

IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR CENTRALES
HIDROELÉCTRICAS

DANIEL MORENO JIMENEZ

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

Primero dedico este trabajo a mi madre y a mi padre por ser mi ejemplo y estar siempre a mi lado apoyándome y dándome fuerzas para seguir adelante en cada una de mis decisiones.

A mis hermanos que siempre han estado a mi lado en todo momento compartiendo conmigo, brindándome su confianza y apoyo en mi y nunca me han dejado rendirme en los retos que se me presentan.

A mis abuelos que me han dado de sus consejos y sus conocimientos para seguir adelante en cada una de las metas que me propuesto realizar en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme seguir creciendo como persona y profesional en esta nueva etapa.

A mis padres que me han dado la oportunidad de crecer de forma personal y profesional brindándome su apoyo y conocimiento y gracias a sus esfuerzos culminar una nueva etapa, a mis hermanos que siempre están para mí y nunca dejando que me dé por vencido pese a los obstáculos que se presentan en el camino.

A mis abuelos por su apoyo incondicional.

También doy gracias a mis profesores por su tiempo y dedicación durante este proceso, quienes son personas diferentes experiencias que comparten sus conocimientos. Al Ingeniero Juan Manuel Afanador por su apoyo y compartir conmigo sus conocimientos y experiencia.

Por último, a mi novia y a mis compañeros de la especialización, gracias por su tiempo, compañía y por compartir sus experiencias y conocimientos conmigo.

TABLA DE CONTENIDO

	pag
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivos específicos	3
1. CAPITULO I	4
1.1. Centrales hidroeléctricas	4
<i>1.1.1. Historia</i>	4
<i>1.1.2. Funcionamiento</i>	6
<i>1.1.3. Partes</i>	6
<i>1.1.4. Reconocimiento</i>	8
2. CAPITULO II	11
2.1. Impacto ambiental	11
<i>2.1.1. Ecosistemas</i>	11
<i>2.1.2. Medios físicos</i>	12
I. Agua.	12
II. Suelo.	13
III. Aire.	13
<i>2.1.3. Fauna</i>	14
<i>2.1.4. Flora</i>	15
2.2. Organismos invasores	16
3. CAPITULO III	17
Estrategias	17
4. CONCLUSIONES	19
BIBLIOGRFIA	21

RESUMEN

Las centrales hidroeléctricas son un gran avance tecnológico el cual se ha implementado desde hace varios años. En esencia, permite el aprovechamiento de la energía potencial de una masa de agua, convirtiendo, en primer lugar, esa energía en energía cinética y, posteriormente, en energía mecánica de rotación en una turbina y por fin en energía eléctrica en un alternador. Posteriormente, el agua es restituida al río aguas abajo utilizando un canal de descarga. para lo cual se dividen en dos tipos lo cuales son: las centras hidroeléctricas y las pequeñas centrales hidroeléctricas. Y se diferencian en la cantidad de potencia generada en cada una de ellas y el tipo de turbina utilizada.

En todos aspectos se tiene en cuenta la represa o el embalse el cual es necesario para controlar la cantidad de agua que debe pasar por la turbina permitiendo un flujo constante y evitar las fluctuaciones que esta pueda generar por las variaciones de caudal. Este es el punto principal de la investigación, debido a que las represas y los embalses son los principales causantes de los diferentes impactos que generan al ecosistema, ya que son los que brindan un servicio de agua potable y electricidad.

Teniendo en cuenta los diferentes impactos que se presentan en los medios físicos como son: el agua, el suelo y el aire, y en los ecosistemas de fauna y flora de las zonas, se identificaron diferentes estrategias empleadas como fueron estudios, de la flora encontrada cerca a la ubicación de las hidoelectricas, otra forma de poder identificar los impactos generados fue la distribución de especies, la percepción de las poblaciones aledañas y por ultimo otra estrategia es la implementación de bioensayos de laboratorio lo que evidencio resultados favorables que dan un paso hacia una solución factible para unos de los diferentes impactos encontrados.

Palabras clave: recursos naturales, energía, gestión ambiental, estrategias

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad se ha pasado de ser pequeños grupos de cazadores y recolectores, hasta una sociedad moderna de alta tecnología a lo largo de 6 Millones de años. Pero bien, esto se dio gracias a que se dejó a un lado el camino de la sostenibilidad, debido al extensivo crecimiento. Hoy en día se ven las consecuencias de estas decisiones, y por ello se ha retomado caminos enfocados en sostenibilidad, teniendo en cuenta ámbitos energéticos, como lo es el aprovechamiento de las centrales hidroeléctricas (Dold, 2020).

Una central hidroeléctrica puede definirse como instalaciones mediante las que se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica. Esto se logra conduciendo el agua desde el nivel en el que se encuentra, hasta un nivel inferior en el que se sitúan una o varias turbinas hidráulicas que son accionadas por el agua y que a su vez hacen girar uno o varios generadores produciendo energía eléctrica (Fernández & Ramon, 2011).

La alta demanda de energía eléctrica a nivel mundial, aproximadamente es de un 81% por fuentes de combustibles fósiles y en un 19% por fuentes renovables (González & Valencia, 2015); en la actualidad estas fuentes naturales están asociadas con el uso de la bio masa para la obtención de energía.

Las centrales hidroeléctricas aportan un modesto porcentaje a la producción de energía, aprovechan la energía cinética de las corrientes de agua o de las diferencias de alturas que estas proveen mediante el uso de turbinas lo que hace posible la obtención de energía hidroeléctrica, la cual abastece nada más que el 16.6.% del total de la energía global hoy en día, debido a la gran demanda de energía que se requiere por los avances tecnológicos y no genera impactos ambientales para su obtención (Malagón, 2017). De lo cual se puede observar una gran disminución del recurso hídrico debido a los altos niveles de contaminación en ríos y mares, siendo utilizados como vertederos de basuras y desechos que se generan diariamente, a lo cual también aporta el calentamiento global, donde el aumento de temperatura también reduce el nivel de los mares y ríos.

La necesidad de construir centrales hidroeléctricas surge de la problemática basada en la contaminación que se da por la obtención de energía por medio de hidrocarburos, dicho fenómeno no es generado en las centrales hidroeléctricas ya que utilizan energía potencial y posteriormente energía cinética del agua sin generar ningún tipo de combustión con recursos no renovables (Pinzón & Quevedo, 2019).

Para poder aprovechar correctamente los afluentes de los ríos y obtener una gran eficiencia de las velocidades de las corrientes de agua es necesario crear embalses y represas para que el flujo de agua permanezca continuo y no genere fluctuaciones que puedan dañar algún equipo necesario. Pero lo que no se considera es el impacto generado por los mismos en la fauna y la flora de la zona en donde se encuentre ubicada la central hidroeléctrica.

La elaboración del presente escrito se realizó mediante la indagación de información en distintas bases de datos precisos a nivel científico, a través de tesauros relacionados con los impactos ambientales generados por la implementación de centrales hidroeléctricas.

Todo esto, con la finalidad de mostrar los diferentes impactos ambientales generados por el uso de las centrales hidroeléctricas, los cuales no son muy conocidos. Buscando una forma de disminuir o mitigar el impacto generado sin dejar de utilizar las centrales hidroeléctricas, de donde se obtiene un porcentaje adecuado para ser una energía renovable teniendo en cuenta sus limitaciones.

OBJETIVOS

Objetivo General

Identificar estrategias para la disminución de los impactos ambientales producidos por las centrales hidroeléctricas.

Objetivos específicos

1. Describir el proceso de obtención de energía.
2. Identificar los principales impactos en los ecosistemas.
3. Plantear las estrategias diseñadas para la disminución de los impactos.

1. CAPITULO I

Muchos de los cambios ambientales son principalmente por la emisión de gases al ambiente, y en busca de disminuir esta problemática se han implementado diferentes formas para la obtención de la energía eléctrica, como lo es la energía hidráulica. Pero está también genera un impacto ambiental en las zonas en las que se encuentren ubicadas las centrales.

Con lo anterior se pretende conocer los diferentes cambios generados por las hidroeléctricas a los ecosistemas; como afectan a los seres que habitan cerca a estas zonas y que estrategias o planes se han implementado para conocer las consecuencias y poder disminuir o mitigar el impacto generado.

1.1. Centrales hidroeléctricas

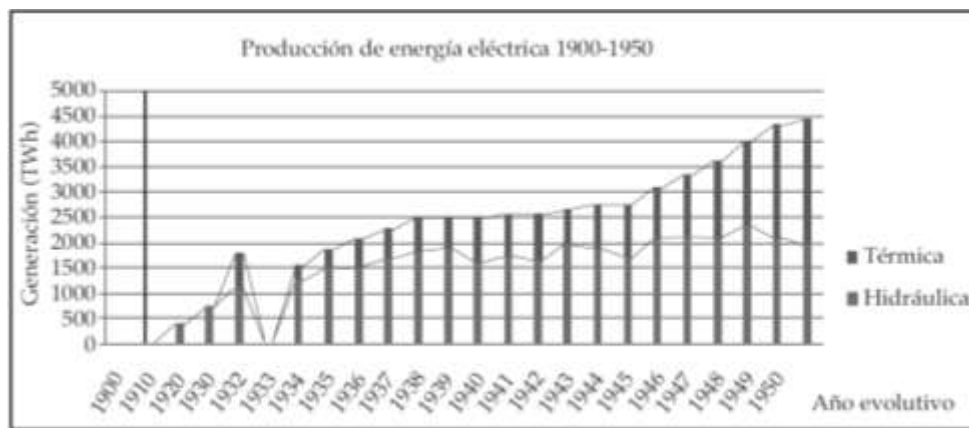
El agua es uno de los recursos naturales más grande del planeta abarcando el 70% de la superficie, este recurso natural es unos de los principales actores en muchos de los procesos o ciclos necesarios en los ecosistemas, debido a su gran contenido y a las diferentes formas en las que se pueden encontrar también es uno de los principales factores para la obtención de energía eléctrica. Ya que el agua se puede encontrar en fluyentes de los ríos, por los diferenciales de alturas se aprovecha la energía potencial del agua y poder transformarla en energía mecánica para que por medio de un transformador se convierta en energía eléctrica. Para ello son necesaria las centrales hidroeléctricas por lo que hoy en día la contaminación ambiental genera fluctuaciones en este recurso lo que originaría variaciones en la obtención de energía eléctrica por medio de la energía hidráulica. Dado que se presenta una gran demanda energética por los avances tecnológicos a lo largo de los tiempos.

1.1.1. Historia

A lo largo del tiempos debido a los avances tecnológicos se ha requerido una gran demanda energética para lo cual se han buscado otros tipos de fuentes para la obtención del mismo recurso; se encontró el aprovechamiento de la energía hidráulica por medio de las centrales

hidroeléctricas. Estas son implementadas en el año de 1882, empezando como pequeñas centrales localizadas en Inglaterra, Estados Unidos y Francia. Todo esto surge por la aparición de la turbina, gracias a Eourneyuron, Jonval y Girad en Francia; por Thomson en Inglaterra, en Estados Unidos por James Francis y Lester Pelton. Que fueron los pioneros en diseñar un objeto que permita aprovechar la energía hidráulica. (Jesús, 2012)

Figura 1.
Producción de energía eléctrica 1900-1950



Nota. Representa la producción de energía eléctrica por medio de las centrales hidroeléctricas desde 1900 a 1950. **Tomado de:** Jesús, R. L. de. (2012). Las centrales hidroeléctricas en México. *Tecnología y Ciencias Del Agua, III(2)*, 103–121. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n2/v3n2a7.pdf>

La figura nos permite evidenciar el crecimiento que han tenido las centrales hidroeléctricas durante los 50 años desde que se empezaron a implementar para la obtención de la energía eléctrica.

Gracias a esto muchos países cuentan con el recurso de electricidad ya que se ha considerado como un sinónimo de desarrollo. Colombia es un país que cuenta con una rica topografía y grandes recursos hídricos que han contribuido para macro-proyectos de ingeniería, ya que desde 1895 año en el que se instaló la primera hidroeléctrica en Colombia y hasta el día de hoy el país depende en un 70% de la generación eléctrica (Rico, 2018).

1.1.2. Funcionamiento

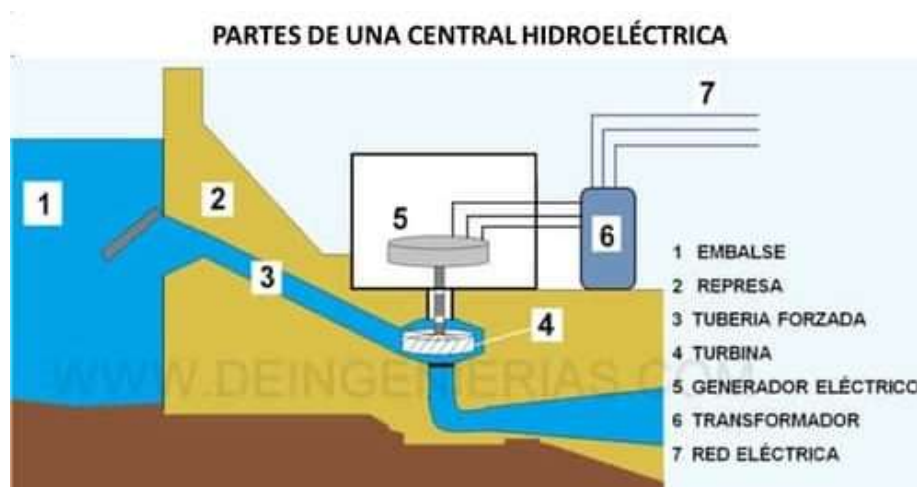
El funcionamiento de las centrales hidroeléctricas es mediante el aprovechamiento del flujo producido por el diferencial de alturas; esto permite acumular energía hidráulica la cual por medio de una turbina se convierte en energía mecánica, que a su vez se transformara en energía eléctrica. Las grandes variaciones del flujo de los ríos, permiten el aprovechamiento de la energía que suministran, siendo necesaria la implementación de embalses o represas que regulan el flujo y evitan que las variaciones puedan generar daños en los quipos.

1.1.3. Partes

Las centrales hidroeléctricas se construyen teniendo en cuenta las zonas en donde serán ubicadas ya que la geografía de cada una puede variar debido a esto; se pueden construir diferentes tipos de centrales. Todas deben tener las mismas partes principales que brinda un funcionamiento eficiente, como se presenta en la (Figura 2.).

Figura 2.

Partes de una central hidroeléctrica.



Nota. Representa los elementos de una central hidroeléctrica **Tomado de:** De ingenierias. (2019) Partes y componente de una central hidroelectrica. <https://deingenierias.com/hidroelectricas/partes-de-una-central-hidroelectrica/>

La Figura 2 nos permite conocer los principales equipos necesarios en una central hidroeléctrica, los cuales permiten extraer la energía que se encuentra en el agua para transformarla en energía eléctrica.

Cada una de ellas tienen una función específica en el proceso de obtención

- **Toma de agua**

La toma de agua es la parte que permite el ingreso de la misma a las centrales hidroeléctricas sin importar el tipo de central ya sea de micro o macro escala, aclarando que la toma de agua no es el embalse o la represa son partes diferentes.

- **Tubería Forzada**

Las tuberías forzadas o también conocidas como tuberías de presión, son las que dirigen el agua hacia la casa de máquinas. Estas tuberías son diseñadas y construidas para soportar grandes presiones y reducir al mínimo las pérdidas en los trayectos, usualmente el material empleado para la fabricación de las tuberías es de metal, concreto armado y otros componentes, de esto también dependerá del contexto de su construcción ya que pueden ser externas o subterráneas.

- **Turbina**

La turbina se compone de un rodete y un conjunto de alabes o también llamadas cucharas, unidos a un eje giratorio, esta máquina o parte de las centrales es la que permite recibir sobre ellas el agua a alta presión que genera el movimiento en la turbina y es transferido a los generadores. Por otro lado, dependiendo o teniendo en cuenta características de la ubicación de la cuales depende el salto de agua y la presión requerida; existen diferentes tipos de turbinas.

- **Generador**

El generador es una de las piezas mas importantes de las centrales ya que sin generador no es posible obtener la energía eléctrica, el generador se compone de un rotor y estator que mediante la rotación son capaces de producir la fuerza electromotriz, que permite generar la energía y poder se transmitida y distribuida.

- **Transformadores**

Los transformadores, como bien su nombre lo indica son los que transforman la electricidad producida por el generador, su principal tarea es amplificar el voltaje o la fuerza electromotriz que se ha generado, desde el punto de vista en obtener una mayor fuerza eléctrica y poder compensar las pérdidas producidas por largas distancias en la que se deben transmitir.

- **Líneas eléctricas**

Las líneas eléctricas son las partes o equipos que se encargan de la transmisión y distribución de la energía eléctrica como lo son los cables de alta tensión, torres, redes y otros equipos

- **Otros**

Las centrales cuentan con mas maquinas o partes que permiten un funcionamiento eficiente y controlado como los son presas o represas, embalses, compuertas y válvulas hidráulicas, rejas y limpia rejas, bombas de agua, rebosaderos, destructores de energía, sala de máquinas, cámaras, chimeneas de equilibrio, canal de desagüe y carreteras.

1.1.4. Reconocimiento

Hoy en día las hidroeléctricas tienen un gran reconocimiento debido a que es una energía renovable y eficiente para abastecer la demanda energética. Como se pueden evidenciar en países como China, India y Estados Unidos, ya que al ser países con un número muy grande

de habitantes la demanda energética es muy alta y las centrales termoeléctricas pueden cumplir con la demanda ya que también aumentarían las emisiones de gases por la quema de combustibles. La (Figura 3) evidencia, el alcance que tienen las hidroeléctricas a nivel mundial.

Figura 3.
Potencial hídrico mundial.



Nota. Representación del potencial eléctrico a nivel mundial de las hidroeléctricas **Tomado de.** Muguerza, D. (2005). Micro Centrales Hidroeléctricas. Del Nordeste. Universidad Nacional de Salta., 81. <http://listas.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/microturbinas/apuntemch.pdf>

En la gráfica se muestra el potencial hídrico a nivel mundial que se obtiene dando un valor de 2.212.000 MW total de energía aprovechada, no obstante, esta información está basada únicamente en micro centrales, de cual se plantean varias preguntas, la primera pregunta sería: ¿Qué capacidad tienen las micro centrales a un nivel macro? (Muguerza, 2005), lo que nos lleva a la siguiente pregunta y se basa en el tema de estudio y es ¿El impacto generado por las centrales, al ser micro centrales tendrán un menor o igual impacto frente a las centrales hidroeléctricas? Para responder a las preguntas anteriores se debe tener en cuenta la relación entre el desarrollo del sistema eléctrico y la distribución de la población en los sistemas eléctricos interconectados. Debido a que se encuentra una mayor demanda de consumo

energético en los centros urbanos y parcialmente en áreas rurales, lo que conlleva a que muchas áreas rurales no cuenten con los servicios sociales básicos que en este caso sería de energía eléctrica.

Para ello se plantean la implementación de pequeñas centrales o micro centrales que abastezcan de este servicio a las poblaciones rurales alejadas, teniendo en cuenta que sus recursos naturales tengan el potencial suficiente para generar e implementar una micro central hidroeléctrica (Muguerza, 2005). Teniendo que en nuestro país las hidroeléctricas producen un 69.93% de la energía eléctrica, que corresponde a la capacidad efectiva neta mensual de 11,060.4 MW, lo que hace parte del progreso de las ciudades para la mejoría de la calidad de vida de la población (Acero & Sánchez, 2017).

Muchos proyectos de hidroeléctricas en Colombia como lo son Guavio, Urrá, Ituango, Salvajina, entre otras las cuales cuentan con la capacidad de producción en el país aproximadamente de 19.000 megavatios. Por ejemplo el proyecto de Hidroituango ubicado en el Valle del río Cauca que pasa por un puñado de municipios del departamento de Antioquía. Que abastecería cerca del 17% de energía eléctrica a todas estas zonas (Rico,2018).

2. CAPITULO II

2.1. Impacto ambiental

Al momento de hablar sobre el impacto ambiental y el uso de centrales hidroeléctricas, se piensa que estos dos temas no están relacionados entre sí, ya que cuando se trata del impacto ambiental se tiene la percepción de que toda la contaminación es producida por la quema de combustibles y los desechos arrojados a los ríos o mares, mientras que en el caso de las centrales hidroeléctricas es todo lo contrario, debido a que se tiene la idea de que es una forma de obtención de energía limpia y renovable y no tienen ningún tipo de repercusión al ambiente.

Donde esto es un pensamiento erróneo, debido a que los impactos ambientales no se notan a plena vista, como cualquier cambio generado no se presenta al instante, hace su identificación más compleja; pero a lo largo del tiempo por medio de estudio se han podido identificar cambios en los ecosistemas, en la fauna y flora de las zonas en donde se encuentran las centrales hidroeléctricas.

2.1.1. *Ecosistemas*

Los ecosistemas presentan unas variaciones por sus zonas geográficas, por lo cual se deben estudiar las posibles formas de aprovechamiento de los recursos hídricos a su máxima capacidad, en las centrales como lo es el caso del Himalaya el cual se ha convertido en la principal zona de desarrollos hidroeléctricos por las grandes demandas en energéticas en India (Sahu et al., 2020). Debido al gran número de población que se encuentran actualmente en él, lo que conlleva a que en el sector del Himalaya solo por el momento se encuentre en funcionamiento tres grandes presas de almacenamiento de más de 1.000 MW de los cual se generan grandes problemas ambientales.

Otro país que gracias a su ricos ecosistemas y zonas geográficas puede abastecer la demanda energética es Brasil, el cual es uno de los países con mayor potencial energético renovable en el mundo, y a su vez aproximadamente el 80 % de toda la energía producida en Brasil es proveniente principalmente por centrales hidroeléctricas((Melandri et al., 2015). Lo que

generan grandes cambios en los ecosistemas, como es en los caudales de los ríos, por los embalses utilizados por las centrales, el embalse más grande construido en Brasil en términos de volumen de agua con mil millones de metros cúbicos de lo cual generan un gran cambio a lo largo del área donde se encuentre y las especies de fauna y flora nativas.

Como se puede evidenciar a medida que se van implementado centrales hidroeléctricas debido a que es una de las mejores opciones de una energía renovable debido a que el flujo del caudal se puede controlar por medio de embalses o represas y generando una gran cantidad de energía a gran escala que permite cumplir con las demandas establecidas, pero a su vez ocasionado grandes cambios en los ecosistemas tanto en las especies que las habitan, esto se puede observar en países donde se presentan las cuatros estaciones, y se ven en los ciclos de la fauna y flora de las zonas.

A su vez ocasionan cambios de temperatura en cada uno de los embalses, debido a que se presentan en términos de variabilidad y magnitud en frecuencia y duración de pulsos de baja y alta temperatura que se propagan corriente abajo, donde estos cambios de temperatura presentan al no ser muy notorios para por ser estudiados, pero si generando un impacto en los ecosistemas. (Carpentier et al., 2017).

2.1.2. Medios físicos

Los medios físicos corresponden a los recursos que constituyen los ecosistemas como lo son el agua, la tierra y el aire, cada uno de estos se ve afectado por la implementación de una central hidroeléctrica, debido a que genera pequeños o grandes cambios en ellos para la adecuación del espacio o la implementación de los recursos en el proceso de obtención de la energía.

I. Agua. El agua al ser el mayor recurso utilizado debe tener unas características de utilización para ello se hacen grandes retenciones en depósitos de almacenamiento, que son necesarios para mantener una afluente constante. Cambiando las fuentes hídricas (aguas fluviales) a lenticas (aguas superficiales de muy bajo flujo como lagos o embalses), afectando los procesos de escorrentía, de aporte y transporte de sedimentos, alterando parámetros de

calidad del agua como la demanda química de oxígeno, pH, temperatura, turbiedad, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, nitratos, entre otros, parámetros que de no estar en los rangos óptimos según la normatividad colombiana incrementa la pérdida de la biodiversidad aguas arriba y aguas abajo, afecta la actividad pesquera y cambia la geomorfología de los cuerpos de agua antes, durante y después de las modificaciones estructurales del lugar, debido al aporte de sedimentos y residuos de productos químicos utilizados en la fase constructiva y a la descomposición de grandes volúmenes de materia orgánica en su fase operativa, debido a los embalses (Vega & Salazar, 2019).

II. Suelo. Debido a las grandes características de las centrales hidroeléctricas se debe tener en cuenta el factor de suelo o tierra en donde se ubicará la central, lo cual conlleva a que la zona donde estará deba ser analizada detalladamente del los tipos de suelos y la cobertura que serán intervenidos, teniendo presente las actividades de construcción o que sufran procesos de inundación.

Teniendo en cuenta estos aspectos se pueden identificar varios impactos ambientales mas representativos en las zonas como lo con la transformación de la zona, la reducción significativa de bosques primarios debido a la tala, lo que interfiere en los desplazamientos de las poblaciones limitando áreas requeridas para la producción agrícola y pecuarias. Otros impactos que pueden presentarse en la formación de deslizamientos o procesos sísmicos inducidos por la presión de agua sobre el suelo, lo que altera su estabilidad, además de ser un canal directo que aporta sedimento a las fuentes hídricas (Vega & Salazar, 2019).

III. Aire. La estimación de la contaminación del aire producida por las centrales hidroeléctricas varía según la zona y la vegetación que se encuentre, pero es un punto importante debido a que a las grandes cantidades de actividades y las maquinarias necesarias para realizar dichas actividades. Lo que genera grandes cantidades de emisiones de gases producidos por la quema de combustibles, que a su vez genera un segundo o sub impacto; el cual es la generación de ruido por las actividades como lo son la explotación de canteras, la maquinaria de perforación, las adecuaciones del macizo, entre otros (Vega & Salazar, 2019).

2.1.3. Fauna

El impacto generado por las centrales hidroeléctricas hacia las especies de cada una de las zonas, se puede presentar por muchos aspectos ya sea por los cambios geográficos en los hábitats o por el tipo de equipos utilizados. Pero hoy en día se tiene un pensamiento en el que las centrales al ser una energía renovable o verde no tienen ninguna repercusión hacia las especies que habitan en las zonas, pero mediante la recopilación de información en las bases de datos.

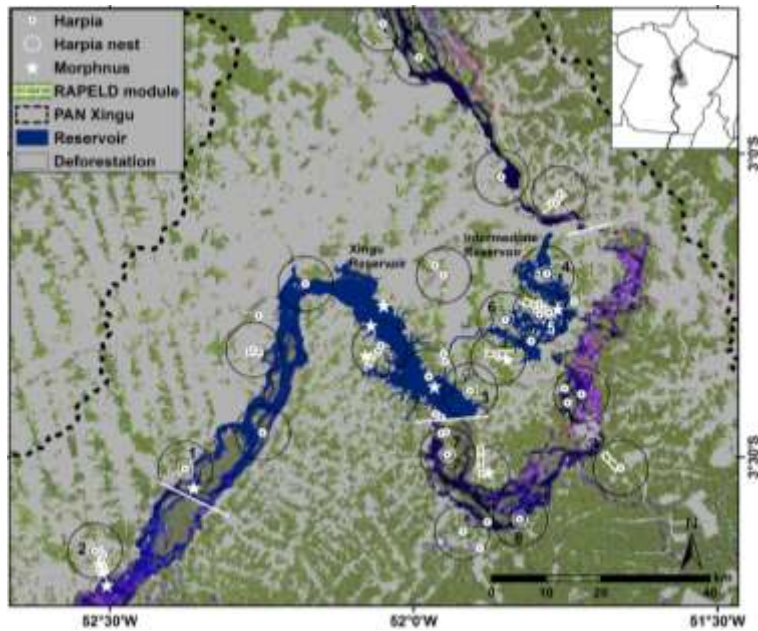
Se evidencia que por los cambios generados en el flujo ascendente como en el descendente, afectan río abajo las especies de peces migratorios, como de las anguilas, ya que pueden ser gravemente heridas o causando la muerte, el cambio de velocidad de natación o que no exista el espacio suficiente entre la turbina y las paredes que permita el paso de las águilas debido a sus características fisiológicas. Los datos de la alta mortalidad de las anguilas migratorias en el momento que pasan a través de las turbinas, se han recopilado desde la década de 1980, y hasta los últimos años a causa de la disminución de la población de anguilas de agua dulce en todo el mundo ha recibido mayor atención este problema (Baker et al., 2020). Que a su vez conlleva a otro tipo de problemas como es en Nueva Zelanda, debido a que las centrales hidroeléctricas producen más del 50% de la electricidad, y las anguilas son unas de las especies de gran importancia comercial, ecológica y cultural.

Otras de las formas en que los peces resulten heridos se da durante el paso de agua por debajo de las instalaciones de las hidroeléctricas, es por las disminuciones rápidas en la presión por debajo de la atmosférica, que genera lesiones conocidas como barotrauma que consiste o se le atribuye a la sobre expansión y ruptura de la vejiga natatoria (Pflugrath et al., 2020).

Las centrales eléctricas no solo generan cambios en las especies acuáticas de las fluviales de los ríos, sino que también influyen en otro tipo de especies como lo son dos aves rapaces más grandes de la Amazonia brasileña, el águila arpía y el águila crestada (Sanaiotti et al. 2015). Como se puede observar en la (Figura 4) se pueden identificar los hábitats de cada una de las especies de águilas y los reservorios de agua en el río Xingú, al norte de Brasil donde se construye un complejo hidroeléctrico.

Figura 4.

Abundancia de águilas arpías y crestadas de un área de impacto del embalse en el río Xingú bajo y medio.



Nota. Muestra las áreas donde se encuentra abundancia de las especies de águilas arpías y crestadas en las zonas de impacto ambiental del embalse del río Xingú **Tomado de.** Sanaiotti, T. M., Junqueira, T. G., Palhares, V., Aguiar-Silva, F. H., Henriques, L. M. P., Oliveira, G., Guimarães, V. Y., Castro, V., Mota, D., Trombin, D. F., Villar, D. N. A., Lara, K. M., Fernandes, D., Castilho, L., Yosheno, E., Alencar, R. M., Cesca, L., Dantas, S. M., Laranjeiras, T. O., ... Mendonça, C. V. (2015). Abundância de gavião-real e gavião-real falso numa área sob impacto de reservatório no Baixo e Médio rio Xingu. *Brazilian Journal of Biology*, 75(3), S190–S204. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00614BM>

La disminución de estas especies como se observa en la (Figura 4) se debe a la deforestación de su hábitat natural, lo cual en este caso se debe a la construcción de una central lo que también genera que al tener que desplazarse a zonas cercanas a las del ser humano genere conflictos por la depredación de sus ganados, lo que ocasiona la que sean un blanco de casa y de tráfico animal.

2.1.4. Flora

Otro gran problema de los complejos hidroeléctricos es el efecto que produce en la flora de las zonas en donde se encuentran en funcionamiento. Muchas de estas problemáticas se deben

a las grandes descargas que se generan produciendo diferentes impactos, estos se ven en el crecimiento normal de algas o deshidratación de la flora en algunos lugares (Bruder et al., 2016). Como también se menciona anteriormente en los embalses o represas se producen cambios de temperatura que también influye en esto y a su vez debido a los constantes cambios climáticos por causa de las estaciones del año se observan cambios en el desarrollo normal de la flora en cada una de las zonas, otro punto a tener en cuenta son los grandes desprendimientos de escombros alrededor de las hidroeléctricas que dañarían componentes o equipos de las centrales generando más daños a la flora.

2.2.Organismos invasores

Una causa más de las centrales hidroeléctricas son la aparición de organismos invasivos que pueden generar cambios en los ecosistemas como lo son la aparición de moluscos invasivos generan efectos negativos en la flora y fauna de las zonas por los grandes volúmenes de agua estancados, que a su vez atrae especies de insectos que pueden transmitir enfermedades a los seres humanos. Uno ejemplo claro de esto es el foco de oncocercosis o mejor conocido como “ceguera de los ríos” el cual se presenta por la picadura de la mosca negra, en donde introduce un paracito que genera la ceguera. Este se puede encontrar en el rio Nilo. Las centrales hidroeléctricas aumentan la actividad de la mosca negra generando criaderos (Zarroug et al., 2014).

Otro efecto causado por los complejos hidroeléctricos es el incremento del metilmercurio en las especies de peces, del cual en muchas zonas como el Amazonas se bioacumula en el pescado que es una fuente clave de alimentación y obtención de proteínas esenciales en las personas de las zonas aledañas, lo que genera efectos secundarios que se presenta en las personas residentes, ocasionando enfermedades endémicas y en el metabolismo sustancias toxicas. Lo que resulta en un aumento relativo de las concentraciones de Hg en el cabello. Por la dependencia del consumo de pescado que ha podido demostrar que es una función vital del estilo de vida de las comunidades aisladas amazónicas (Hacon et al., 2014).

3. CAPITULO III

Estrategias

En busca de conocer los diferentes impactos ocasionados por las centrales hidroeléctrica se han empleado diferentes estudios para entender cada una de las causas. En donde una de las formas de identificar es usando palmas como modelo de investigación alrededor de la mega represa Jirau en la Amazonia brasileña suroeste; por medio de muestras de 26 parcelas. Debido a que el nivel de rio Madeira se elevó tras la construcción, afectado directamente las poblaciones de 61.3% de las especies de palmeras (dos Santos et al., 2020). En donde se buscó investigar los patrones de comunidades de palmeras y la distribución de cada especie en función de cada una de las variables ambientales de las zonas.

Otra forma de conocer las causas es por medio de los modelos de distribución de especies, la cuales son herramientas con un alto potencial para informar el impacto ambiental. Sin embargo, no siempre son los más apropiados para la obtención de la información ya que pueden resultar en la mitigaciones y compensaciones costosas. Para poder observar los efectos ocasionados en la cuenca Amazónica en Brasil se emplearon ranas (Carneiro et al., 2016).

Gracias a los avances tecnológicos que se encuentran hoy en día, se pueden hacer bioensayos de laboratorios, modelando las dinámicas de los fluidos computacional en el área de estudio, para poder evaluar la cizalladura del fluido que son producidos por la turbina. En donde se busca identificar tensiones de cortes letales cerca de las aletas de retención. Debido a un mal manejo computacional ya que se estiman areas peligrosas que comprenden menos del 2% de la trayectoria del flujo, y el modelado computacional es necesario para desarrollar la comprensión del papel de las lesiones particulares de los peces y poder modificar el diseño de turbinas hidroeléctricas para mejor la supervivencia del paso de las especies acuíferas (Čada et al., 2006).

Una estrategia empleada para localizar los impactos y ayudar a la minimización de los impactos ambientales producidos por las hidroeléctricas se basó en la percepción de las poblaciones aledañas que se encuentran cerca del río Madeira, en la Amazonia Brasileña, lo cuales son pescadores y su sustento diario proviene del río. El estudio se centró en tres principales impactos que son: la pesca local con cebo, en la ictiofauna que corresponde a un conjunto de peces de una zona caótica acotada y en los ecosistemas acuáticos. Arrojando unos resultados de que los peces sufrían en un 82% de exoftalmia que es una parte sobresaliente anormal del globo ocular, una reducción en tamaño y peso de un 25% y en su patrón reproductivo tuvo una irregularidad del 14%. Los cambios en el ciclo hidrológico fueron recortados con una mayor frecuencia del 75%; arrojando datos específicos de los impactos generados por la hidroeléctrica en Madeira (Santos et al., 2020).

Otro punto de vista para poder estudiar el alcance de las compensaciones teóricas, en el cual se desarrolló un modelo dinámico de producción de energía hidroeléctrica, poblaciones de peces importantes y costos del proyecto. Utilizando técnicas de modelados dinámicos de sistemas se presentaron tres opciones las cuales consistían en la remoción de represas, instalación de vías para peces, empleando 4 diferentes especies de peces. Esto se aplicó en el río Penobscot ubicado en Maine, Estados Unidos. Lo que arrojó resultados que mediante el desarrollo de un índice de población reproductora basado en modelos por cada especie las soluciones óptimas de gestión de represas puede maximizar el potencial de la población reproductora y la producción de energía a un 60-62%. Demostrando que el manejo de la cuenca puede aumentar la restauración de los peces migratorios mientras se mantiene la capacidad de generación de energía eléctrica (Song et al., 2020).

4. CONCLUSIONES

Gracias a la recolección de información bibliográfica se pudo conocer toda la historia y transformación de la tecnología para la obtención de energía eléctrica a través de los años.

Se pudo evidenciar que las centrales hidroelectricas tienen uno de los avances tecnológicos mas grandes debido a que aprovecha la energía potencial y cinética en el agua para transformarla en energía mecánica y a su vez en energía eléctrica, teniendo un gran reconocimiento a nivel mundial debido a que no requiere de ningún combustible fósil para su implementación.

A través de los años se encontraron que las centrales hidroelectricas al ser una forma de obtención de energía “limpia” o renovable tiene grandes repercusiones al medio ambiente, generando diferentes tipos de impactos ambientales como son: en el agua, el suelo y el aire, en la fauna y flora del lugar y en las poblaciones aledañas. Llegando a afectar de diferentes formas los ciclos de vida de cualquier especie que se encuentre en la zona, ya sea por la construcción o implementación de la misma, siendo pequeños cambios como fuentes hidrológicas o cuencas de agua hasta llegar a ser impactos como la densidad de las especies o sus procesos de reproducción.

Gracias a que se han detectados impactos generados por las centrales se han podido realizaar diversas estrategias para la disminución de los impactos, como los son estudiar el comportamiento de las especies nativas o simulaciones 3D. Llegando a soluciones como lo son: realizar cuencas o represas que se adapten o no influyan en cambios dependido de las especies acuáticas que habiten en la zona o realizando rutas o afluentes alternativas para que no se vean afectados por las condiciones de las hidroeléctricas.

Por otra parte, para los impactos generados en los medios físicos no se han implementado o estudiado la implementación de diferentes materiales para la construcción de las centrales hidroeléctricas que sean más amigables para el medio ambiente.

Otra de las estrategias para minimizar o compensar los impactos producidos es una compensación económica correspondiente a un porcentaje del valor del proyecto. Lo que no se ve reflejado en esto ya que el dinero no es empleado o no compensara el impacto generado durante el tiempo de vida de las centrales hidroeléctricas.

BIBLIOGRFIA

- Dold, B. (2020). Sourcing of critical elements and industrial minerals from mine waste – The final evolutionary step back to sustainability of humankind? *Journal of Geochemical Exploration*, 219(September), 106638. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106638>
- Oliveira Serrão, E. A., Silva, M. T., Ferreira, T. R., de Paulo Rodrigues da Silva, V., de Salviano de Sousa, F., de Lima, A. M. M., de Ataíde, L. C. P., & Wanzeler, R. T. S. (2020). Land use change scenarios and their effects on hydropower energy in the Amazon. *Science of the Total Environment*, 744, 140981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140981>
- Erikstad, L., Hagen, D., Stange, E., & Bakkestuen, V. (2020). Evaluating cumulative effects of small scale hydropower development using GIS modelling and representativeness assessments. *Environmental Impact Assessment Review*, 85(July), 106458. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106458>
- Fano, J. M. M. (2006). La generación de energía hidroeléctrica. *Canales de Mecánica y Electricidad*, 83(1), 35–40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1448362>
- Lehmann, A., Timoner, P., Fasel, M., Lacayo, M., Ashraf Vaghefi, S., & Abbaspour, K. C. (2019). SWATC21: A project for linking eco-hydrologic processes and services to aquatic biodiversity at river and catchment levels. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 19(2), 182–197. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.01.003>
- Linares, M. S., Macedo, D. R., Massara, R. L., & Callisto, M. (2020). Why are they here? Local variables explain the distribution of invasive mollusk species in neotropical hydropower reservoirs. *Ecological Indicators*, 117(April), 106674. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106674>
- López, R., Garcia, C., Vericat, D., & Batalla, R. J. (2020). Downstream changes of particle entrainment in a hydropeaked river. *Science of the Total Environment*, 745, 140952.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140952>

Stenekes, S., Parlee, B., & Seixas, C. (2020). Culturally driven monitoring: The importance of traditional ecological knowledge indicators in understanding aquatic ecosystem change in the Northwest Territories' Dehcho Region. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(19). <https://doi.org/10.3390/SU12197923>

Yang, X., Li, Y., Wang, B., Xiao, J., Yang, M., & Liu, C. Q. (2020). Effect of hydraulic load on thermal stratification in karst cascade hydropower reservoirs, Southwest China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *32*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100748>

Alp, A., Akyüz, A., & Kucukali, S. (2020). Ecological impact scorecard of small hydropower plants in operation: An integrated approach. *Renewable Energy*, *162*, 1605–1617. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.127>

Baker, N. J., Boubée, J., Lokman, P. M., & Bolland, J. D. (2020). Evaluating the impact of hydropower on downstream migrating anguillid eels: Catchment-wide and fine-scale approaches to identify cost-effective solutions. *Science of the Total Environment*, *748*, 141111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141111>

Basso, S., Lazzaro, G., Bovo, M., Soulsby, C., & Botter, G. (2020). Water-energy-ecosystem nexus in small run-of-river hydropower: Optimal design and policy. *Applied Energy*, *280*(September), 115936. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115936>

Beracko, P., Matečný, I., & Košel, V. (2016). Long-term changes in freshwater molluscan communities in the middle stretch of the Danube River (Slovakia) over a 23-year period. *Fundamental and Applied Limnology*, *187*(4), 263–280. <https://doi.org/10.1127/fal/2016/0824>

Bohlen, C., & Lewis, L. Y. (2009). Examining the economic impacts of hydropower dams on property values using GIS. *Journal of Environmental Management*, *90*(SUPPL. 3),

- Čada, G., Loar, J., Garrison, L., Fisher, R., & Neitzel, D. (2006). Efforts to reduce mortality to hydroelectric turbine-passed fish: Locating and quantifying damaging shear stresses. *Environmental Management*, 37(6), 898–906. <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0061-1>
- Hacon, S. S., Dórea, J. G., Fonseca, M. de F., Oliveira, B. A., Mourão, D. S., Ruiz, C. M. V., Gonçalves, R. A., Mariani, C. F., & Bastos, W. R. (2014). The influence of changes in lifestyle and mercury exposure in riverine populations of the Madeira river (Amazon basin) near a hydroelectric project. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(3), 2437–2455. <https://doi.org/10.3390/ijerph110302437>
- Hu, B., Cui, B., Wei, G., Zhai, H., & Ren, H. (2007). Study on the spatiotemporal variability of eco-hydrological characteristics of the rivers in the Longitudinal Range-Gorge Region and their driving forces. *Chinese Science Bulletin*, 52(SUPPL. 2), 122–133. <https://doi.org/10.1007/s11434-007-7028-y>
- Illyová, M., Beracko, P., Vranovský, M., & Matečný, I. (2017). Long-term changes in copepods assemblages in the area of the Danube floodplain (Slovak–Hungarian stretch). *Limnologica*, 65, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.05.001>
- Illyová, M., & Matečný, I. (2014). Ecological validity of river-floodplain system assessment by planktonic crustacean survey (Branchiata: Branchiopoda). *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(7), 4195–4208. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3690-0>
- Jesús, R. L. de. (2012). Las centrales hidroeléctricas en México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, III(2), 103–121. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n2/v3n2a7.pdf>
- Melandri, V., Alencar, J., & Guimarães, A. É. (2015). The influence of the area of the Serra da Mesa Hydroelectric Plant, State of Goiás, on the frequency and diversity of anophelines (Diptera: Culicidae): A study on the effect of a reservoir. *Revista Da Sociedade Brasileira*

de Medicina Tropical, 48(1), 33–38. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0225-2014>

Muguerza, D. (2005). Micro Centrales Hidroeléctricas. *Del Nordeste. Universidad Nacional de Salta.*, 81. <http://listas.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/microturbinas/apuntemch.pdf>

Oladosu, G. A., Werble, J., Tingen, W., Witt, A., Mobley, M., & O'Connor, P. (2021). Costs of mitigating the environmental impacts of hydropower projects in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(July 2020), 110121. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110121>

Oťahel'ová, H., Valachovič, M., & Hrivnák, R. (2007). The impact of environmental factors on the distribution pattern of aquatic plants along the Danube River corridor (Slovakia). *Limnologica*, 37(4), 290–302. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2007.07.003>

Rodríguez, J. A., Anjos, M. F., Côté, P., & Desaulniers, G. (2021). Accelerating Benders decomposition for short-term hydropower maintenance scheduling. *European Journal of Operational Research*, 289(1), 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.06.041>

Sanaiotti, T. M., Junqueira, T. G., Palhares, V., Aguiar-Silva, F. H., Henriques, L. M. P., Oliveira, G., Guimarães, V. Y., Castro, V., Mota, D., Trombin, D. F., Villar, D. N. A., Lara, K. M., Fernandes, D., Castilho, L., Yosheno, E., Alencar, R. M., Cesca, L., Dantas, S. M., Laranjeiras, T. O., ... Mendonça, C. V. (2015). Abundância de gavião-real e gavião-real falso numa área sob impacto de reservatório no Baixo e Médio rio Xingu. *Brazilian Journal of Biology*, 75(3), S190–S204. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00614BM>

Sanz, S. O., Investigador, P., Hidráulica, G. De, & De, E. T. S. (2013). La magia del agua: una propuesta didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de tópicos ambientales. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 0(Extra), 662–666.

- Silva, R. M., Silva, A. R. C., Lima, T. M., Charrua-Santos, F., & Osório, G. J. (2020). Energy Sustainability Universal Index (ESUI): A proposed framework applied to the decision-making evaluation in power system generation. *Journal of Cleaner Production*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124167>
- Street, A., Valladão, D., Lawson, A., & Velloso, A. (2020). Assessing the cost of the Hazard-Decision simplification in multistage stochastic hydrothermal scheduling. *Applied Energy*, 280(September), 115939. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115939>
- Zarroug, I. M., Elaagip, A. H., Abuelmaali, S. A., Mohamed, H. A., Elmubarak, W. A., Hashim, K., Deran, T. C. M., Aziz, N., & Higazi, T. B. (2014). The impact of Merowe Dam on Simulium hamedense vector of onchocerciasis in Abu Hamed focus - Northern Sudan. *Parasites and Vectors*, 7(1), 1–5. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-168>
- Marle, P., Riquier, J., Timoner, P.; Mayor, H., Slaveykova. V.I., Castella, E. (2021). The interplay of flow processes shapes aquatic invertebrate successions in floodplains channels- A modelling applied to restoration scenarios. <https://cutt.ly/5HDfIDc>
- Prakasam, C. Saravanan, R. (2021). Evaluation of environmental flow requirement using wetted perimeter method and GIS application for impact assessment. <https://cutt.ly/FHDfAOg>
- Sharma, R.S. (2015). Impacts of hydropower construction projects on ECONOMICALLY Important plants in the Upper Beas Valley, Himachal Pradesh. Department of General and Applied Geography, School of Applied Sciences, Dr. Harisingh Gour Central University, Sagar (M.P.), India. <https://cutt.ly/THDfDwf>
- Garcia, T.D., Ota, R.R., Ferreira, D.G., Nascimento, R.H.C., Galindo, B.A., Pereira, L.S., Zanatta, A.S. (2020). Distribution of siluriformes in a river under the influence of small hydroelectric power plant of the Paramá river Basin, Brazil. <https://cutt.ly/fHDfFc3>
- Curry, R. A., Yamazaki, G., Linnansaari, T., Monk, W., Samways, K. M., Dolson, R., Munkittrick, K. R., & Bielecki, A. (2020). Large dam renewals and removals—Part 1: Building a science framework to support a decision-making process. *River Research and*

Applications, 36(8), 1460–1471. <https://doi.org/10.1002/rra.3680>

Liu, M., He, Y., Baumann, Z., Zhang, Q., Jing, X., Mason, R. P., Xie, H., Shen, H., Chen, L., Zhang, W., Zhang, Q., & Wang, X. (2020). The impact of the Three Gorges Dam on the fate of metal contaminants across the river–ocean continuum. *Water Research*, 185, 116295. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116295>

Loboguerrero, J. (2016). Pequeñas centrales hidroelectricas. Recuperado de : <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/925/1111>

Meulenbroek, P., Hammerschmied, U., Schmutz, S., Weiss, S., Schabuss, M., Zornig, H., Shumka, S., & Schiemer, F. (2020). Conservation requirements of european eel (*Anquilla anquilla*) in a balkan catchment. *Sustainability (Switzerland)*, 12(20), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su12208535>

Mwanza, M., & Ulgen, K. (2020). Sustainable electricity generation fuel mix analysis using an integration of multicriteria decision-making and system dynamic approach. *International Journal of Energy Research*, 44(12), 9560–9585. <https://doi.org/10.1002/er.5216>

Pflugrath, B. D., Dowell, F. E., & Brown, R. S. (2020). Using transparent fish to observe barotrauma associated with downstream passage through hydropower turbines. *River Research and Applications*, 36(8), 1612–1617. <https://doi.org/10.1002/rra.3676>

Sahu, N., Sayama, T., Saini, A., Panda, A., & Takara, K. (2020). Understanding the hydropower and potential climate change impact on the himalayan river regimes—a study of local perceptions and responses from himachal pradesh, india. *Water (Switzerland)*, 12(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w12102739>

Santos, R. E., Pinto-Coelho, R. M., Drumond, M. A., Fonseca, R., & Zanchi, F. B. (2020). Damming Amazon Rivers: Environmental impacts of hydroelectric dams on Brazil's Madeira River according to local fishers' perception. *Ambio*, 49(10), 1612–1628.

<https://doi.org/10.1007/s13280-020-01316-w>

Song, C., O'Malley, A., Zydlewski, J., & Mo, W. (2020). Balancing fish-energy-cost tradeoffs through strategic basin-wide dam management. *Resources, Conservation and Recycling*, 161(February), 104990. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104990>

Teffera, B., Assefa, B., & Assefa, G. (2020). Assessing the life cycle environmental impacts of hydroelectric generation in Ethiopia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 41(May). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100795>

Wu, Y., Fang, H., Huang, L., & Cui, Z. (2020). Particulate organic carbon dynamics with sediment transport in the upper Yangtze River. *Water Research*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116193>

De ingenierías (2019, marzo 8). Partes y componentes de una central hidroeléctrica. <https://deingenierias.com/hidroelectricas/partes-de-una-central-hidroelectrica/>

Rico, G (2018). Hidroelectricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo. Recuperado de : <https://es.mongabay.com/2018/06/hidroelectricas-colombia-hidroituango/>

Pinzon, J., Quevedo, J. (2018). Analisis de impactos ambientales provocados por el aprovechamiento de recursos naturales renovables, reconociendo metodologias que desarrollan nuevas fuentes generadoras de energia en Panama y Colombia. Recuperado de : <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24907/1/PROYECTO%20DE%20GRADUACION%20DE%20INGENIERIA%20EN%20ENERGIA%20RENOVABLE%20Y%20SOSTENIBLE%20EN%20PANAMA%20Y%20COLOMBIA.pdf>

Fernandez,D., Ramon, A. (2011). Centrales de generacion de energia electrica. Recuperdo de : <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1160/course/section/1407/bloque-energia-III.pdf>

Vega, L. G., & Salazar, Ó. (2019). Impactos socio ambientales generados por la construcción de centrales hidroeléctricas en Colombia Social and environmental impacts generated by the construction of hydroelectric power plants in Colombia.

Acero Ducuara, C. A., & Sanchez Cadena, J. (2017). Estado del arte de las investigaciones sobre las centrales hidroeléctricas en Colombia y su impacto ambiental. 49. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5524>

Rico Guillermo. (2018). Hidoelectricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo. <https://es.mongabay.com/2018/06/hidroelectricas-colombia-hidroituango/>