydropower potential. *PLOS ONE*, 12(2), e0171844.
- Iglesias, S. (2011). GUÍA DE IMPACTO AMBIENTAL PARA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/f1cfc9f-9182-42fd-872d-73e440fa7e0a/content>
- International Hydropower Association. (2018). *Hydropower status report*. IHA Central Office. https://hydropower-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/publications-docs/iha_2018_hydropower_status_report_4.pdf

- Izquierdo Santacruz, M. L., & Madroñero Palacios, S. M. (2013). Régimen de caudal ecológico, herramienta de gestión para conservar la biota acuática. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 23(2), 77-94. <https://doi.org/10.18359/rcin.224>
- Leal, A. (2017). CONFLICTOS SOCIO-AMBIENTALES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA: EL CASO DE LA HIDROELÉCTRICA EL QUIMBO. Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21300/LealCastilloAndreaPaola2017.pdf?sequence=1>
- Morales, E. N. (2019). Deficiencias regulatorias sobre los efectos secundarios de la generación de energía eléctrica: un análisis del caso Hidroituango.
- Moreno, L. M., & Montenegro, M. (2021). Desterradas del río. Hidroituango y la destrucción del cuerpo-territorio por megaproyectos. Entre el interés general y el sostenimiento de la vida. *Iberoamericana – Nordic Journal of Latin American and Caribbean Studies*, 50(1), 84–93. DOI: <http://doi.org/10.16993/iberoamericana.520>
- Ortiz, J. (2019). Los hechos que marcaron curso de la historia en Hidroituango. *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/antioquia/obras/historia-de-hidroituango-cronologia-del-proyecto-DJ10198586>
- Osorio Rosado, C. A. (2017). Impactos ambientales de los proyectos hidroeléctricos en Colombia: el caso del Quimbo. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Pachakuti, S. (2015). Problemática Proyecto El Quimbo. Issuu Inc. https://issuu.com/soldepaz-pachakuti/docs/problem__tica-quimbo-congreso__2015
- Portafolio (2019). Recomendaciones para mitigar el impacto ambiental de Hidroituango. <https://www.portafolio.co/tendencias/recomendaciones-para-mitigar-impacto-ambiental-por-hidroituango-531036>
- Pinzón, J. & Quevedo, J. (2019). Análisis de impactos ambientales provocados por el aprovechamiento de recursos naturales renovables, reconociendo metodologías que desarrollan nuevas fuentes generadoras de energía en panamá y colombia. Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24907/1/PROYECTO%20DE%20GRADUACION%20DE%20INGENIERIA%20EN%20ENERGIAS%20RENOVABLES%20Y%20SOSTENIBILIDAD%20Y%20DESARROLLO%20SOSTENIBLE%20EN%20PANAMA%20Y%20COLOMBIA.pdf>
- Quaschnig, V. (2016). *Understanding Renewable Energy Systems*. 2nd Edition. Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9781315769431>

- Räsänen TA, Varis O, Scherer L, Kummu M (2018) *Environ Res Lett* 13(3)
- Revista Semana. (10 de marzo de 2022). EPM abrió solicitud pública de ofertas para obras civiles finales de Hidroituango. Obtenido de <https://www.semana.com/economia/empresas/articulo/epm-abrio-solicitud-publica-de-ofertas-para-obras-civiles-finales-de-hidroituango/202207/>
- Revista Semana. (10 de abril de 2019). Fiscalía solicita medidas inmediatas frente al daño ambiental causado por Hidroituango. Obtenido de <https://sostenibilidad.semana.com/actualidad/articulo/fiscalia-solicita-medidas-inmediatas-frente-al-dano-ambiental-causado-por-hidroituango/43772>
- Rincón, D. (2020). Protecting the right to defend Human Rights in Colombia: the Ríos Vivos Antioquia case. *Deusto Journal of Human Rights*, No. 6: 239-263. <http://dx.doi.org/10.18543/djhr.1911>
- Roman, H., Insuasty, A., Valencia, J., Zuluaga, H. (2020). Proyecto Hidroituango: historia de una tragedia. *Kavilando*. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/gsd/collect/co/co-081/index/assoc/D15873.dir/0.pdf>
- Sánchez, V., Mora, J. y Millán, E. (2019). El Quimbo, paisaje del despojo y desterritorialización: el caso de las familias de la Escalereta. *Negonotas Docentes*, 13, 23-44.
- Tobar Guzmán, G., 1977. Hidroeléctrica de Chivor Colombia. *Informes de la Construcción*, 30(290), pp.73-85.
- Unidad de planeación minero energética. (2015). Atlas potencial hidroenergético de Colombia.
- Valencia, J. (2018). Revisión del potencial para aprovechamiento hidroeléctrico en el municipio de timbiquí, cauca.
- Wagner, B., Hauer, C., & Habersack, H. (2019). Current hydropower developments in Europe. *Current Opinion In Environmental Sustainability*, 37, 41-49.
- Williams, J. (2019). The hydropower myth. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 12882-12888.
- World Energy Assessment (2000). Energy and the change of sustainability. United Nations Development Programme. <http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/huang2/docs/undp-2000.pdf#page=228>

- Zarfl, C., Lumsdon, A., Berlekamp, J., Tydecks, L., & Tockner, K. (2014). A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, 77(1), 161-170.
- Zuleta, C. (2021). Hidroituango: Un desastre socioambiental con responsabilidad internacional, IdeAs DOI: <https://doi.org/10.4000/ideas.10005>
- Zhao, X., Wu, L., & Qi, Y. (2020). The energy injustice of hydropower: Development, resettlement, and social exclusion at the Hongjiang and Wanmipo hydropower stations in China. *Energy Research & Social Science*, 62, 101366.