GIPEM

Grupo de Investigación en Potencia, Energía y Mercados

Núm. 4 2023

Grupo de Investigación en Potencia, Energía y Mercados - GIPEM
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Dirección
Belizza Janet Ruiz Mendoza
Astrid Vanesa Mina Gallardo

SANTIAGO ERAZO

Comité editorial
Astrid Vanesa Mina Gallardo
Laura Cossete Rios Sarmiento

Diseño y diagramación
Oscar Santiago Erazo Mora
Manuela Salazar Carmona
Jorge Alberto Gil Rios

Editorial

Astrid Vanessa Mina Gallardo

Estimados lectores

Con gran satisfacción presentamos el cuarto ejemplar de la Revista GIPEM, una ventana hacia la exploración y comprensión de las dinámicas que envuelven las líneas temáticas de la Revista. En esta ocasión, hemos seleccionado una serie de textos que abordan temas en el panorama actual, al tiempo que reafirmamos nuestro compromiso con la formación integral de estudiantes en carreras afines a la ingeniería.

Los títulos de los documentos que conforman esta edición son evocativos y sugieren una profunda reflexión. Por ejemplo «Análisis comparativo entre grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas: La realidad de una alternativa sustentable» nos invita a considerar las distintas facetas de la generación hidroeléctrica en Colombia. «Construyendo la paz y el desarrollo en Colombia: el potencial de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el posacuerdo con Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia» explora cómo la energía puede ser un motor para la paz y el progreso en nuestra sociedad. A su vez, «¿Es posible mitigar los efectos del fenómeno de El Niño en la generación de energía eléctrica en Colombia?" plantea un interrogante crucial en Colombia marcado por el cambio climático. «Quimbo: ¿Desarrollo energético o degradación ambiental?» cuestiona las decisiones que tomamos en busca de un futuro energético sostenible y «Sistema de alerta temprana» un procedimiento para la prevención de calamidades domésticas causadas por desborde de fuentes hídricas.

En este ejemplar de la Revista GIPEM, hemos ampliado nuestro enfoque más allá de la palabra escrita para incluir creaciones artísticas que capturan la esencia de la energía, la sociedad y el medio ambiente. Acompañando a los textos, hemos incorporado fotografías con una narrativa poética, que invitan a nuestros lectores a explorar el mundo de la energía desde una perspectiva visual y emocional. Creemos firmemente que el arte puede ser una poderosa herramienta para transmitir ideas y emociones, y nos entusiasma presentar esta fusión de arte y conocimiento en nuestras páginas.

SANTIAGO ERAZO

No obstante, no nos limitamos a estos temas centrales. También, destacamos la importancia de la lectoescritura como herramienta fundamental para la formación personal, académica y profesional. La capacidad de comunicar ideas de manera efectiva es esencial en cualquier campo, incluyendo la ingeniería y disciplinas afines. Fomentamos el desarrollo de habilidades de comunicación y reflexión crítica en nuestros estudiantes, y el uso de la pedagogía crítica y activa en el contexto educativo universitario. Promovemos la participación activa de nuestros estudiantes en el proceso de aprendizaje, alentándolos a cuestionar, analizar y proponer soluciones innovadoras a los desafíos que enfrentamos en la actualidad. Esta mentalidad crítica es esencial para forjar futuros líderes capaces de abordar problemas complejos de manera efectiva. Dentro de este proceso resaltamos la relevancia de las habilidades blandas en el desarrollo profesional e integral de los mismos. La empatía, la comunicación efectiva, el trabajo en equipo y la adaptabilidad son competencias que van más allá de las destrezas técnicas, y que contribuyen a la formación de individuos preparados para enfrentar los desafíos de un mundo en constante evolución. Es así como la Revista GIPEM recolecta estas voces que encuentran su espacio en nuestras páginas.

Agradecemos a nuestros autores, colaboradores y lectores por su apoyo continuo. Los invitamos a explorar los contenidos de este ejemplar y a unirse a la conversación sobre la energía.

¡Disfruten de la lectura!

SANTIAGO ERAZO

Creaciones artísticas

Oscar Santiago Erazo Mora
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

GIPEM 04, agosto (2023)
pp. 06-11
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia

"Si logras reunir las fuerzas necesarias
Y quedarte para hacer lo que tienes que hacer
esa, será tu mayor victoria."

El poema se teje alrededor de la imagen de una orquídea, una flor que encierra una profunda metáfora. La orquídea, con su elegancia frágil y exquisita, se convierte en un símbolo de perseverancia y logro personal. Sus pétalos delicados y su estructura intrincada reflejan la complejidad de los desafíos que enfrentamos en la vida. La llamada a "reunir las fuerzas necesarias" insinúa una lucha interna, un esfuerzo consciente para superar obstáculos. Al quedarse y comprometerse con la tarea en cuestión, uno encuentra la "mayor victoria", una victoria que va más allá de lo superficial y penetra en lo más profundo del ser. La orquídea, en su vulnerabilidad aparente, se convierte en un recordatorio de que la fortaleza y la perseverancia no siempre se presentan con un exterior robusto. En cambio, se forjan en el proceso de enfrentar lo desconocido y lo desafiante. Así como la orquídea requiere paciencia y dedicación para florecer, nosotros también necesitamos una determinación inquebrantable para alcanzar nuestras metas. En última instancia, el poema y la foto destaca cómo el acto de enfrentar y persistir se convierte en un triunfo en sí mismo, donde la verdadera victoria es el crecimiento personal arraigado en la valentía de hacer lo que debe hacerse. En esta danza entre fragilidad y fuerza, la orquídea se erige como un recordatorio viviente de que la belleza más profunda puede emerger de la resiliencia.

Correo electrónico: oerazom@unal.edu.co

SANTIAGO ERAZO

"Para salir adelante se necesita valentía
ser capaces de resistir y superar los malos tiempos
resistir a malos tratos
confiar en quienes somos."

Este poema despierta la visión de una mariposa reposando sobre una flor, como una metáfora conmovedora y rica en significado. La mariposa, portadora de gracia y fragilidad, emerge como símbolo de la valentía requerida para afrontar las vicisitudes de la vida. Al igual que la mariposa supera las etapas de su transformación ante cualquier adversidad, nuestra capacidad de enfrentar los desafíos cotidianos requiere de similar tenacidad. La escena de la mariposa en la flor evoca un instante de calma y reflexión en medio de las corrientes tumultuosas. De la misma manera en que la mariposa sortea tiempos difíciles, somos instados a abrazar las adversidades con determinación. La referencia a "resistir a los momentos adversos" sirve como recordatorio de nuestra firmeza ante las pruebas, inclusive en lo que concierne al trato hacia los seres más vulnerables como son los animales, ofreciendo un enfoque filosófico sobre la compasión y la ética hacia la naturaleza. A su vez, "confiar en nuestra esencia" subraya la importancia de la autoafirmación y la autenticidad en nuestro camino hacia la superación. La mariposa, con su singularidad cromática y morfológica, simboliza nuestra propia unicidad y la belleza que deriva de honrar la diversidad de la vida. En conjunto, el poema y la imagen de la mariposa posada en la flor insinúan una conexión profunda entre el mundo natural y el viaje humano, evocando ideas de coraje, perseverancia y una comprensión elevada del lugar de cada ser en el tejido del cosmos.

SANTIAGO ERAZO

"Bajo la luna y las estrellas
sus colores apagados, sueños difuntos
anhela el abrazo de manos vibrantes
que acaricien su tallo con compañía constante."

En la quietud del jardín, una solitaria margarita alza su rostro hacia la noche, bajo el suave resplandor de la luna y las estrellas. Sus pétalos, de colores apagados, parecen contar historias de sueños que alguna vez florecieron con vitalidad, pero que ahora reposan en un estado de quietud. Sin embargo, en medio de su soledad, esta flor anhela el toque de manos llenas de energía, manos que puedan brindar consuelo. Este anhelo habla de un deseo profundo y humano de conexión, de sentirse parte de algo más grande que uno mismo.

La imagen poética nos lleva a reflexionar sobre cómo, incluso en medio de la oscuridad y la quietud, persiste la aspiración de sentirse vivos y comprendidos. La fragilidad de la margarita y su entorno sereno en el jardín pintan un cuadro de delicadeza y vulnerabilidad, pero también de resiliencia. En esta imagen de quietud y anhelo, se refleja la belleza y complejidad de la existencia humana, con todas sus luces y sombras. En última instancia, la margarita nos enseña que, aunque las noches puedan ser oscuras y los colores se desvanezcan, el deseo de luchar sigue floreciendo en nuestros corazones.

SANTIAGO ERAZO

Construyendo la paz y el desarrollo en Colombia: el potencial de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el posacuerdo con Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia

Brayan David Candamil Arango
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

GIPEM 04, agosto (2023)
pp. 12-17
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia

La construcción de paz y el desarrollo rural en Colombia luego de los acuerdos con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) es un tema de interés en la actualidad para la población en general, dado que uno de los aspectos fundamentales de estos acuerdos es el enfoque de la construcción de paz. Implicando la implementación de medidas y políticas que aborden las causas estructurales del conflicto, promoviendo la inclusión social, la justicia y la equidad en las zonas rurales de Colombia, porque en los acuerdos que se pactaron entre el Gobierno y dicho grupo armado en 2016 se definió la "Reforma Rural Integral", la cual busca lograr una reducción significativa de las brechas económicas y sociales que persisten entre el campo y la ciudad. Para alcanzar este objetivo, es fundamental la electrificación de las zonas rurales que sufrieron las consecuencias del conflicto armado durante décadas, en este contexto donde las pequeñas centrales hidroeléctricas pueden tener una participación significativa para la generación en energía eléctrica en dichos lugares, y al mismo tiempo fomentar diferentes oportunidades para lograr la reincorporación a la vida laboral de los excombatientes que estén interesados en participar en la construcción y operación de estos proyectos de generación eléctrica. En este ensayo se abordará el potencial que tienen las pequeñas centrales hidroeléctricas y cuál es su papel en el posacuerdo con Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia, para promover el desarrollo rural en el país.

El origen de Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia fue campesino e inicio aproximadamente en 1964 en el municipio de Marquetalia, con el objetivo de luchar por los derechos de los campesinos y los trabajadores rurales, que eran víctimas de abandono por parte del Estado, y así tratar de establecer un sistema socialista en Colombia. Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia se perciben en su origen como una fuerza que defiende a los campesinos, iniciando con una noción

Correo electrónico: bcandamila@unal.edu.co

político-militar de autodefensa (Colombia. Centro Nacional de Memoria Histórica, 2014). Con el pasar del tiempo, este grupo militar, en busca de obtener fuentes para el financiamiento de sus objetivos, se vio involucrado en actos de extorsión, secuestro y narcotráfico (Aya, 2017). Desde entonces, conformado como una guerrilla colombiana, se enfrentó durante más de medio siglo con el Estado colombiano y de manera paralela con otros grupos armados al margen de la ley como los paramilitares, dejando a su paso grandes impactos en la población civil como la pérdida de vidas humanas y el desplazamiento forzado de millones de personas. En el año 2016, después de muchos años de intentos de negociaciones, se logró un acuerdo de paz entre Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia y el gobierno, siendo éste un momento histórico que llevó a la desmovilización del grupo armado y su posterior conformación como nuevo partido político de Colombia (Aya, 2017), (Cancillería de Colombia. 2017).

Los compromisos que se pactaron en el acuerdo de paz entre la guerrilla de Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia y el gobierno colombiano fueron los siguientes: 1) «La realización de una reforma rural integral: Busca mejorar la calidad de vida en las zonas rurales de Colombia.» 2) «Garantizar una participación política: como una ventana democrática para construir la paz »3) «Terminación del conflicto armado: Cese al fuego y de hostilidades bilaterales y definitivo» 4) «Participar en la solución al problema de las drogas ilícitas» 5) «Víctimas: Reconocimiento, verdad, reparación y garantías de no repetición» (Mesa de Conversaciones, 2018). De los anteriores se destaca el punto 1: «Reforma Rural Integral», como principal enfoque de este ensayo, porque busca minimizar al máximo las posibles brechas económicas y sociales entre el campo y la ciudad, creando diferentes condiciones que busquen favorecer al bienestar y la mejora de calidad de vida de los campesinos, como un ejemplo puntual se encuentra el compromiso que adopta el gobierno de Colombia y Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia para diseñar e implementar un plan para la electrificación de las zonas rurales que principalmente han sido afectadas por el conflicto armado. (Cancillería de Colombia. 2017).

Para lograr una electrificación de las zonas rurales en Colombia primero se debe promover diferentes tipos de soluciones tecnológicas enfocadas a la generación de energía eléctrica para de ampliar la cobertura de este servicio, ofreciendo soluciones de tecnología para que el tipo de generación escogida sea acorde con las necesidades particulares de cada medio rural y de sus comunidades. Adicionalmente, se debe ofrecer asistencia técnica a las personas involucradas en el diseño, adecuación de la zona, construcción de la infraestructura, operación del sistema, mantenimiento y demás necesidades que tenga la instalación del tipo de generación de energía eléctrica que se haya escogido. Entonces, debido a las amplias necesidades que se tienen en la implementación de una generadora de energía eléctrica, es importante reconocer que, en este punto, los excombatientes de Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia pueden tener una valiosa participación, además de una forma de reincorporarse a la vida laboral dentro de lo que se plasma en el acuerdo. Otro punto importante y que va de la mano con la asistencia y capacitación, es la divulgación de la información sobre el uso adecuado de la energía eléctrica para buscar una mayor sustentabilidad en la generación de está, para lograr esto se es importante que se implementen planes para estímulos económicos, con el objetivo de mejorar las condiciones de calidad de vida, la proyección para el trabajo y la producción en estas zonas rurales. Este compromiso busca contribuir a la transformación estructural del campo en Colombia aprovechando su riqueza natural. (Mesa de Conversaciones. 2018) (Gestor Normativo - Función Pública -Decreto 884 de 2017).

Colombia cuenta con numerosas montañas y ríos que dotan al país de una gran riqueza de fuentes hídricas, que en gran mayoría son aprovechadas en la generación de energía eléctrica que abastece al territorio nacional. Actualmente en Colombia se dispone de una capacidad eléctrica instalada de fuente hidráulica 10.315 MW que equivale al 64% de la capacidad eléctrica instalada (UPME-Atlas ,2015) y para el año 2023 según la a Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica la capacidad instalada hidráulica es 11,94 gigavatios (GW) que equivale al 68,3% de la capacidad eléctrica instalada del país (ACOLGEN, 2023), y según la además se estima que Colombia cuenta con un gran potencial

hidroeléctrico hasta de 56 GW, si se cuenta con todas las fuentes hídricas que se pueden usar para aprovechamiento por medio de centrales hidroeléctricas. Teniendo en cuenta estas cifras, la idea de realizar construcciones de centrales hidroeléctricas a pequeña escala que son las producen menos de 5 MW según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME-Atlas 2015), conocidas como Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, prometen ser una solución para el sector rural de Colombia que no cuenta con servicio de electricidad. Estas Pequeñas Centrales Hidroeléctricas cuando se diseñan para la implementación a filo de agua pueden adaptarse a condiciones de caudales y desniveles del cauce bajos, como ejemplo se han diseñado Pequeñas Centrales Hidroeléctricas que requieren de tan solo caudales desde 1500 L/s y un desnivel del de 1,5 metros en adelante, pudiendo abastecer de manera básica desde 50 a 500 viviendas dependiendo de las condiciones físicas del terreno.

En comparación con las grandes centrales hidroeléctricas, Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas a filo de agua no requieren de la construcción de represas para su funcionamiento, puesto que estas aprovechan el cauce de un río determinado para su funcionamiento, Lo que hace que se reduzca significativamente los costos de construcción y el impacto sobre el medio ambiente; algunos de los impactos medioambientales de las represas de las grandes centrales hidroeléctricas son: la acumulación de gases de efecto invernadero debido a que las inundaciones que favorecen la descomposición de la materia orgánica que se acumula en las capas más profundas de los embalses. Además, el represamiento de aguas crea una barra que afecta el ciclo natural de la reproducción de los peces ya que algunas especies nadan río arriba para depositar sus huevos. En contraste las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas a filo de agua no tienen una complicidad en la generación de metano y al solo desviarse una porción del río, no representa una barrera para el flujo de los peces en ambos sentidos del río. (Abidur Rahman, 2022), (FEARNSIDE, 2016).

Teniendo en cuenta las diferencias entre las grandes centrales hidroeléctricas y Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, se puede determinar que las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas son una alternativa más económica y sostenible, incluso si se consideran pequeños embalses que requieren las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas que no son a filo de agua, porque normalmente estos no superan los 10 metros de profundidad que se requieren para que se produzca el este gas de efecto invernadero. Además, al no generar una afectación negativa que sea significativa a las comunidades locales y en el medio ambiente, pueden ser mucho menos propensas a causar conflictos sociales, situación que se desea evitar al máximo dado que se busca generar un bien para la comunidad que se vea reflejado en un desarrollo positivo en lugar de causar un daño para la misma. (FEARNSIDE, 2016), (Osorio Londoño,2017). Otra ventaja que tiene una Pequeña Central Hidroeléctrica frente a una gran central hidroeléctrica está relacionada con la particularidad de que pueden ser construidas en lugares que son de difícil acceso y/o que se encuentren alejados a más de 1,5 kilómetros de la línea de Trasmisión más cercana del Sistema interconectado Nacional (PIEC 2019), lo que resulta especialmente beneficiosos para las comunidades que han sido afectadas por el conflicto armado dado que la infraestructura eléctrica con la que cuentan puede ser limitada o nula. Si se reflexiona acerca de la problemática de la falta de suministro eléctrico en las zonas rurales que no cuentan con la infraestructura eléctrica adecuada que le permita realizar una conexión con el sistema interconectado nacional, se puede llegar a la conclusión de que la implementación de una Pequeñas Centrales Hidroeléctricas pueda ser una solución efectiva y razonable en términos ambientales y económicos para solucionar dicha ausencia del servicio eléctrico.

Las fuentes hídricas con las que cuenta Colombia que pueden ser aprovechadas para la generación de energía eléctrica son principalmente abundantes en zonas rurales de las cuales en una gran mayoría han sido afectadas de manera negativa a causa del conflicto armado y no cuentan con la infraestructura para tener un servicio de energía eléctrica, y la construcción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en estas zonas no solo permitiría llevar el servicio básico y esencial de energía eléctrica a poblaciones que actualmente carecen de él, impactando directo en la calidad de vida de los habitantes, permitiéndoles contar con iluminación en sus hogares, acceso a electrodomésticos y herramientas eléctricas. sino que también, la posibilidad de desarrollar actividades productivas que requieren energía, como la agricultura

y la producción de bienes y servicios que contribuiría en una manera significativa en el desarrollo social y económico, lo que podría traducirse en una importante mejora en la calidad de vida de sus habitantes (Grupo de Investigación Xué, 2020), (Osorio Londoño, I. ,2017).

La construcción y operación en la generación por medio de una pequeña central hidroeléctrica puede generar empleos tanto de manera directa como indirecta en la región, por ejemplo, las empresas locales se verían beneficiadas al ser contradas para proporcionar algunos de los insumos y materiales necesarios para la fase de construcción de la central, lo que se traduce en una oportunidad de crecimiento económico para las mismas. Las empresas que brinden servicios de transporte, alimentación, alojamiento, mano de obra y las empresas de seguridad que pueden brindar los servicios protección para las instalaciones de la pequeña central hidroeléctrica donde esta participación no solo sería en la fase de construcción sino también en la fase de operación de esta. Además, para el proceso de construcción y operación de la Pequeña Central Hidroeléctrica se ha identificado, que para la fase de construcción se pueden requerir hasta 21 empleados por cada megavatio de capacidad instalada y esta etapa tiene un tiempo estimado de duración de entre 18 y 48 meses, esto dependiendo de las diferentes condiciones y particularidades de la ubicación donde se realiza construcción, y para la etapa de operación se requieren mínimo 4 empleados por cada megavatio de capacidad instalada, una Pequeña Central Hidroeléctrica tiene una mínima de 20 años. Esto representa que los beneficios de la implementación de una Pequeña Central Hidroeléctrica en las zonas rurales de Colombia se ven reflejado durante largos períodos de tiempo lo que permite que se vea bien aprovechado este beneficio para el desarrollo de los diferentes municipios y sectores rurales del país. Como resultado a mediano plazo de la electrificación de estas zonas se espera una reducción significativa de los índices de pobreza en la región y una disminución en la brecha que está presente entre el campo y la ciudad. (Cancillería de Colombia, 2017), (Osorio Londoño, 2017).

La construcción y operación de Pequeña Central Hidroeléctrica también se presenta como oportunidad para abordar algunos desafíos socioeconómicos que afectan a las comunidades rurales de Colombia. Además de proporcionan energía eléctrica a estas zonas rurales brinda una oportunidad a los excombatientes de Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia que buscan una forma de reintegración al mercado laboral y contribuir en el desarrollo económico de las comunidades locales, tal y como ellos se comprometieron con la “Reforma Rural integral”. Teniendo en cuenta que para llevar a cabo la construcción y operación de una Pequeña Central Hidroeléctrica se requiere la participación de trabajadores con diferentes habilidades y roles determinados que son acordes a el crecimiento de las empresas locales, como ingenieros que se encarguen del diseño y supervisión de obra, almacenista que se encargan de administrar los insumos y materias primas, como también técnicos de construcción y ayudantes de obra quienes colaboran en funciones que requieren esfuerzo fisco para la construcción y mantenimiento, trabajadores de la industria alimentaria y de transporte para brindar servicios de apoyo, y personal de seguridad para garantizar la protección de los trabajadores y de las instalaciones. Estos trabajos serian una oportunidad para aquellos excombatientes que tengan experiencia en dichas áreas o que deseen capacitarse en estos oficios. La participación de excombatientes en la construcción y operación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas no solo contribuye a un desarrollo económico de las comunidades que fueron afectadas por el conflicto armado sino también de esta manera sea un paso a la construcción de una sociedad justa y equitativa en un país que tiene unas brechas económicas y sociales significativas. Esta iniciativa representa también un ejemplo claro para otros proyectos con enfoque en el desarrollo sostenible donde se busque generar empleo y mejorar las condiciones de vida de las poblaciones rurales en Colombia (Mesa de Conversaciones, 2018), (Artunduaga y Gutiérrez (2017).

Con la participación de Las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia en la implementación de una pequeña central hidroeléctrica para la generación de energía eléctrica en zonas donde hubo conflicto se puede alcanzar un desarrollo importante en el sector rural, a través de los acuerdos pactados como lo es la Reforma Rural Integral donde se plantean planes para mejorar la calidad de vida por medio de la electrificación de las comunidades rurales que han sido afectadas por el conflicto armado. Así mismo,

las pequeñas centrales hidroeléctricas pequeña central hidroeléctrica pueden tener una participación importante en la electrificación de las comunidades, puesto que, por sus características, representan una oportunidad para todas las zonas rurales de difícil acceso o con nula infraestructura eléctrica para tener este servicio y ofrecer oportunidades de empleo para los excombatientes que están en busca de reincorporase a la vida laboral, se debe tener en cuenta que la electrificación del sector rural no solo representa una oportunidad laboral para los que están involucrados directamente en la construcción y operación de una Pequeña Central Hidroeléctrica, aparecen nuevas oportunidades para el desarrollo del comercio local, desde la utilización de nuevas herramientas para la agricultura sino también el transporte y alimentación. En consecuencia, se estaría logrando reducir la brechas económicas y sociales que existen entre el campo y la cuidad.

Las zonas no interconectadas en Colombia cubren aproximadamente el 65% de todo el territorio, el acceso a la energía eléctrica es un problema para las comunidades que están dentro de las zonas no interconectadas, la ausencia de electricidad trae consigo un acceso limitado a la educación, y se hace más difícil el desarrollo económico de la comunidad fomentando así un incremento de niveles de pobreza en la misma comunidad (Franco, Dyner, & Hoyos, 2008). Sin embargo se ha identificado que algunas comunidades tienen una perspectiva de desarrollo diferente y no considera vital la energía eléctrica, pero es si se trabaja en conjunto con las comunidades se puede mostrar los beneficios que trae consigo la introducción de la electricidad a la misma (de Sousa Santos, 2012), claro está siempre se debe respetar las tradiciones y opiniones de las comunidades con respecto a la intervención de sus tierras para la implementación de todo tipo de proyectos, si los habitantes de las comunidades consideran que el proyecto les afecta de manera negativa en mayor medida que los beneficios que pueden obtener deberá prevalecer dicha opinión y debe ser respetada.

Referencias

Aya Simitmans, M.T. (2017). "El Proceso de Paz en Colombia: dos pasos adelante, un paso atrás." (“El Proceso de Paz en Colombia: dos pasos adelante, un paso atrás - JSTOR”) Documento de Opinión, Revista del Instituto de Estudios Internacionales de la Universidad de Chile. vol.49 no.187, 163-179. Santiago ago. 2017 Versión On-line ISSN 0719-3769. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/pdf/rei/v49n187/0719-3769-rei-49-187-00163.pdf

Artunduaga López, C., & Gutiérrez Rodríguez, Construcción y puesta en marcha de una pequeña central hidroeléctrica. Recuperado de http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4993/51213%20-%20Artunduaga%20Lopez%20Cristian%20-%20Gutierrez%20Rodriguez%20Daniel.pdf?sequence=1

Abidur Rahman, O. F. (10 de 03 de 2022). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean and osmotic. ELSEVIER, 29. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279

Cancillería de Colombia. (2017). ABC del Acuerdo Final. Recuperado el 25 de marzo de 2023, de https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/cartillaabcdelacuerdofinal2.pdf

Colombia. Centro Nacional de Memoria Histórica. (2014). Guerrilla y población civil: trayectoria de las FARC COLOMBIA 1949-2013.

De Sousa Santos, B. (2012). De las dualidades a las ecologías. Cuaderno de Trabajo; Red Boliviana de Mujeres Transformando la Economía REMTE, 5-150.

ELSEVIER, 18. Obtenido de http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.08.015

Franco, C., Dyner, I., & Hoyos, S. (2008). Contribución de la energía al desarrollo de comunidades aisladas no interconectadas: un caso de aplicación de la dinámica de sistemas y los medios de vida sostenibles en el suroccidente colombiano. Dyna, Año 75, Nro. 154, 199-214

FEARNSIDE, P. M. (2016). "Environmental and Social Impacts of Hydroelectric Dams in Brazilian Amazonia: Implications for the Aluminum Industry." ("Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo ... - Science")

IDEAM. (2013). Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2013, Bogotá, D.C., Colombia.

"La energía hidroeléctrica en Colombia", Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (ACOLGEN 2023).

Mesa de Conversaciones. (2018). Acuerdo Final para la terminación del conflicto y la construcción de una paz estable y duradera (2nd ed.). Oficina del Alto Comisionado para la Paz.

Manual técnico de turbinas a filo de agua de la empresa (TURBULENT)

Osorio Londoño, I. (2017). Impactos ambientales, sociales y económicos de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en Antioquia.

(PIEC,2019) Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica UPME http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Informacion_Base_PIEC_Dic302019.pdf

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Grupo de Investigación Xué. ("Caracterización de las Subestaciones Eléctricas de Transmisión y ...") (2020). Estado de la Cobertura Eléctrica y las Zonas No Interconectadas en la Región Central. Recuperado de https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Cpt0l7-ESTADO-DE-LA-COBERTURA-ELECTRICA-Y-LAS-ZONAS-NO-INTERCONECTADAS-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL.pdf

UPME, Colciencias, & Universidad Javeriana. (2015). Atlas del potencial hidro energético de Colombia.

Quimbo: ¿Desarrollo energético o degradación ambiental?

Damaris Alejandra Arias Montenegro
Departamento de Ingeniería Química
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

El territorio colombiano posee 311 subzonas hidrográficas, que abarcan lagos, lagunas y más de mil cien ríos (IDEAM, 2013). Aprovechando dichos recursos en Colombia, cerca del 70 % de energía eléctrica consumida es generada mediante centrales hidroeléctricas (Ministerio de Minas y Energía, 2020), mostrando de esta forma la capacidad que tiene la nación para abastecerse de energía eléctrica por medio de una fuente renovable. Sin embargo, es de importancia asimilar que, aunque las hidroeléctricas contribuyen al desarrollo de la sociedad, la construcción de ellas ocasiona impactos negativos para la vida natural, afectando principalmente a los ecosistemas y al recurso más preciado: el agua. En este ensayo se resaltan las falencias que van en contra del medio ambiente, entre las que están: la desviación del cauce natural del agua, así como la afectación a su calidad, la desaparición de especies fluviales, animales terrestres, especies vegetales y la falta de nutrientes en la tierra que años atrás se podía usar para la agricultura. La central hidroeléctrica el Quimbo no tiene ninguna excepción a estos problemas, sin embargo, carga en su espalda un peso adicional pues a diferencia de las demás hidroeléctricas, la construcción de esta se llevó a cabo ignorando una parte del bosque tropical seco que se encuentra dentro de la zona de reserva de la amazonia colombiana.

GIPEM 04, agosto (2023)
pp. 18-22
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de
Colombia

El Quimbo es una hidroeléctrica que se encuentra ubicada al sur del departamento del Huila, por tanto, se infiere que las afectaciones ambientales derivadas de la construcción de esta planta han deteriorado al río Magdalena, y por consecuencia afectan la vida natural propia de este afluente. Por tal razón los impactos negativos que la construcción de las hidroeléctricas tiene para con el medio ambiente, se han visto forzados a controlarse por medio de normativas ambientales orientadas a regular dichos daños, una de estas y la más importante establece que «las empresas tanto públicas como privadas que realicen obras para la generación de electricidad y que, además, tengan un riesgo de deterioro ambiental, están obligadas a obtener previamente la licencia ambiental» (Ley 143, 1994). La Hidroeléctrica el Quimbo obtuvo dicha licencia en agosto de

Correo electrónico: dariasmo@unal.edu.co

2009, mediante la resolución 0899 del 15 de mayo de 2009, después de una larga investigación por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, quien se encargó de determinar la viabilidad del proyecto, manifestando y asegurando que las actividades pecuarias y agrícolas no se verían afectadas. Sin embargo, muchos grupos han alzado su voz con inconformidades hacia el proyecto, entre ellos se tiene a: «CAM» Corporación Autónoma del Alto Magdalena y «ASOQUIMBO» Asociación de afectados por el proyecto hidroeléctrico el Quimbo.

ASOQUIMBO solicitó al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable en el año de 2012 una audiencia pública ambiental exigiendo que la empresa Enel-Emgesa, encargada de la construcción de la hidroeléctrica el Quimbo, cumpla con lo establecido en la licencia ambiental (Gómez Maluche y Correa Guaque, 2012), pues la mayor fuente de ingresos para las familias del lugar era la agricultura, y la construcción de la hidroeléctrica amenazaba no solo a los fértiles campos sino también la calidad del agua, lo que daría como resultado el deterioro de los cultivos incluso su extinción. Por otro lado, CAM manifestó que el agua del embalse presentaba alta contaminación por la presencia de biomasa y pedían que ésta fuera tratada antes de inundar la zona, la corte constitucional ratificó esa información y exigió que se retire cierta cantidad de dicha biomasa para que no haya ninguna afectación a la calidad del agua, pero, según la CAM solo se retiró una parte de lo exigido (Guzmán Jiménez y Amaya Arias, 2016), con lo cual no queda más que pensar que el agua del embalse que luego fue expulsada contenía la suficiente biomasa para perturbar el ecosistema del río, afectando directamente la reproducción de los peces e incluso provocando cambios en su comportamiento.

Pese a perturbar el ecosistema fluvial, la construcción de la hidroeléctrica El Quimbo tenía un mayor problema: desviar el caudal del río Magdalena y con ello acabar con varias de las 233 especies de peces que lo habitan (Jiménez Segura y Lasso, 2020). Muchas de éstas, servían como alimento para las comunidades y los animales de la zona, lo que significa que El Quimbo no solo disminuyó la fuente de alimento para muchos animales e incluso para varias personas, sino que también dejó desempleado por varios meses a los pescadores de la región, que antes de la construcción recogían alrededor de 70 a 80 kilos de pescado en una jornada y ahora solo alcanzan a recolectar de 2 a 5 libras (Amado Romero y Díaz Guevara, 2017). Además, se destaca que entre los muchos peces del río Magdalena existen algunos que se encuentran en peligro de extinción, como es el caso del bagre rayado, dejando claro que la hidroeléctrica no dimensionó, que cada especie que desaparece se traduce no solo en una pérdida en la diversidad del país, sino que también genera daños en el ecosistema desencadenando la muerte de muchas otras especies y poniendo en riesgo el ciclo natural del ecosistema de toda la zona.

El ecosistema que abarca el proyecto hidroeléctrico El Quimbo contiene una parte del bosque tropical seco que se encuentra dentro de la zona de reserva de la amazonia colombiana, en la cual viven 3 mamíferos que se encuentran en grave peligro de extinción, los cuales son: la pacarana, el mono nocturno de manos grises y la nutria neotropical (Comisión Internacional de Juristas CIJ, 2016). Teniendo en cuenta que actualmente la humanidad está enfrentando varias problemáticas ambientales entre las que se destaca la desaparición de ecosistemas, se invita a que como colombianos poseedores de una diversidad rica en flora, fauna y recursos hídricos tengamos mayor conciencia ambiental de manera que los recursos naturales que ahora poseemos sean administrados de manera sostenible en donde todos sean partícipes de la conservación de la biodiversidad de nuestro territorio, pues así como han desaparecido muchas especies de mamíferos, aves, peces y reptiles la construcción de la hidroeléctrica El Quimbo también ha puesto en riesgo plantas que son valiosas y muy significativas para el territorio colombiano, como lo es su flor nacional: la orquídea.

Existía gran población de orquídeas dentro del bosque que fue talado para la inundación del embalse de la hidroeléctrica, junto con estas flores de gran valor para la nación también se talaron muchas plantas exclusivas de la región, lo que se traduce como un daño irreparable para el medio ambiente de la zona. Por tal razón, Enel-Emgesa adquirió el deber de restaurar el ecosistema del bosque seco tropical al desarrollar un programa de restauración ecológica para los 20 años posteriores a la construcción del

proyecto hidroeléctrico (Torres Romero, 2020). El programa propuesto por Enel-Emgesa, para la restauración del bosque seco tropical afectado por la construcción de la hidroeléctrica, inició con un plan piloto, con el que se identificaron las estrategias más efectivas que pueden ser utilizadas en las zonas de restauración. Los principales resultados que se obtuvieron de ese plan fueron: la caracterización de las zonas para la restauración e implementación de 62 especies de plantas nativas incluyendo, además, el hallazgo de una nueva especie: pitcairnia huilensis (Betancur y Escobar Jiménez, 2015).

Aunque el proyecto piloto desarrollado por Enel-Emgesa se descubrió una nueva especie que se une a la gran diversidad floral con la que cuenta Colombia. Los problemas que se han ocasionado por la construcción del proyecto hidroeléctrico el Quimbo han sido siempre en comparación más grandes que los beneficios que ha traído el tratar de arreglar los ecosistemas huilenses ya dañados, por lo que la hidroeléctrica siempre mantuvo con disgusto a la población y las asociaciones que protegen los intereses ambientales, como lo es la CAM, que por la desaparición de especies tanto animales como vegetales, la contaminación del agua y la perturbación de los ecosistemas, incluso la extinción de los mismos que esto ocasiona, manifestó su inconformidad con la empresa Enel-Emgesa ordenando y estableciendo una serie de medidas preventivas plasmadas en la resolución 2870 de 2011 entre las que se destaca la suspensión inmediata de actividades que atentan contra el medio ambiente y el recurso renovable con el que operan (Dussán Calderón, 2017).

El agua que abastece la hidroeléctrica está almacenada en una represa, por lo que el control de inundación debe ser manejado con mucho cuidado debido a que afecta principalmente el régimen de flujo de agua que corre río abajo y con ello desabastece de agua subterránea a las zonas aledañas o se presentan picos de inundación en terrenos adyacentes al río. (Mccartney y Sullivan y Acreman, 2001). En el caso de los municipios de Gigante, Garzón, El Agrado, Altamira, Paicol y Tesalia que se dedicaban a la agricultura como principal fuente de ingresos, se vieron afectados por el proyecto hidroeléctrico El Quimbo debido a este control de inundación, pues el régimen de caudal de agua río abajo puede afectar la estructura que tienen naturalmente las tierras fértiles, y además, hay que tener en cuenta que el agua del embalse de esta hidroeléctrica estaba altamente modificada por contenido de biomasa; lo que quiere decir que muy probablemente la generación de energía eléctrica supuestamente limpia que está consumiendo el territorio nacional podría estar contribuyendo a agravar el cambio climático que hoy en día es uno de los más grandes problemas por los que está pasando la humanidad.

Las hidroeléctricas que presentan alta concentración de biomasa en el agua de sus embalses pueden emitir gases de efecto invernadero como metano o CO2, las denuncias manifestadas por la CAM anteriormente mencionadas hacen saber que la empresa Enel-Emgesa no retiró la cantidad de biomasa que se le exigió desde la corte constitucional por tanto, se infiere que probablemente el embalse de la hidroeléctrica el Quimbo sea un contribuyente al cambio climático por emisión de gases de efecto invernadero, a esto se le suma, que la inundación de las áreas del bosque seco tropical en donde se construyó la central hidroeléctrica contribuye a que aumente las emisiones de gases de efecto invernadero debido a que estas áreas ecológicas eran estratégicas para mitigar dichos gases. Se estima que los embalses de las hidroeléctricas pueden representar hasta el 15% del potencial del calentamiento global de las emisiones de gases de efecto invernadero (Louis, Kelly, Duchemin, y Rudd, 2009). Sin embargo, así como las hidroeléctricas afectan a la diversidad ecológica y contribuyen al calentamiento global, se perjudica a sí mismas pues el aumento de las precipitaciones puede exceder la capacidad de la represa provocando un desbordamiento, y las sequías pueden generar una evaporación del agua del embalse, lo que podría disminuir la capacidad de la hidroeléctrica en la represa y por tanto su productividad.

Las hidroeléctricas del país han sido las que han abastecido de energía eléctrica a la mayoría del territorio nacional, y conforme la demanda de ésta se incrementa, la necesidad de construir nuevas hidroeléctricas en el país es casi un hecho, lo cuestionable es que se pase por alto lo establecido en la

licencia ambiental para asegurar el abastecimiento. Por lo tanto, se sabe que la construcción de las hidroeléctricas y los grandes proyectos de infraestructura para llevar a cabo el desarrollo de la sociedad es importante, pero siempre se presenta tensión entre las poblaciones locales, la vida natural y la economía (Salcedo Montero y Cely Forero, 2015). Sin embargo, es urgente que las autoridades tomen con rigurosa seriedad las leyes ambientales sobre las cuales se establecen los límites que no se deben cruzar, como en el caso de El Quimbo al disminuir las hectáreas de bosque seco tropical que abarcaría el proyecto en un informe con el que se le otorgaría la licencia ambiental. Jamás se podrá tener una central hidroeléctrica cuyos problemas ambientales o sociales se reduzcan a cero, pero hay que ser conscientes de que, siguiendo la norma, esos problemas probablemente se reducirían a un menor impacto, con el cual la sociedad, el medio ambiente y la economía podrían coexistir.

Para finalizar, es evidentemente que pasar a una economía más limpia, más ambiental y socialmente sostenible no es un camino fácil, por tanto, aunque las hidroeléctricas en nuestro territorio colombiano son bastante viables por la riqueza en fuentes hídricas que poseemos. Para asegurar que esta es la mejor opción, se deben estudiar otras alternativas de energías más limpias que puedan ser utilizadas para ayudar a mitigar los daños ambientales que la construcción de las hidroeléctricas ineficientes dejan a su paso. Una alternativa que se plantea como posible solución es implementar programas de incentivos que promuevan a las empresas a que desarrollen, investiguen e implementen nuevos modelos para generar energía eléctrica; entre los que están: los parques eólicos, las centrales solares fotovoltaicas, las centrales geotérmicas, las centrales mareomotrices o la tecnología de hidrógeno verde (Schallenberg Rodríguez, 2008), que a pesar de no estar tan desarrolladas tecnológicamente son muy prometedoras para contribuir con el desarrollo sostenible del mundo, por ello, debería ser prioritario dar incentivos para promover su desarrollo, pues las consecuencias de no hacerlo, y en su lugar seguir con tecnologías que a veces son inadecuadas para nuestro medio ambiente, puede traer consigo cosas mucho peores.

Referencias

Amado Romero, A. y Díaz Guevara, D. (2017). Determinación de la afectación aguas abajo de la represa del quimbo sobre la ictiofauna de importancia económica. Semillero tecnoapro Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C.

Betancur, J. y Escobar Jiménez, D. (2015). Pitcairnia huilensis: una atractiva bromeliácea nueva de Colombia.

Comisión Internacional de Juristas, CIJ. (2016). El Quimbo: megaproyectos, derechos económicos, sociales y culturales y protesta social en Colombia.

Dussán Calderón, M. (2017). El Quimbo: Extractivismo, despojo, ecocidio y resistencia: proyecto experiencias de referencia para la construcción del sentido de la paz territorial. Planeta Paz: Asoquimbo.

Gómez Maluche, C. y Correa Guaque, C. (2012). Conflicto ambiental del proyecto hidroeléctrico El Quimbo en Colombia. Universidad Nacional San Martin.

Guzmán Jiménez, L. y Amaya Arias, A. (2016). La industria energética y el recurso hídrico en Colombia. Breve referencia al caso de la hidroeléctrica El Quimbo. ResearchGate.

IDEAM. (2013). Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2013, Bogotá, D.C., Colombia.

Jiménez Segura, L. y Lasso, C. (2020). Peces en la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad conservación y uso sostenible. Serie editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Ley 143 de 1994. (1994). Departamento Administrativo de la Función Pública. EVA - Gestor Normativo.

Louis, V y Kelly, C. y Duchemin, E. y Rudd, J. (2009). Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: a global estimate. Bioscience.

Mccartney, M. y Sullivan, C. y Acreman, M. (2001). Ecosystem Impacts of Large Dams. ResearchGate. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources and the United Nations Environmental Programme.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2011). Resolución 2870 de 2011.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2009). Resolución 0899: "Por la cual se otorga la licencia ambiental para el proyecto hidroeléctrico el Quimbo y se toman otras determinaciones"

Ministerio de Minas y Energía. (2020). La transición energética de Colombia, Memorias al Congreso. Publicada en junio de 2020, Bogotá, D.C., Colombia.

Salcedo Montero, C. y Cely Forero, A. (2015). Expansión hidroeléctrica, Estado y economías campesinas: El caso de la represa del Quimbo, Huila-Colombia. Mundo Agrario.

Schallenberg Rodríguez, J. (2008). Energías renovables y eficiencia energética (1a. ed). Instituto Tecnológico de Canarias.

Torres Romero, F. (2020). Plan de restauración ecológica de bosque seco tropical de la central hidroeléctrica el quimbo Huila Colombia. La Ingeniería Forestal desde las Regiones.

¿Es posible mitigar los efectos del fenómeno de El Niño en la generación de energía eléctrica en Colombia?

Edith Alejandra Suarez Martínez
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Desde el punto de vista geográfico, Colombia es un país privilegiado con una gran diversidad natural que cubre la mayor parte de su territorio, eso implica un factor clave en el desarrollo de los recursos hídricos para construir la riqueza del país. Alrededor de cincuenta ríos importantes fluyen por sus regiones, entre ellos cinco vertientes de grandes vías fluviales (Orinoco, Amazonas, Caribe, Pacífico, Catatumbo) y más de 48 mil humedales que incluyen lagos, lagunas, ciénagas, ríos, arrecifes y estuarios, que hacen de Colombia una joya natural del mundo (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAVH, 2021)). Además, esta abundancia de agua ha convertido al país en una potencia energética en la región. Muchas de estas fuentes de agua se utilizan para la generación de energía hidroeléctrica, dando a Colombia una base energética limpia y sostenible. Este uso eficiente de los recursos naturales también ha convertido al territorio en un referente regional en términos de producción de energía renovable.

Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) un aspecto fundamental por lo cual existe riqueza hídrica en el país es por la cantidad de precipitaciones de lluvia que caen en el territorio, gracias a su extensa red de ríos superficiales, el almacenamiento de aguas subterráneas y la presencia de grandes cuerpos de agua como lagos y lagunas, el país cuenta con un ecosistema acuático diverso que representa un recurso valioso para el sustento de las comunidades y la producción de energía; sin embargo, la disponibilidad de agua en Colombia no es uniforme en todo el país. Hay zonas como La Guajira que están expuestas a condiciones muy desfavorables por su ubicación geográfica y clima (UPME, 2004). La Guajira es una región semiárida que se caracteriza de altas temperaturas y extensa sequía, generando problemas de acceso al agua que afectan a la población y actividad económica de la región; aunque, Colombia es uno de los países con mayor potencial hidroeléctrico del mundo. En 2021, la energía hidroeléctrica representó el 71% de la energía eléctrica generada en el

GIPEM 04, agosto (2023)
pp. 23-27
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de
Colombia

Correo electrónico: edsuarez@unal.edu.co

país. Además, el potencial de energía renovable de Colombia aún no se ha aprovechado por completo, lo que abre oportunidades para el desarrollo de proyectos de energía limpia y sostenible.

El fenómeno de El Niño es un problema constante en Colombia, ya que afecta la generación eléctrica e impacta la calidad de vida de los colombianos. Este fenómeno es causado por el cambio climático en el sistema de conexión entre el océano y la atmósfera del Pacífico tropical, aumentando las temperaturas de los valles durante el día y las reducciones en el caudal de los ríos (Montealegre y Pabón, Montealegre, 2014). Además, un aumento de la radiación ultravioleta que llega a la tierra también puede contribuir a esta disminución. En 1991 y 1992, el impacto ocasionado por el fenómeno del niño provocó la reducción de lluvias y alteración en patrones de precipitación, lo que en el sector hidroeléctrico indujo la disminución de energía eléctrica en el país, lo que generó gran preocupación entre la población. Desde entonces se han realizado esfuerzos para evitar que esta situación se repita, como la diversificación de la matriz energética y la implementación de medidas de ahorro y eficiencia energética. No obstante, los eventos fenómeno de El Niño continúan amenazando la estabilidad del suministro eléctrico del país, lo que requiere una gestión integral y sostenible de los recursos hídricos.

El eje central de este documento es que las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER) son una solución parcial para mitigar los efectos causados por El Niño en la generación de energía hidroeléctrica en Colombia, para esto se debe tener una contextualización de la capacidad de generación del Sistema Interconectado Nacional Colombiano (SIN) por ende se da una descripción de la distribución de la estructura de la generación eléctrica en Colombia para las diferentes fuentes de energía renovable, en donde se reflejan que un 68,3% proviene de fuentes hidroeléctricas con 11,9 GW. Por otro lado, para la energía eólica tiene una participación del 0,1% con 0,02GW de generación de energía, la energía solar tiene una participación del 0,1% y una producción de energía eléctrica de 0,02GW y para la energía con biogás tiene una participación del 0,0% con una generación de 0.01GW. Finalmente, la generación de energía a partir del bagazo representa el 0,8% con 0,14 GW de producción de energía, y la generación total de energía a partir de fuentes renovables es de 12 GW. En cuanto a la generación de energía a partir de fuentes no renovables, el carbón tiene una participación del 9,6% con 1,7 GW, el gas representa el 14,9% con 2,6 GW de generación de energía y otros combustibles representan el 6,2% con 1,1 GW para tener finalmente una capacidad total instalada de 17,4 GW (UPME, 2021). Se resaltar la dependencia del país de las fuentes hídricas, las cuales aportan más del 50% de la producción de energía eléctrica del país. Por lo tanto, es sustancial considerar el potencial de una menor producción en caso de un evento de El Niño que afecte directamente la producción de energía hidroeléctrica. En este sentido, se ha estudiado la diversificación de la matriz energética por Fuentes de Energías Renovables No Convencionales para obtener un respaldo confiable y atender las necesidades de energía eléctrica del SIN en casos de baja hidrología. Para analizar la capacidad del FNCER en periodos de baja hidrología, se necesita estudiar varios escenarios internacionales y nacionales, pronósticos de generación, Planes Nacionales de Energía (PENS), datos de generación por tipo de fuente para varios meses, estadísticas, cifras y proyectos actuales y futuros de la FNCER de Colombia.

En un panorama para países como China, India y Estados Unidos con una tendencia a hacer un cambio en su matriz energética promoviendo a las FNCER, dando una mejora a la eficiencia energética a partir de políticas públicas e incentivos para esto, un panorama del uso de fuentes para la generación de energía eléctrica para el año 2040 traerá un crecimiento para las fuentes de petróleo y carbón de 0.4% anual, para el gas 1.5% para la energía hidroeléctrica 18% y las renovables será del 6.9% al 10% (Keynes, 2016). En un panorama actual se tiene que la implementación de estas FNCER a nivel mundial desde el año 2010 hasta el año 2016, tiene una capacidad instalada para las plantas de generación eólicas, solares, PCHS menores a 10 MW es de 906,743 MW (IRENA, Departamento Nacional de planeación, 2018), en donde algunos países como Perú buscan por medio de esta generación tener una seguridad energética al garantizar en los periodos de El Niño una disponibilidad ininterrumpida y precio estable en la energía eléctrica, siendo esta una de las ventajas al usar este tipo de FNCER. por otra parte, que no tienen que recurrir a un subsidio dirigido a la generación por medio de fuentes derivadas del petróleo.

Una de las preocupaciones que surge al incorporar las FNCER es su variabilidad en la estabilidad en los sistemas de distribución en los diferentes países que da como consecuencia una indisponibilidad del suministro de energía eléctrica continuo no obstante, se puede evidenciar de índice de duración en la interrupción promedio del sistema interconectado nacional para países como el de Dinamarca y Alemania donde se tiene un / System Average Interruption Duration Index (SAIDI)/ bajo, con una muy buena confiabilidad, para estos países es importante resaltar la participación de las FNCER en su matriz energética donde el 19,2% de la energía eléctrica en el 2015 fue generada con energía eólica (Graichen, 2016). esta situación también sucedió en el año 2013 con España en donde se ve que la confiabilidad en SIN es buena y en sus matrices energéticas hay un peso considerable de producción de energía eléctrica de las FNCER que mejoró al tener una participación del 30%, no obstante, los países con baja participación de estas fuentes no tienen estos buenos niveles de SAIDI. Por otra parte es importante resaltar que esta generación en países como Uruguay en donde la generación por hidroeléctricas no es muy estable, ya que presenta variaciones entre 25% y 100 % respecto al consumo de este país puesto que se cuenta con pocas fuentes hídricas además donde el almacenamiento para el agua de un año a otro es bajo, aquí podemos ver para este país que la generación de energía solar y eólica, puede ayudar a suplir un poco la demanda puesto que para la generación con energía eólica se tiene un aporte del 42.1% de penetración en el 2015 (Paredes J.R y Ramírez J.J., 2017).

La generación con las FNCER a futuro depende de suponer o proyectar este recurso de acuerdo con los patrones que se presentaron en la obtención de la fuente energética en periodos de años pasados documentados. En Colombia la generación depende en su mayoría de un recurso hídrico, por lo cual en momentos de escasez de este recurso por una sequía bajara la producción de energía eléctrica como sucedió en los años de 2009, 2010, 2013, 2014 y 2015. este tipo de situaciones aumentan por el cambio climático (CorpoEma, 2010a; 2010c, UPME. (2015)), la falta de producción de energía por medio de esta fuente encarece los precios de la energía eléctrica, esto puede ser evitado al no depender de esta generación únicamente o de manera tan fuerte una estrategia para esto es fomentar la generación de energía eléctrica mediante las energías renovables no convencionales como es presentado en los planes de expansión de referencia generación – trasmisión de la UPME 2013-2027, un ejemplo de cómo se emplea es como en los proyectos llevados a cabo en la Guajira donde la energía eólica apoyaran a la generación de la energía por fuente hídrica se evidencia en este caso que si es posible que la generación con FNCER con una transición se vaya convirtiendo también en un respaldo en pequeña escala en un principio además de traer otros beneficios al hacer uso de estas energías y no suplir esta demanda por medio de centrales térmicas que son convenientes para no dejar el suministro de energía incompleto, pero si tienen un costo en las tarifas mayores para los usuarios no obstante se encuentra en esta situación de sequía son plantas de generación donde su energía tiene un costo monetario mayor frente a la producida por hidroeléctricas.

El aporte de las FNCER en el SIN en un mes se presenta a continuación la generación promedio para el mes de diciembre del año 2021 en el SIN, para un nivel de embalse del 79.1% fue de 203.80 GWh-día, en un 78,51% está predominada por ser renovable. Se puede observar que la mayor parte de esta generación proviene del tipo de fuente hidráulica con un 97.46% en donde se produce 155.95GWh-día aunque se presentó una disminución de los embalses respecto al mes anterior, con una participación de las otras fuentes no convencionales de energía como biomasa con un 1.725%, eólica 0,09% y solar 0.72% (XM, 2022), con los datos anteriores se distribuye la oferta primaria de energía, se buscan alternativas para seguir diversificando la matriz energética, garantizar una soberanía energética y seguridad, a partir de las proyecciones dadas por el PEN 2020-2050, cumpliendo las demandas de la energía presentes con soluciones energéticas correctas con una incorporación en mayor medida de las FNCER. A continuación se dará una breve descripción de los escenario propuestos para llegar a diversificar la matriz energética y tener menos dependencia de la fuente hidráulica, el primer escenario es la actualización en el sector energético que incorpora tecnologías que tiene el propósito de impactar positivamente el cambio climático, la generación, se caracteriza en apoyar la construcción pequeñas centrales hidráulicas, plantas

térmicas y la generación solar y eólica a nivel distribuido, luego se tienen el escenario de modernización donde se importaran combustibles líquidos y se pretende potenciar la generación solar y eólica además de aumentar la diversificación con la entrada de lo eólico /off-shore/, por otra parte se tendrá el escenario de inflexión el cual implementa la generación con energía solar, geotérmica, nuclear, eólica y más tecnologías. En el escenario de disrupción se busca descarbonatar la matriz energética y la energía eléctrica es producida en su mayoría por FNCE, FNCER así como el hidrógeno verde. (UPME, 2020).

Ahora que se ha descrito cada uno del escenario se podrá ver la distribución de la oferta por la fuente energética para cada escenario para el 2050, estas son las proyecciones en donde se verá el papel que desempeñaran las FNCER y la fuente hidráulica si las FNCER aumentan su producción de energía y se diversifica más la matriz energética, los siguientes datos de proyecciones fueron consultados de UPME. (2020), en donde para el escenario de actualización se tendrá que el petróleo da un aporte de 44%, el carbón del 7%, la hidráulica 9%, la solar y eólica 6%, hidrógeno 0% otros renovables 9%, luego para el escenario de modernización el gas natural da un aporte de27%, el petróleo y derivados de 39%, el carbón de 7%, la hidráulica de 8%, la solar y eólica de 6%, el hidrógeno de 0% y otros renovables de10%, para el escenario de inflexión se tendrá la participación hidráulica del 11% y solar y eólica 8% de hidrógeno 0% y otros renovables 12% y finalmente del escenario disrupción hidráulica, la de solar y eólico 8%, el hidrógeno 11% y otros renovables del 12%, donde para estas proyecciones se tendrá que la matriz eléctrica para cada uno de los escenarios para la actualización de su capacidad instalada para el año 2030 en la fuente de energía hidráulica del 58% y FNCER de 17%, del hidrógeno de 25%, en el que para el año 2050 en la hidráulica del 37% y las FNCER de 44%, hidrógeno 19 %, para el escenario de inflexión, se tendrá para la fuente hidráulica del 59% y FNCER de 17%, hidrogeno 23%, para el año 2050 para la fuente hidráulica del 38% y FNCER de 46%, hidrógeno 13% y finalmente para Disrupción para el año 2030 para la fuente hidráulica del 59% y FNCER de 23%, hidrogeno 17%, para el año 2050 en la hidráulica del 36% y FNCER de 45%, hidrógeno 10 % UPME. (2020), dadas estas proyecciones y camino a tomar del sector energético para el que la dependencia a la generación por medio de fuente hidráulica disminuye considerablemente para los años 2030 y 2050, es posible en el futuro mantener seguridad nacional y producción de energía eléctrica dado que suceda un fenómeno del niño como los ocurridos en el año 2014 y 2015.

A modo de conclusión se puede decir que en la actualidad la matriz energética colombiana tiene un gran aporte aun desde la energía hidroeléctrica, puesto que la mayoría de la capacidad instalada del SIN es debido a la generación con fuente hidráulica, dando lugar a el país dependa en su mayoría de este tipo de generación y en caso de ocurrir una sequía que afecte el nivel del caudal y los embalses del país, cubrir la demanda de energía del país tendrá afectaciones, ya que se depende de la generación hidroeléctrica más del 68,3%, para abordar este problema otros países como Uruguay han optado por incentivar y generar más proyectos de FNCER para no depender de su generación influyente de la fuente hidráulica, es posible a futuro ampliar el aporte de otras FNCER en Colombia para un escenario de inflexión o disrupción el incremento de la participación de la fuente energética será mayor a la hidráulica para estos escenarios, para los dos casos de un 8% además de tener una capacidad instalada para el año 2050 del 44% y 45% con las FNCER siendo posible en uno de estos dos escenarios que la producción de energía no sea tan dependiente a la generación por termoeléctricas y poder solventar o dar un respaldo la demanda de energía eléctrica de esta en caso de un fuerte fenómeno de El Niño, finalmente a nivel nacional se tiene una ruta con desafíos para el sector energético en el que se busca diversificar más la matriz energética y tener una soberanía en el abastecimiento de la energía eléctrica para el país.

Referencias

Departamento Nacional de planeación. (2018). 2018 Energy supply situation in Colombia.DNP. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Energia/MCV%20%20Energy%20Supply%20Situation%20vf.pdf

Graichen, P. (2016). The energy transition in the power sector: State of affairs 2015. Berlín: Agora Energiewende. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2021, 02 enero). Humedales: un tesoro anfibio que sobrevive en el 26 por ciento de Colombia. [Comunicado de prensa]. Humedales: un tesoro anfibio que sobrevive en el 26 por ciento de Colombia (humboldt.org.co) Keynes, J.M. (2016). PRINCIPALES CONCLUSIONES DEL WORLD ENERGY OUTLOOK 2016: INFORME DE LA FUNDACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA Y AMBIENTAL. Funseam. https://funseam.com/wp-content/uploads/2017/10/k2_attachments_1889_Informe_FUNSEAM_-_Diciembre_2016_-_Principales_conclusiones_del_WEO_2016.pdf

Montealegre Bocanegra, J.E. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico: Actividades desarrolladas en el marco del contrato de prestación de servicios profesionales No IDEAM 078 -2014 IDEAM. http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Actualizacion+Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o+-+La+Ni%C3%B1a.pdf/02f5e53b-0349-41f1-87e0-5513286d1d1d

Paredes J.R y Ramírez J.J. (2017). Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: complementariedad en Colombia. Bancoibero americano de desarrollo. UPME (2021). Informe proyección demanda energéticos. UPME.

UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. La Imprenta Editores S.A.

UPME. (2020). Plan Energético Nacional 2020-2050. La Imprenta Editores S.A.

UPME. (2004). ESTUDIO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA BAJO ESCENARIO DE CAMBIO CLIMATICO. La Imprenta Editores S.A.

UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. La Imprenta Editores S.A.

UPME. (2016). Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia. UPME. XM. (2022, 11 enero). 203.80 GWh-día fue la generación de energía en Colombia en diciembre [Comunicado de prensa]. https://www.xm.com.co/noticias/4568-20380-gwh-dia-fue-la-generacion-de-energia-en-colombia-en-diciembre

Análisis comparativo entre grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas: La realidad de una alternativa sustentable

Harold Esneider Pantoja Villota
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

1. Resumen

Las pequeñas centrales hidroeléctricas se consideran en la actualidad como tecnologías de generación de energía eléctrica más limpias con respecto a las grandes centrales hidroeléctricas, consideraciones principalmente fundamentadas en la forma de realizar el aprovechamiento del agua, que para las segundas se realiza a partir de la inundación de grandes extensiones de tierra, pero, para las primeras, solamente se necesita utilizar el mismo flujo que ya llevan los ríos o quebradas utilizados. A pesar de lo anterior, desde el punto de vista de la sustentabilidad, cuando se realiza una comparación entre las dos tecnologías, solamente se analiza desde el punto de vista del aspecto ambiental, razón por la cual, en el presente artículo se plantea una comparación que aborda los tres aspectos de la sustentabilidad, ambiental, social y económico, buscando encerrar los efectos causados por los proyectos de aprovechamiento hídrico, en un marco que muestra a estos proyectos como actores importantes dentro de un ámbito de sociedad, desarrollo y crecimiento económico.

2. Introducción

Las grandes centrales hidroeléctricas en su tiempo de aparición tuvieron un reconocimiento importante, porque se presentaba como una tecnología amigable con el ambiente, tanto en emisiones como en la forma de utilización de su fuente principal, el agua. Lo anterior se reflejó en el crecimiento que tuvieron hacia finales del siglo veinte y en su extensión por diferentes países alrededor de todo el mundo (Premalatha et all., 2013). Las hidroeléctricas se presentaron como una tecnología sin aporte al calentamiento global y con ninguna afectación o transformación del agua que utilizaba, sin embargo, el paso del tiempo y las investigaciones realizadas sobre su relación con el entorno y efectos socioeconómicos, resultaron en la pérdida de esa imagen de tecnología eco-amigable.

GIPEM 04, agosto (2023)
pp. 28-42
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia

Correo electrónico: hpantojav@unal.edu.co

Esto, se vio representado en los conflictos suscitados con comunidades que habitaban las zonas de proyección de los proyectos, las mismas que decidían llevar a cabo movilizaciones en contra de las construcciones, generalmente, movidos por los impactos negativos que se generan sobre el medio ambiente y la forma de vida de los habitantes del sector, tal es el caso de la afectación a nivel económico, en lugares donde la pesca es la actividad principal, o los procesos de inundación, causantes de emisiones de efecto invernadero y disminución del flujo del río en las zonas ubicadas aguas debajo del embalse (Martínez et al., 2018).

Por otro lado, se encuentran los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, una forma de tecnología que ha venido tomando más fuerza con el pasar de los años, principalmente, por ser un método de aprovechamiento de causes pequeños de agua, pero, con la capacidad de generar la suficiente energía eléctrica para abastecer comunidades de zonas apartadas o el caso de algunos proyectos con el potencial para conectarse a los sistemas de transmisión y hacer parte del despacho eléctrico. Para el caso de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) ocurre algo similar como lo sucedido con las grandes centrales hidroeléctricas, porque estos pequeños aprovechamientos se presentaron como una forma aún más amigable de generación, pero que, de la misma forma, también tienen repercusiones, ambientales, sociales y económicas, razón por la cual, el marco regulatorio de esta forma de generación en países como Grecia es más exhaustivo que con las mismas hidroeléctricas (Theocharis et al., 2006). En el caso colombiano, la planificación energética incluso ha proyectado un potencial de 25.000 MW para los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, lo que significa que el aprovechamiento de recurso puede llegar a ser muy significativos en la matriz eléctrica, pero entonces, al mismo tiempo que se presenten más proyectos, las políticas en torno a las PCH deben ser sólidas, en marco ambiental e impactos sociales, evitando que cualquier proyecto con mínimos cumplimiento de normas, pueda obtener licencias y llevarse a cabo (Morales et al., 2015).

En este artículo se habla de la relación entre las hidroeléctricas a gran escala y las PCH con los tres ámbitos de la sustentabilidad, sociales, económicos y ambientales. Se analiza la incidencia que tiene cada tecnología de generación sobre las poblaciones cercanas, su integración con las actividades económicas de la región y el impacto que genera cada método utilizado para realizar aprovechamiento de caudales hídricos y finalmente, se presenta un contraste entre PCH e hidroeléctricas, con la finalidad de individualizar cada uno de los tres aspectos mencionados, otorgar una ponderación basada en los grados de afectación y conocer si en el proceso de transición energética, la integración de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos es una buen elección, respondiendo a la pregunta ¿Son las pequeñas centrales hidroeléctricas un método más sustentable de generación eléctrica que las grandes centrales hidroeléctricas?.

3. Metodología

a. Impactos de plantas hidroeléctricas

Colombia es un país rico en cuencas hídricas y posee abundantes ríos y riachuelos. Esta es la razón de que su matriz eléctrica esté conformada en un 69.7 % por energía hidroeléctrica (Cortes et al., 2017). Lo anterior ha permitido que el país posea una de las matrices más limpias, sin embargo, no existe la certeza de que esta forma de generación sea no contaminante y no genere algún tipo de emisión o afectación sobre su entorno, como si lo hacen las formas de generación a partir de combustibles fósiles, formas de generación que también hace parte de la otra porción importante de la matriz de generación eléctrica del país.

Las investigaciones sobre hidroeléctricas han avanzado con el tiempo y cada vez, resultan más descubrimientos sobre los efectos negativos que genera la implementación de estos proyectos. El área de influencia no solamente se queda en los efectos ambientales, que son los de mayor estudio, por la relevancia que se presenta en la contradicción de este tipo de proyectos, como método de cero

emisiones. También, el espectro de estudio se amplió hasta los impactos sociales y económicos, que son consecuencia de la lucha entre el bienestar de minorías contra el bienestar de mayorías, enfrentados por la necesidad del recurso eléctrico, que surge en todas las comunidades pero que prevalece en los centros urbanos como principales focos de atención, llevando a olvidar a las regiones más apartadas, olvido visibilizado en los diferentes planes de desarrollo regionales, en los cuales, la prestación de servicios públicos no parece ser una prioridad (Mendieta et al., 2015).

i. Efectos ambientales

Cuando se habla de una hidroeléctrica convencional, generalmente, también se asocia con grandes represas, de diferentes alturas y amplias extensiones de tierra inundada. Aunque no exista tanta evidencia, estas dos características, son las principales causantes de la emisión de gases de efectos invernadero; si, el Dióxido de Carbono (CO2) no es el único gas que tiene aporte en este efecto ambiental, existe otro compuesto con un nivel de contaminación mucho mayor, particularmente relacionado con las grandes inundaciones y que en comparación con el dióxido de carbono, este puede tener una equivalencia de veinticinco veces sus efectos, este gas es el, Metano (CH4) (Premalatha, et al., 2013),. El represamiento de grandes cantidades de agua, utilizando muros de gran altura, produce que, en las capas con una profundidad mayor a diez metros, se genere una falta de oxígeno, traducida en descomposición de materia orgánica que entonces se convierte en metano. Haciendo alusión a las estructuras que existen en Colombia, se puede mencionar a la represa San Carlos en Antioquia, cuya construcción finalizó con un muro de setenta metros de alto, o la represa del Guavio, con una altura de dos cientos cuarenta y tres metros. Pero, a pesar de la gran contaminación de efecto invernadero a causa del metano, las hidroeléctricas también tienen efectos de carácter negativo sobre la misma zona en la que son construidas y sus áreas de influencia, como el caso de la alteración de la fauna del lugar, pues el comportamiento de los peces en su época de reproducción se basa en una migración río arriba, encontrando diferentes lugares para desovar, proceso que se ve interrumpido por una gran barrera que evita el paso de estas especies migratorias (Rahman et al., 2022), (Pareja-Carmona et al., 2014). Este proceso interrumpido es aún más preocupante en cuencas ubicadas en la región tropical, ya que se cuenta con evidencia que demuestra la existencia de ocho mil especies de peces en los ríos de esta región, además de tener un porcentaje de especies endémicas del 16 % global, cantidad que se encuentran en peligro por el mencionado crecimiento en los aprovechamientos hidráulicos y la falta de regulación para este tipo de proyectos (Arantes et al., 2019).

ii. Efectos sociales

Las hidroeléctricas no han perdido su imagen de método de generación sustentable por razones simples, esto ha ocurrido porque continuamente los proyectos se han enfrentado a disputas de tipo social con las comunidades que se encuentran cercanas, especialmente cuando estas comunidades basan toda o gran parte de su seguridad alimentaria en el cauce natural de los ríos. Una actividad particularmente relacionada con casi todas las cuencas es la pesca, utilizada como método de obtención de alimento, ya que generalmente existe una estrecha relación entre los asentamientos en cercanías a ríos y un nivel de vulnerabilidad alto, lo que lleva a las poblaciones a alimentarse con aquello que pueden obtener de la propia naturaleza (Amorocho, 2010). Lo anterior es solo un ejemplo de las razones de la oposición de los pueblos a los proyectos de generación con represamientos, pero, también se presentan casos en los cuales los individuos en oposición hacen parte de grupos étnicos, generalmente muy relacionados desde su cultura con la naturaleza y el cuidado ambiental, por lo cual, una invasión con estructuras como las mencionadas anteriormente, representa una grave violación a sus costumbres, razón suficiente para ir en contra de la construcción de plantas hidroeléctricas (Martínez et al., 2018).

Los conflictos sociales, objeto de estudio en esta sección, obedecen a las diferencias entre intereses de diferentes sectores de una sociedad, diferencias muchas veces amparadas en el bienestar de grandes masas a costa de la afectación de pequeñas comunidades. Entonces, desde el punto de vista del apoyo a

los proyectos, se suelen presentar algunos comportamientos comprendidos entre acciones seguras y acciones de alto riesgo, definidas como el tipo de presión que se utiliza en la discusión con las comunidades, esto, teniendo en cuenta que una acción segura puede ser, debatir a partir del marco regulatorio en materia ambiental, económico o social y que una acción de alto riesgo se puede definir como la inclusión de un tercer actor con una característica especial, que presta apoyo al actor interesado en el proyecto por medio de la presión forzada al actor en contra, presión que incluye acciones de tipo armado, donde se convierte a las comunidades en un actor de guerra, llegando a extremos como desplazamiento forzado de los territorios (Martínez, 2018), (Por qué pasó lo que pasó en San Carlos, s.f.). A pesar de lo anterior, las discusiones por la implementación de los proyectos tienen dos actores principales, razón por la cual, del lado del actor en contra del proyecto también se presentan los dos tipos de acciones, seguras, como la creación de organizaciones conformadas por afectados, como el caso de la organización brasileña Movimiento de Afectados por Represas (MAB), y de alto riesgo, representadas por la afectación a los procesos de construcción y operación de los embalses e hidroeléctricas (da Rocha, 2016), (Karokaro, 2017).

A pesar de lo mencionado, también existen efectos positivos a nivel social, generados con la construcción y puesta en marcha de los proyectos hidroeléctricos; estos pueden estar enfocados en el crecimiento de una región en cuanto a su relación con el nivel económico, lo que permite que el fomento de actividades para el desarrollo de la comunidad, tomen relevancia y puedan estar incluidas en los planes regionales de desarrollo. Entonces, cuando se habla de estos planes, dentro de lo contemplado en ellos se encuentra, la inversión en infraestructura vial y en edificios para prestación de servicios públicos como educación y salud. Son este tipo de acciones, las que generalmente se presentan como motor para el desarrollo de regiones en los planes de ejecución de los proyectos hidroeléctricos y gracias a los cuales se originan las diferentes dualidades entre la decisión de construir grandes represas y los efectos negativos que pueden traer a una región y su comunidad.

iii. Efectos económicos

Las hidroeléctricas no han perdido su imagen de método de generación sustentable por razones simples, esto ha ocurrido porque continuamente los proyectos se han enfrentado a disputas de tipo social con las comunidades que se encuentran cercanas, especialmente cuando estas comunidades basan toda o gran parte de su seguridad alimentaria en el cauce natural de los ríos. Una actividad particularmente relacionada con casi todas las cuencas es la pesca, utilizada como método de obtención de alimento, ya que generalmente existe una estrecha relación entre los asentamientos en cercanías a ríos y un nivel de vulnerabilidad alto, lo que lleva a las poblaciones a alimentarse con aquello que pueden obtener de la propia naturaleza (Amorocho, 2010). Lo anterior es solo un ejemplo de las razones de la oposición de los pueblos a los proyectos de generación con represamientos, pero, también se presentan casos en los cuales los individuos en oposición hacen parte de grupos étnicos, generalmente muy relacionados desde su cultura con la naturaleza y el cuidado ambiental, por lo cual, una invasión con estructuras como las mencionadas anteriormente, representa una grave violación a sus costumbres, razón suficiente para ir en contra de la construcción de plantas hidroeléctricas (Martínez et al., 2018).

Los conflictos sociales, objeto de estudio en esta sección, obedecen a las diferencias entre intereses de diferentes sectores de una sociedad, diferencias muchas veces amparadas en el bienestar de grandes masas a costa de la afectación de pequeñas comunidades. Entonces, desde el punto de vista del apoyo a los proyectos, se suelen presentar algunos comportamientos comprendidos entre acciones seguras y acciones de alto riesgo, definidas como el tipo de presión que se utiliza en la discusión con las comunidades, esto, teniendo en cuenta que una acción segura puede ser, debatir a partir del marco regulatorio en materia ambiental, económico o social y que una acción de alto riesgo se puede definir como la inclusión de un tercer actor con una característica especial, que presta apoyo al actor interesado en el proyecto por medio de la presión forzada al actor en contra, presión que incluye acciones de tipo armado, donde se convierte a las comunidades en un actor de guerra, llegando a extremos como

desplazamiento forzado de los territorios (Martínez, 2018), (Por qué pasó lo que pasó en San Carlos, s.f.). A pesar de lo anterior, las discusiones por la implementación de los proyectos tienen dos actores principales, razón por la cual, del lado del actor en contra del proyecto también se presentan los dos tipos de acciones, seguras, como la creación de organizaciones conformadas por afectados, como el caso de la organización brasileña Movimiento de Afectados por Represas (MAB), y de alto riesgo, representadas por la afectación a los procesos de construcción y operación de los embalses e hidroeléctricas (da Rocha, 2016), (Karokaro, 2017).

A pesar de lo mencionado, también existen efectos positivos a nivel social, generados con la construcción y puesta en marcha de los proyectos hidroeléctricos; estos pueden estar enfocados en el crecimiento de una región en cuanto a su relación con el nivel económico, lo que permite que el fomento de actividades para el desarrollo de la comunidad, tomen relevancia y puedan estar incluidas en los planes regionales de desarrollo. Entonces, cuando se habla de estos planes, dentro de lo contemplado en ellos se encuentra, la inversión en infraestructura vial y en edificios para prestación de servicios públicos como educación y salud. Son este tipo de acciones, las que generalmente se presentan como motor para el desarrollo de regiones en los planes de ejecución de los proyectos hidroeléctricos y gracias a los cuales se originan las diferentes dualidades entre la decisión de construir grandes represas y los efectos negativos que pueden traer a una región y su comunidad.

b. Impactos de pequeñas centrales hidroeléctricas

La aplicación de esta tecnología día tras día tiene mayor importancia a nivel global, especialmente por las características con las cuales se le ha presentado, como un método mucho más sustentable que las grandes centrales hidroeléctricas, además de una forma de fácil acceso para los lugares más apartados, las comunidades no interconectadas y con una gran facilidad de construcción. Específicamente, cuando se habla de aprovechamientos hídricos pequeños, se debe entender la existencia de una categorización, que describe la capacidad que puede llegar a tener una PCH, generalmente determinada por el caudal al cual está sometida y la forma de construcción. Entonces, para el caso de este estudio, se presenta la categorización de la Tabla 1, determinada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) en (Boletín Energético 16, 1980), teniendo en cuenta que la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) hace uso de esta en (Primer Atlas de Potencial Hidroenergético en Colombia, 2015).

Tabla 1. Clasificación de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)

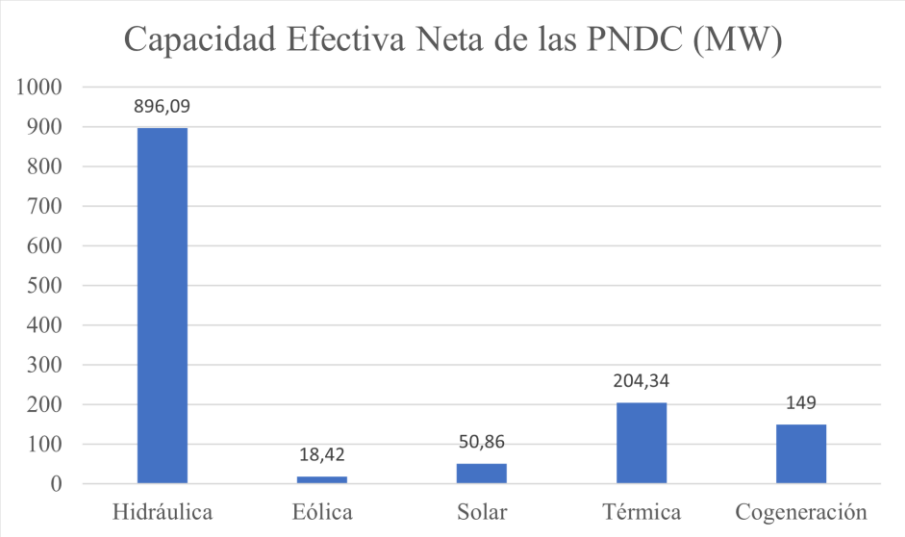
Tipo	Potencia	Salto		
		Bajo	Medio	Elevado
Picocentral	0.5 - 5 kW	N.A		
Microcentral	5 - 50 kW	< 15	15-50	> 50
Minicentral	50 - 500 kW	< 20	20-100	> 100
Pequeña Central	500 -5000 kW	< 25	25-130	> 130

Fuente: Elaboración propia

La potencia generada en las PCH es muy pequeña en comparación con las grandes hidroeléctricas y su gran capacidad de aporte a los sistemas interconectados, sin embargo, es suficiente para alimentar comunidades, ser de utilidad en el desempeño de trabajos y dar un poco de calidad de vida a quienes nunca han tenido acceso a este recurso (Ritchie et al., 2022). Es por esto por lo que una tecnología con tales aportes y que además represente una forma eco-amigable de generación, se esté teniendo en cuenta en los diferentes planes nacionales y regionales, además de tener una participación considerable en la matriz de generación Figura 2 y en la capacidad de las Plantas No Despachadas Centralmente (PNDC) Figura 3, pero ¿es en realidad la generación con PCH un método totalmente libre de emisiones y con nula participación en afectaciones sociales y económicas? O sólo es una nueva tecnología que al igual

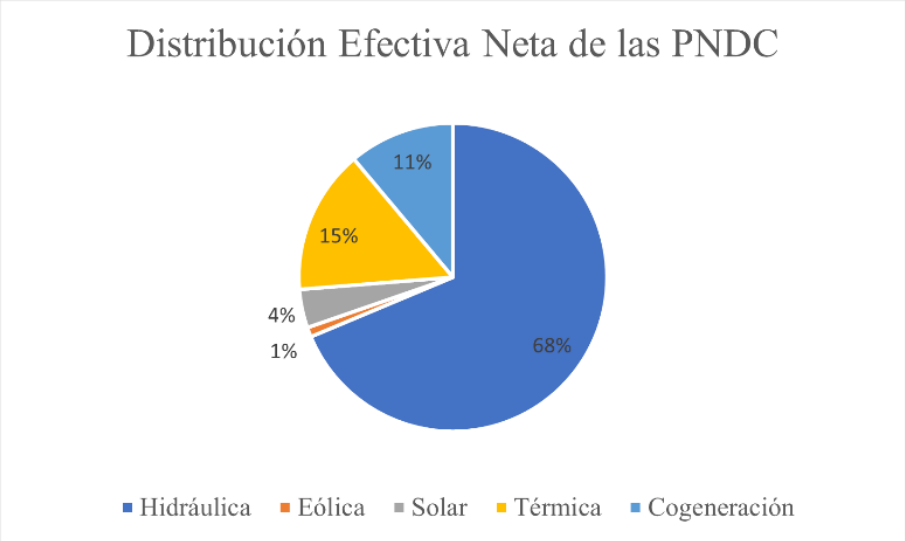
que las grandes centrales hidroeléctricas, posee una imagen que el tiempo y los estudios se encargarán de deteriorar.

Figura 1. Capacidad efectiva neta de las PNDC



Fuente: Participación de las PNDC en el MEM, 2021

Figura 2. Distribución efectiva metal de las PNDC



Fuente: Participación de las PNDC en el MEM, 2021

i. Efectos ambientales

La creencia general sobre las PCH y sus efectos está sometida a que al igual que su tamaño pequeño, sus efectos negativos también y esto se puede verificar por medio de diferentes análisis de todos los tipos de PCH que se pueden tener en cuenta, ya que existen riesgos asociados al área de construcción, como el caso de reducción de flujo aguas abajo, a las contaminaciones causadas por el transporte, auditiva particularmente y por CO2 en el caso de vehículos de combustión. Adicionalmente, dependiendo del tamaño del proyecto, también se pueden presentar represamientos de agua e inundaciones, aunque en este caso son de tamaño pequeño, que poseen un flujo de mayor constancia, lo que a su vez evita

problemas como la falta de oxígeno en zonas bajas o incluso la proliferación de especies de mosquitos, causantes de enfermedades. Por último, se puede considerar una afectación a la fauna que habita los pequeños causes, particularmente sobre los peces, pero, de nuevo es un efecto negativo de poca relevancia, porque este tipo de causes no se consideran hogar de muchas especies, mucho menos de carácter endémico, además, poseen una relación muy pequeña con actividades económicas o de alimentación, por lo cual, tampoco las comunidades cercanas encontrarán en los proyectos, una afectación de carácter importante (Tasneem et al., 2010). Por afectaciones como la anterior, es necesario que los países tomen como un tema de importancia, la regulación de los proyectos de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, como el caso de Grecia y su Principio de prevención de daño ambiental del CoS (Council of State), importantes para que los proyectos, desde los puntos de formulación, estén encaminado hacia la sostenibilidad y el balance de sus tres aspectos (Tsoutsos et al., 2006).

Es clara la diferencia entre los efectos negativos de una hidroeléctrica convencional y una PCH, diferencia que se encuentra entre las principales características de este tipo de construcciones y su connotación como amigable con el medio ambiente. Pero, existe también un aporte en tema ambiental, un poco ligado a la parte regulatoria, pues, con al aumento masivo en el uso de este tipo de plantas, a nivel global se empieza a convertir en una necesidad, la creación de leyes que permitan incentivar el uso y promoción de estas, enmarcadas en la sustentabilidad y con una característica que ya se utiliza en muchos países, la certificación verde, que varía entre territorios, pero se basa en un punto en específico, hacer de las nuevas tecnologías de generación, sistemas controlados en cuanto al tema de emisiones y contaminación, lo que a su vez, obliga a quienes formulan este tipo de proyectos, a trabajar sobre un marco establecido y que genere un sistema mucho más ecológico y amigable (Shiji et al., 2021).

ii. Efectos sociales

Este puede ser el aspecto en el que resalta mucho la diferencia no solo entre una hidroeléctrica convencional y una PCH, también es la razón principal por la cual este tipo de proyectos se encuentran socialmente aceptados en un nivel mucho mayor. Como se mencionó en el apartado de efectos sociales de las hidroeléctricas, los desplazamientos causados por estas y los procesos de inundación, representan una motivación para quienes tienen una posición en contra, desplazamientos que en el caso de una PCH no se presenta, ya que tanto en los modelos a filo de agua como de pequeños embalses, no es necesario realizar procesos de inundación de áreas extensas, logrando de esta manera una grado de convivencia entre las comunidades y las plantas (Hennig et al., 2013). Por otro lado, se encuentra una razón que respalda la formulación de estos proyectos, esta se basa en el desarrollo de las comunidades y las regiones, respaldadas en los beneficios que aporta el tener acceso a la energía eléctrica, como el caso de generación de empleo, acceso a comunicaciones, alcanzar un nivel energía estable, acceso a derechos básicos como educación y salud, fomentar actividades de turismo y crecimiento de la economía (Sharma et al., 2017). Son todos los beneficios mencionados anteriormente, los que generan que los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos se conciban como métodos de generación importantes en las regiones aisladas, además de poder utilizarse como motor de desarrollo y por lo cual, el aspecto social es un respaldo importante de las PCH como tecnologías sustentables.

iii. Efectos económicos

En lo concerniente a este aspecto, la construcción de una PCH generalmente no se realiza con la finalidad de hacer parte un sistema interconectado o participar de los mercados energéticos mayoristas, por el contrario, como se ha mencionado en varias ocasiones a lo largo de este documento, la finalidad de este tipo de proyectos es aportar un nivel de calidad de vida a las regiones más apartadas, donde el acceso a la energía eléctrica ha sido nulo o presenta falencias, además de lograr hacer aprovechamiento de afluentes de agua pequeños. Por tal razón, las actividades económicas más impactadas por este tipo de plantas son aquellas realizadas por la comunidad, como el caso del comercio privado (Sharma et all.,

2017). Y de forma indirecta, con el acceso a la energía eléctrica, las regiones pueden hacer uso de tecnologías para promocionar el turismo, lo que puede llegar a representar un beneficio económico. Finalmente, en la construcción de una PCH se necesita mano de obra para diferentes actividades, entre las que se encuentran los trabajos sobre la misma planta o generalmente para las vías de acceso a esta, lo que también representa un beneficio para toda una región.

c. Balance del modelo de transición

Se entiende que entre las hidroeléctricas a gran escala y las plantas de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos existen unas diferencias marcadas sobre los tres aspectos de la sustentabilidad, y, de acuerdo con lo presentado anteriormente, tanto a nivel individual como comparativo, la relevancia de los aspectos no es igual y por el contrario existe una imposición de algunos. No obstante, no se puede olvidar que la finalidad de la sustentabilidad es buscar el equilibrio entre aspectos, sociales, económicos y ambientales, razón por la cual, en este documento se realiza un análisis desde las perspectiva colombiana, que posee una características y necesidades específicas, por lo cual, se plantean clasificaciones de ponderación para cada aspecto, cuya finalidad será dar respuesta afirmativa o negativa a la pregunta ¿Son las PCH un método sostenible de diversificación respecto a las grandes centrales hidroeléctricas?

Para realizar la ponderación, las perspectivas de la sustentabilidad se abarcarán bajo tres criterios cada una, con lo cual se espera aterrizar los conceptos a una realidad de país y de esta manera asignar los valores más adecuados y de la forma más objetiva posible.

Tabla 2. Categorización para ponderación

A	B	C	D
1	0.8	0.5	0.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Consideraciones positivas para ponderación

Aspecto	Económico	Social	Ambiental
1	Crecimiento económico sobre una población de mayorías absolutas	Electrificación a comunidades cercanas	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero
2	Generación directa de empleo sobre una población minoría	Desarrollo de comunidades	Generación de energía limpia
3	Generación indirecta de empleo sobre una población minoría	Apertura a otras obras de infraestructura	Control de inundaciones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Consideraciones negativas para ponderación

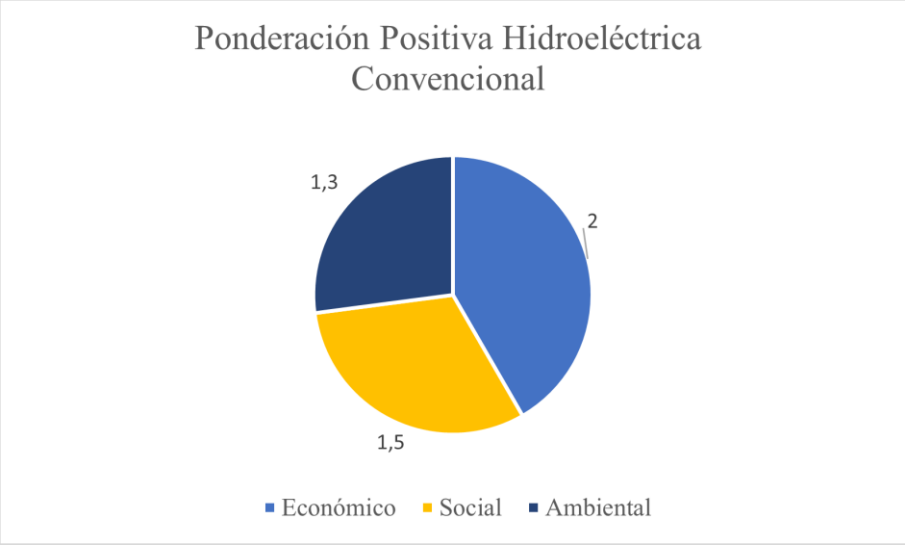
Aspecto	Económico	Social	Ambiental

1	Pérdida de predios a causa de inundaciones	Desplazamiento de comunidades cercanas	Emisión de gases de efecto invernadero
2	Actividades agrícolas sin irrigación	Conflicto con entidades territoriales	Nivel de inundación requerido
3	Actividades de pesca reducidas	Cambios en la dinámica social por la llegada de trabajadores externos a la zona	Daño en flora y fauna de la fuente de agua

Fuente: Elaboración propia

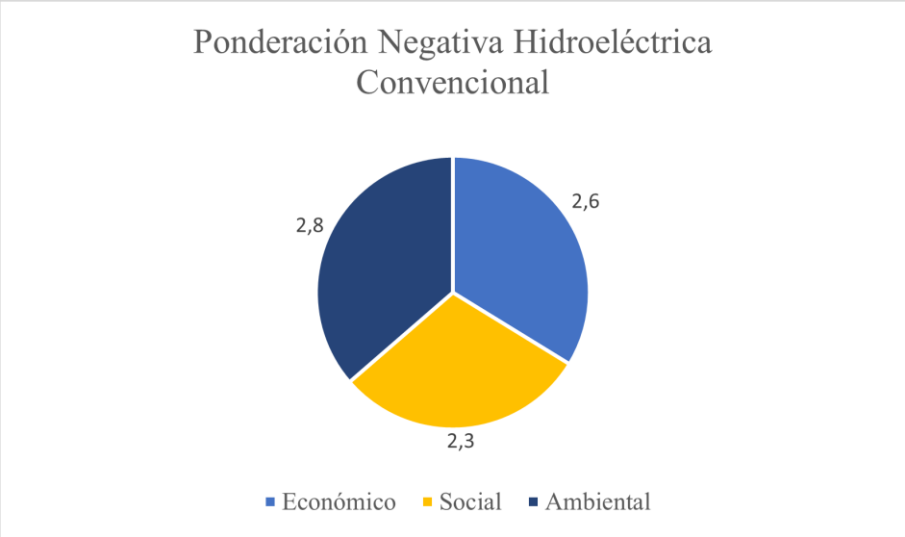
Inicialmente, se realiza una individualización sobre cada tecnología de generación, con la cual se espera comparar la importancia de los diferentes aspectos, estudiados desde una perspectiva de formas de generación con efectos positivos y negativos.

Figura 3. Ponderación positiva en hidroeléctrica



Fuente: Elaboración propia

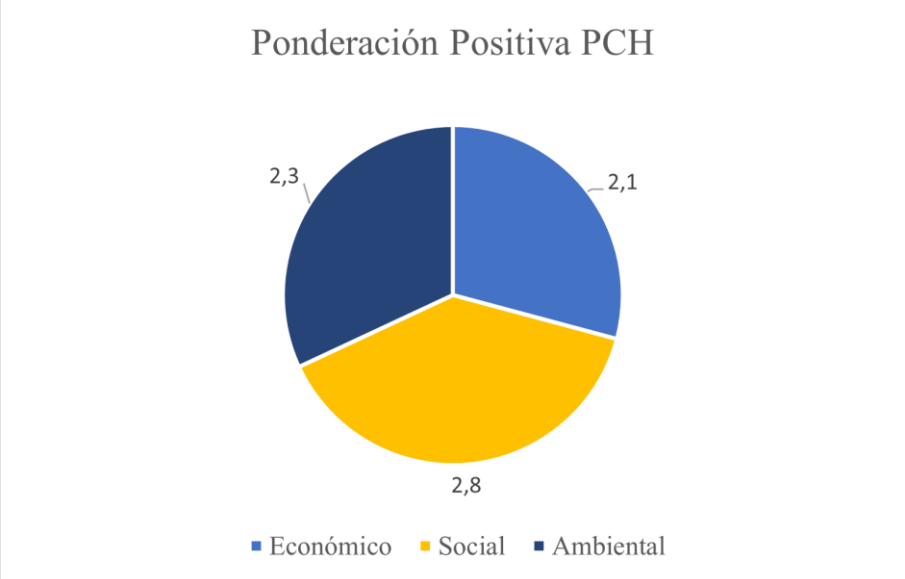
Figura 4. Ponderación positiva en hidroeléctrica



Fuente: Elaboración propia

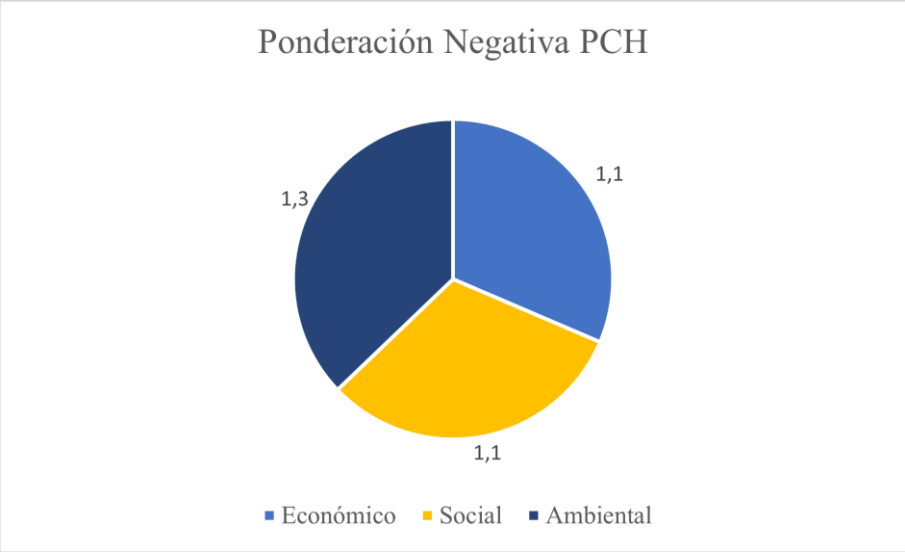
Estos resultados demuestran unos notables efectos negativos generados a partir de la construcción de grandes centrales hidroeléctricas, teniendo en cuenta que, de los tres aspectos de la sustentabilidad, ninguno predomina en el escenario de tecnología de generación con efectos positivos y por el contrario, hay un acercamiento hacía una gran problemática ambiental, demostrada en la Fig 5. Adicionalmente, los problemas sociales también se muestran como un tema que se debe tener en cuenta en la formulación de proyectos, porque no puede concebirse un método de generación que por un lado sea fuente de desarrollo para un sector de la sociedad y por otro, represente un peligro para otro. Por último, el aspecto económico no se queda atrás y también se muestra afectado por estos proyectos, particularmente por los daños a las actividades de producción de las comunidades.

Figura 5. Ponderación positiva en PCH



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Ponderación negativa en PCH

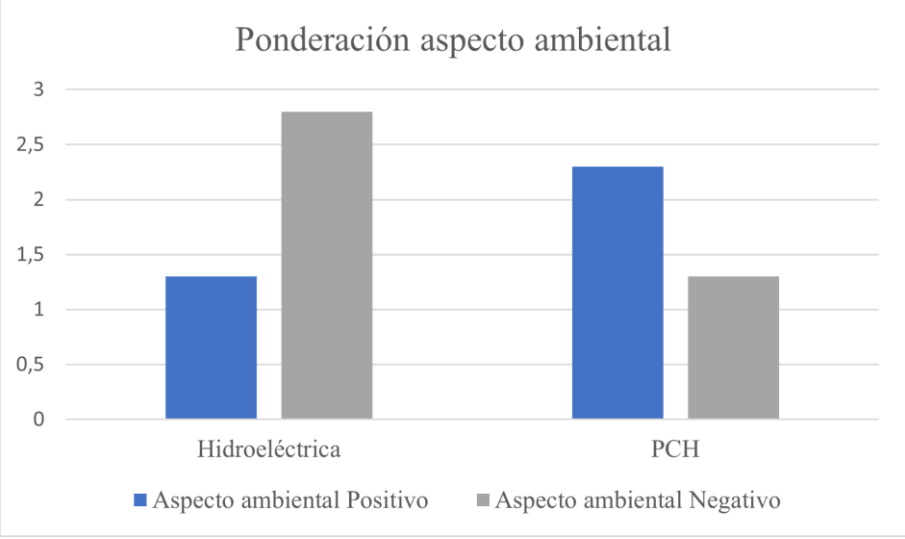


Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las PCH, los resultados son más favorables en el tema social, con un incremento importante en los efectos positivos respecto a los negativos, incluso siendo el aspecto con mayor ponderación, lo cual representa un nivel de conexión con la parte social, muy bueno, además de la posible aceptación por parte de las comunidades que este representa. Por el lado ambiental, los dos ítems con mayor puntaje son aquellos de mayor preocupación por parte de los gobiernos e incluso de las organizaciones ambientales, la reducción notable de las emisiones de gases de efecto invernadero, solucionando el problema de generación de metano, convirtiendo así, a las PCH en formas de generación limpias. Finalmente, el factor económico se ve sorpresivamente bien beneficiado con estos proyectos, siendo un aspecto que principalmente, es el encargado de respaldar la formulación de este tipo de plantas, buscando niveles de economía más altos en las comunidades.

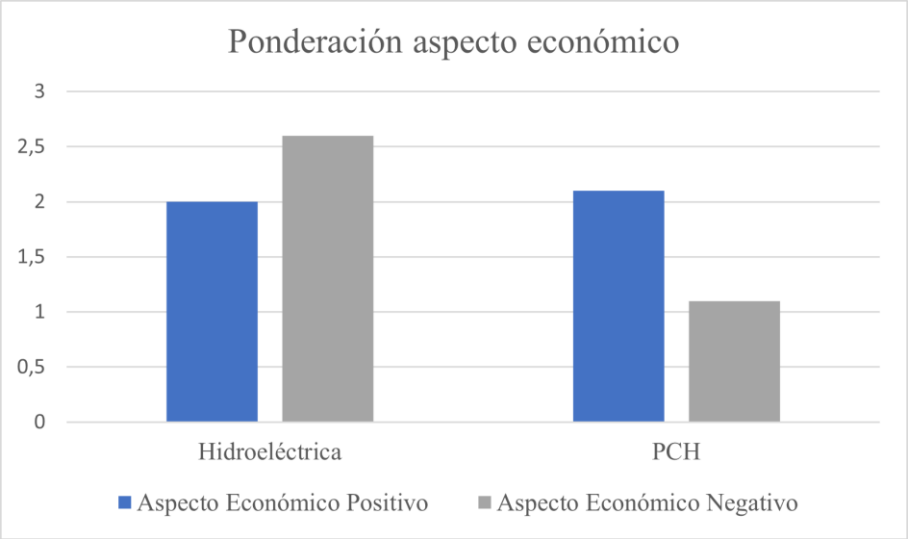
Entonces, una vez analizadas de forma individual cada una de las tecnologías de generación hidráulica, se puede llegar a un balance de las ponderaciones realizadas, como se muestra en las Fig. 7, 8,9.

Figura 7. Ponderación aspecto ambiental



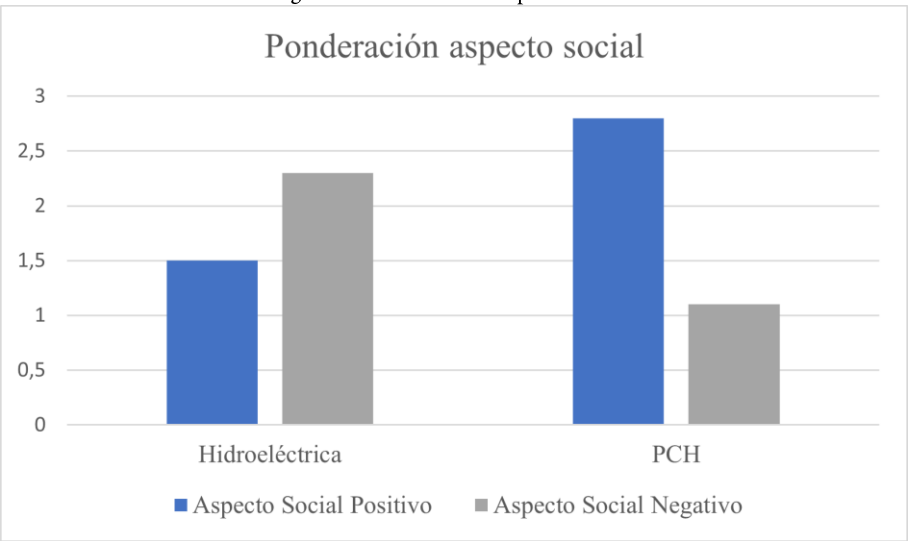
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Ponderación aspecto económico



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Ponderación aspecto social



Fuente: Elaboración propia

Estos resultados claramente pueden corroborar la hipótesis de las PCH como método de diversificación más sustentable que las hidroeléctricas a gran escala, predominando en todos los aspectos, sociales, económicos y ambientales y permitiendo clarificar que a pesar de que las hidroeléctricas poseen niveles de generación importantes, existen métodos con un potencial muy grande para tenerse en cuenta en la matriz de generación, esperando una participación mayor hacia futuros años. Se debe aclarar que, en el presente estudio, la sustentabilidad es la principal pieza de estudio y los resultados obtenidos se encaminan bajo sus tres aspectos, razón por la cual, el tema de potencial de generación es poco tratado, entonces, este estudio debe apoyarse de otros que verifiquen los resultados en conjunto con investigaciones que abarquen dicho aspecto.

4. Conclusiones

Como se pudo verificar dentro del proceso de estudio, existe una amplia diferencia entre los impactos generados por una hidroeléctrica convencional y una PCH, particularmente, el equilibrio que busca la sostenibilidad es afectado directamente por las motivaciones económicas, donde aparece una diferencia marcada entre la importancia que se da a los sectores más numerosos de una sociedad sobre aquellas

comunidades más apartadas y con menor participación en actividades económicas. Es de vital importancia que, en los procesos de diversificación de una matriz eléctrica, la regulación juegue un papel fundamental, porque es gracias a los límites establecidos y las metas a corto y largo plazo, que los grandes proyectos hidroeléctricos pueden llegar a reducir los niveles de repercusión sobre las comunidades.

Adicionalmente, para el proceso de diversificación de la matriz eléctrica, se debe tener en cuenta la gran cantidad de aprovechamiento hídrico que se puede realizar al hacer uso de pequeñas, micro y pico centrales hidroeléctricas, partiendo de las leyes ya establecidas para el caso colombiano, pero, teniendo en cuenta que se pueden generar más restricciones o recomendaciones para el aspecto ambiental y los efectos causados. También, es importante tener en cuenta que la finalidad de este tipo de plantas no es aportar con cantidades masivas de recurso eléctrico al sistema interconectado nacional o hacer parte del sistema nacional de despacho, la finalidad de estos aprovechamientos es llegar a las zonas más apartadas a brindar mejor calidad de vida e incremento en el desarrollo de las regiones con grandes problemas de conexión o acceso a infraestructura de energía eléctrica.

Como recomendación, para la formulación de proyectos enfocados en la construcción de plantas de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, se debe tener en cuenta a las comunidades afectadas, tanto para el área de construcción como para la implementación y mantenimiento, lo que puede llegar a permitir que se presente un sentimiento de apropiación por el recurso y todos los beneficios que se pueden tener gracias a este. De esta forma, el aspecto social tendrá una disminución en su afectación y por el contrario, las comunidades estarán presentes en lo que se puede convertir en un buen motor de desarrollo.

Referencias

Abidur Rahman, O. F. (10 de 03 de 2022). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean and osmotic. *ELSEVIER*, 29. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279

Ameesh Kumar Sharma, N. T. (29 de 05 de 2017). Assessing the impact of small hydropower projects in Jammu and Kashmir: A study from north-western Himalayan region of India. *ELSEVIER*, 15. Obtenido de http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.285

Carlos ROBLES Algarin, O. R. (30 de 04 de 2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Revista Espacial*, 16.

Caroline C Arantes, D. B. (24 de 05 de 2019). Impacts of hydroelectric dams on fishes and fisheries in tropical rivers through the lens of functional traits. *ELSEVIER*, pág. 13. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.009

Carroll, R. (10 de 05 de 2011). Protest after Chile backs against dams in Patagonia's Valleys. *The Guardian*, pág. 8.

Centro Nacional de Memoria Histórica. (NA). *Por qué pasó lo que pasó en San Carlos*. Bogotá: Centro Nacional de Memoria Histórica.

Christian Martínez Neira, G. D. (2018). Coaliciones interétnicas, framing y estrategias de movilización contra centrales hidroeléctricas en Chile: ¿Qué podemos aprender de los casos de Ralco y Neltume? *MARLAS*, 30. doi:https://doi.org/10.23870/marlas.180

Chu Shiji, S. D. (09 de 07 de 2021). Greening small hydropower: A brief review. *ELSEVIER*, 10. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100676

Conglin Zhang, S. C. (11 de 04 de 2020). Small hydropower sustainability evaluation for the countries along the Belt and Road. *ELSEVIER*, 16. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100528

Corzo-Arévalo, D. (30 de 06 de 2020). A guideline proposal to formulate an environmental policy for tourism in the Topocoro reservoir in Colombia. *RIAT*, 13. Obtenido de http://dx.doi.org/10.4067/S0718-235X2020000100002

Dursun Bahtiyar, C. G. (2010). The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants. *ELSEVIER*, 9. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.001

Editor, L. t. (2015). An overview of small hydropower plants in Colombia: Status, potential, barriers and perspectives. *ELSEVIER*, 8. Obtenido de http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.026

Fearnside, P. M. (19 de 12 de 2013). Impacts of Brazil's Madeira River Dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *ELSEVIER*, pág. 9. Obtenido de http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.004

FEARNSIDE, P. M. (2016). Environmental and Social Impacts of Hydroelectric Dams in Brazilian Amazonia: Implications for the Aluminum Industry. *ELSEVIER*, 18. Obtenido de http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.08.015

Ingfocol Ltda. (2015). *Atlas de potencial hidroenergéticos de colombia*. Bogotá, Colombia: UPME.

Jean-Étienne Klimpt, C. R. (2002). Recommendations for sustainable hydroelectric development. *ELSEVIER*, 8.

Karokaro, A. S. (14 de 09 de 2017). Protest against hydropower plant in Sumastra ends with injuries. *Mongabay*, 6.

López, W. B. (2022). *DISEÑO DE UNA PCH PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA APROVECHANDO EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A RIOHACHA DISTRITO TURÍSTICO Y CULTURAL*. Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica. Rioacha: Universidad Antonio Nariño.

M. Premalatha, T.-A. T. (14 de 12 de 2013). A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations. *ELSEVIER*, 6.

María Isabel Pareja-Carmona, L. F.-S.-N.-F.-L.-J.-R. (27 de 11 de 2014). Áreas de reproducción de peces migratorios en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, pág. 14.

OLADE. (1980). *Metodología sintética para el cálculo y especificación preliminar de microcentrales hidroeléctricas*. NA: OLADE.

ÓPTIMA. (2021). *RESUMEN EJECUTIVO – ANÁLISIS DE LA PARTICIPACIÓN DE LAS PLANTAS NO DESPACHADAS CENTRALMENTE EN EL MERCADO DE ENERGÍA MAYORISTA*. NA: ÓPTIMA.

Oviedo-Ocaña, E. R. (Septiembre de 2018). Las Hidroeléctricas: efectos en los ecosistemas y en la salud ambiental. *Revista Salud UIS*, 2. Obtenido de http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v50n3-2018003

Pérez, A. P. (23 de 09 de 2010). La construcción de asentamientos humanos precarios en zonas de inundación y la conservación de cauces de río. *Universidad Industrial de Santander*, pág. 39.

Rocha, H. J. (2016). La multiterritorialización del conflicto de las hidroeléctricas: los reasentamientos como puntos de empoderamiento del movimiento de los afectados por represas. *Estudios Sociológicos XXXIV*, 36.

SIERRA, R. A. (2013). *INVENTARIO DOCUMENTADO DE REPRESAS EN COLOMBIA*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Simón Cortés, A. A. (Julio de 2018). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Energéticas*, 17. doi:rces.v25n38.a7

Tasneem Abbasi, S. A. (22 de 11 de 2010). Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. *ELSEVIER*, 10. doi:10.10106/j.rser.2010.11.050

Theocharis Tsoutsos, E. M. (8 de 12 de 2006). Sustainable siting procedure of small hydroelectric plants:. *ELSEVIER*, 14. doi:10.1010/J.ENPOL.2006.10.015

Thomas Hennig, W. W. (07 de 08 de 2013). Review of Yunnan's hydropower development. Comparing small and large hydropower projects regarding their environmental implications and socio-economic consequences. *ELSEVIER*, 11. Obtenido de http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.023

Universidad de Valencia. (2015). *ELECTRICIDAD, DESARROLLO RURAL Y BUEN VIVIR*. Universidad de Valencia. Ciudad de México: Universidad de Valencia.

GIPEM
Grupo de Investigación en Potencia, Energía y Mercados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA