

Planeación de pequeñas hidroeléctricas como eje de energía limpia y generación de crecimiento social y económico con compromiso ambiental

Juan Esteban Holguin Valencia - Luis David Cárdenas Valbuena
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

La inevitabilidad del paso del tiempo junto con el crecimiento vertiginoso de nuevas tecnologías en la actualidad impone un gran reto al sector eléctrico, que debe responder al crecimiento de la demanda energética derivada del de nuevos desarrollos tecnológicos y a los criterios de sustentabilidad que relacionan las dimensiones ambiental, social y económica de la generación de energía eléctrica. Cuando la revolución industrial comenzó la demanda de energía era principalmente calórica, la demanda eléctrica inició con el siglo XIX y las primeras plantas de generación hidroeléctrica estaban en las cataratas del Niágara (Belfield R., 1976). En esa época la población que gozaba del servicio eléctrico no imaginaba la importancia que tendría el recurso hídrico en el desarrollo económico y social en la época contemporánea. En la que el uso de aparatos eléctricos y electrónicos hace parte de la vida cotidiana y los sectores industrial, comercial, entre otros, dependen de su operación para ofrecer bienes servicios. En esa misma época la sustentabilidad de la energía eléctrica y la posterior producción producida no representaba un eje principal en la planeación ni la implementación de estas, puesto que los recursos naturales parecían inagotables y nadie quería ver reducido el factor económico de su trabajo, hasta que se entendió la finitud de los recursos naturales y el impacto que las malas prácticas pueden causar al ambiente. Proyectando la vida a un futuro próximo es notable que la demanda será creciente (Castillo, V. Z.,2022) y surge el reto para los ingenieros electricistas, que tendrán que lidiar con el problema para evitar un desabastecimiento y junto con las otras profesiones brindar nuevas posibilidades para la construcción de un futuro deseado.

GIPEM 11, diciembre (2023)
pp. 85-92
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de
Colombia

Sabiendo ya, cual es la importancia de la energía eléctrica, se discutirá el papel específico de las pequeñas centrales hidroeléctricas en la generación de energía en el futuro, riquezas hídricas como lo es Colombia. Definiendo estas

plantas de generación hidráulicas pequeñas o pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) descritas en el Plan Nacional de Desarrollo contenido en la ley 2294 de 2023 como toda aquella menor a 50MW (Congreso de la república de Colombia, 2023 ley 2294 de 2023, artículo 5 numeral 3.); se demostrará como estos tipos de centrales son la mejor opción para el desarrollo del sector energético en el país. Entonces, primero se hará la explicación del funcionamiento de una central hidroeléctrica, que tipos hay y que impactos ambientales conlleva cada una de ellas. Destacan dos tipos, las centrales de embalse y las centrales de pasada; mientras que en las de embalse se crea una presa para generar un cuerpo de agua de reserva y así controlar el cauce de un río que se vierte según la demanda de energía, aprovechando la energía potencial que guarda el agua debido a la gravedad, las centrales de pasada o filo de agua aprovechan la energía cinética del río mismo para mover una turbina que se conecta a un generador (Tkáč Š., 2018.).

Ahora, mirando ambos tipos de centrales hidroeléctricas, podemos ver que el impacto ambiental es imposible de anular, pero con una correcta planeación si puede ser reducido a su mínima expresión, como se hablará más adelante, y este a su vez es mucho menor que otros tipos de plantas generadoras como las termoeléctricas. Pero incluso la diferencia ambiental entre las plantas de generación hidroeléctrica con represas y las de pasada es muy grande entre sí, no solo porque el tamaño de ambas suele diferir debido a la cantidad de potencia que se requiera generar, sino porque realizar una planta de embalse tiene un impacto grande, no solo la construcción en sí misma, sino también que esta viene acompañada de una posible generación de gases de efecto invernadero por la gran cantidad de materia orgánica en descomposición en la parte que se inunda la presa; otro factor se da en zonas tropicales donde hay proliferación de vectores de enfermedades como los mosquitos con la malaria; el impacto en la conectividad del ecosistema; las nuevas rutas que deben tomarse tanto para las personas como para los animales; y el desplazamiento masivo de personas para su construcción (Von Sperling, E., 2012.).

El impacto de las centrales hidroeléctricas de pasada aunque menor que su contraparte, no es cero, como ya se dijo, y este tiene las siguientes consecuencias: la depleción del agua y alteración de régimen de flujo que ya que se desvía parte del caudal por la tubería, dejando tramos de río con flujo reducido entre la presa y punto de retorno; otra de las consecuencias es la mortalidad de algunas especies de peces debido a la maquinaria de la represa; además de impactos en la calidad del agua y un deterioro geomorfológico provocado por los sedimentos aguas arriba de la planta por retención de parte de la presa, causando aumento de erosión aguas arriba y sedimentación excesiva aguas abajo que afecta invertebrados y freza de peces, asimismo, la descomposición de materia orgánica sumergida puede disminuir oxígeno y liberar metano y CO₂, contribuyendo al cambio climático (Kuriqi A., 2021); comparando estas consecuencias con las que conlleva la construcción de una hidroeléctrica de represa se concluye que la mayoría de estos no solo son menos dañinos para el medio ambiente, sino que pueden ser evitables en el momento de la planeación, consiguiendo que en la zona indicada y con la implementación correcta de los estudios de viabilidad se pueda lograr una forma de energía con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (Almeida R. M., 2019).

Gracias a las nuevas tecnologías, y a la necesidad de ir un paso adelante de las consecuencias de las centrales hidroeléctricas como las mencionadas en el párrafo anterior, con el fin de reducirlas al mínimo, se ha implementado un desarrollo usando análisis computacional, que juega un papel notable en la planeación de estas, puesto que a diferencia de las evaluaciones de estudios anteriores, cuando salían a la luz las limitaciones tecnológicas, estos nuevos análisis permiten cuatro principales mejoras (Almeida R. M., 2022) (Abgottspon H., 2016), estas son: Una amplia gama de métricas, se sabe que una computadora es capaz de almacenar y trabajar con muchos más datos de forma simultánea que un humano por sí solo, manejando grandes conjuntos de información, incluyendo otras variables como la biodiversidad del ecosistema donde se planea la construcción. También incorporando modelos predictivos que mediante operaciones matemáticas pueden prever posibles impactos a largo plazo, evitando desde el inicio las consecuencias que estas generarían. Escalas espaciales ampliadas que permiten hacer análisis a gran escala abarcando cuencas fluviales completas con sus respectivas

regiones, entendiendo todos sus efectos ambientales y económicos, y haciendo un mapeo detallado a estas mismas áreas. Optimización de decisiones en donde mediante simulaciones se pueden probar distintos escenarios escogiendo el que maximice las ventajas y minimice los costos y un estudio de sensibilidad permitiendo dar más de un enfoque al análisis y mirándolo desde un punto multidimensional. Incorporación de la fluctuación del clima usando el análisis computacional que permite incorporar el cambio climático como otra dimensión para ver sus patrones, comportamientos y consecuencias debido a los proyectos de centrales que se tengan.

Después de confirmar que sí es posible prevenir los impactos de las hidroeléctricas a nivel ambiental, se plantea la cuestión de por qué no son seleccionadas las obras que más beneficios generan con la menor cantidad consecuencias negativas, esto puede ser explicado con la suposición de que socialmente se refuerza constantemente el ideal de progreso como la capacidad de construir deslumbrantes obras, lo que conlleva a pensar que los mega proyectos de centrales hidroeléctricas son el futuro de generación en la sociedad, y como se ha visto, estas no son la mejor opción, ya que aunque su costo por MW va a tender a ser más barato en términos económicos (Irena I., 2018.), sus impactos ambientales serán mucho mayores; además algo que no suele tenerse en cuenta es que los proyectos con grandes centrales hidroeléctricas sufren de un sistemático costo de retraso y de sobrecostos, como se muestra en un estudio de Oxford acerca del desarrollo de megaproyectos de centrales hidroeléctricas en tres de cada cuatro grandes presas, los costos reales resultaron en promedio un 96 % más altos que las estimaciones, con una mediana del 27 % y una dispersión considerable, indicando una subestimación sistemática de los costos. Además, al examinar la distribución de sobrecostos, se observa que para el 20 % de las presas, los costos reales duplicaron las estimaciones, mientras que para el 10 %, superaron el triple. También se encontró que las presas grandes tardan en promedio 8.6 años en completarse, y ocho de cada diez presas sufren retrasos en sus cronogramas de construcción, con una duración real que fue en promedio un 44 % más larga que la estimada, lo que representa aproximadamente 2.3 años adicionales. Estos resultados resaltan la tendencia persistente hacia la subestimación y los retrasos significativos en los proyectos de grandes presas (Ansar A., 2014) (Wild T. B., 2019).

Se sabe que una dimensión que no se puede dejar atrás en cualquier tipo de obra civil por más beneficios que le vaya a traer a la sociedad es el impacto social que provocará a la gente de la zona donde será construido, las personas y la forma que se tenga de conciliar con ellas determinará la efectividad del proyecto. Colombia se destaca por la falta de conciliación que tiene cuando busca entablar acuerdos para llevar a cabo un proyecto, puesto que en un lado solo ven los recursos naturales como números que subirán en una cuenta bancaria y los otros ven cualquier tipo de intervención tecnológica como pura perversión del ser humano con la naturaleza. Como consecuencia de lo anterior, los proyectos de generación hidráulica en el mundo suelen tener la constante de violencia hacia los líderes sociales que buscan la protección de las comunidades y su biodiversidad, y aunque muchas veces este miedo viene acompañado de un desconocimiento real de las consecuencias o una completa visión extremista hacia la conservación, no se puede ignorar que estas comunidades son una parte importante en el desarrollo de los proyectos, y el correcto acompañamiento y asesoramiento de estos haría avanzar los procesos de puesta en marcha mucho más rápido, por el contrario, lo que pasa es que la resistencia pacífica de estas comunidades es reprimida violentamente, en donde principalmente inversionistas a través de terceros amenazan y hasta acaban con la vida de estas personas con tal de imponer su visión y el proyecto por delante (Del Bene D., 2018).

A la hora de la construcción se muestra que es mucho más fácil partir de una negociación con las comunidades cuando la obra civil a construir es una central hidroeléctrica de pasada, a diferencia de su contraparte, las centrales de presa, puesto que sus consecuencias tienen afectaciones menos marcadas en la vida de las personas que allí habitan. Para lograr entonces la aprobación en los proyectos se puede evidenciar en diversos estudios como una consulta inicial puede ayudar a disminuir la resistencia inicial de las comunidades y poder dar de primera mano la explicación del funcionamiento y del proceso de construcción antes que se vuelva un tema tabú debido a la desinformación y luego nadie sea capaz de

sacar la idea implantada en la mente de estas personas (Wang, S., 2019), (Mbaka J. G., 2015). Así como las comunidades son una parte fundamental en la planeación y hay que darles voz para expresar sus inquietudes y servir de primera mano como herramienta pedagógica no podemos olvidarnos de los integrantes del ecosistema que no tienen voz para expresar sus inconformidades, como lo es la fauna nativa. De hecho, esta misma fauna es mucho mejor indicativo para detectar impactos de la construcción de la planta río abajo, puesto que las variables fisicoquímicas del agua no tienen una gran variación en las PCH mientras que la abundancia de macroinvertebrados sí lo es (Lange K., 2018). Ahora, en el caso de los vertebrados sabemos gracias a un estudio que la construcción de centrales hidroeléctricas, sobre todo las de represa, tienen un gran impacto en la fauna del lugar, puesto que estas aíslan las poblaciones de peces acarreando consigo consecuencias genéticas negativas como la pérdida de genotipos localmente adaptados en las poblaciones de peces, la reducción de la diversidad genética, y el aumento de la consanguinidad, la depresión endogámica y la homocigosidad (Cunha, J., 2014).

Ahora bien, ya se ha hablado de los ejes ambientales y sociales enfocados en las PCH, pero no podemos olvidar que, sin una viabilidad económica para la construcción de estas, ningún inversionista estaría dispuesto en apostar en su desarrollo. Realizando una búsqueda acerca de la viabilidad económica de las PCH en otros países, como se evidencia en un estudio hecho en Portugal se concluye que el proyecto es viable solo si se aplica un esquema de tarifa regulada que respalde los precios del mercado en dicha zona; si se extrapola este modelo a Colombia se puede concluir que la vulnerabilidad en la inversión llega a ser similar, requiriendo también esta tarifa como parte del retorno de la inversión del proyecto, lo que nos lleva a preguntarnos si es rentable para el estado como ente regulador apoyar este tipo de proyectos, y se concluye que sí, puesto que las PCH pueden mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico ya que su funcionamiento no dependería de una presa sino directamente del caudal del río, minimizando el impacto que tiene el fenómeno de El Niño en el país (Borges C. L., 2008).

Ahora, se plantea que el lugar principal en donde estas plantas funcionarían y su rentabilidad tanto económica como ambiental aumentarían sería en las áreas que no están interconectadas en el país, en donde su principal fuente de generación de energía actual son los combustibles fósiles, que dan energía con un costo muy alto, y una transición a PCH sería ideal, aumentando así el porcentaje de energía eléctrica del país que se produce con energías renovables, abaratando costos de producción y disminuyendo la huella de carbono en el país (Liu H., 2013) (Jimenez Toro J. A., 2022). Hoy en día se manejan herramientas para acertar en la toma de decisiones para la construcción de estas plantas que incorpora incertidumbre en variables como hidrología, geología, demanda, precios y analiza riesgos con simulación de escenarios; tomando en cuenta términos como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN), la primera es la tasa de interés o rentabilidad que devuelve la inversión durante su vida útil y la segunda es el valor actual de los flujos de caja futuros que genera un proyecto, descontados a una tasa de interés determinada; para que un proyecto sea rentable el VPN debe ser mayor a 0 y el TIR mayor a la tasa de descuento (Gil Zapata M. M., 2004).

Después de tener la viabilidad económica como uno de los pilares en la planeación de las plantas hidroeléctricas se muestra como nuevas tecnologías entran al desarrollo para que sea más atractivo para los inversionistas y más útil para los clientes, un ejemplo de estas nuevas tecnologías será la electrónica de potencia, que jugará un papel importante en la planeación, implementación y en el desarrollo de estas nuevas generadoras planteadas, debido a que mejora y optimiza diversos aspectos así como controlar la velocidad variable de las turbinas, reemplazando los controles mecánicos por convertidores electrónicos, facilita la integración a la red eléctrica puesto que adaptan los parámetros de la turbina a los requeridos por esta, permiten arranques controlados mejorando los transitorios de las máquinas, reducen armónicos, otorga capacidades avanzadas de control que permiten optimizar la operación y participan en la regulación de frecuencia y voltaje de la red y posibilita el funcionamiento en modo islas de la central en caso de fallo de la red (Singh R. R., 2014). Pero no solo eso, esta misma tecnología podría cambiar el paradigma de la transmisión de la energía eléctrica implementando convertidores de potencia, que se usarían para aprovechar mejor el potencial hídrico de sitios que en el presente no

pueden ser rentables, eso sí, esperando una bajada de precios de estos dispositivos, puesto que en la actualidad no se consigue encajar en los presupuestos o no representan mejoras lo suficientemente grandes como para ser incluidos en la planeación y ejecución de estos proyectos (Hell J., 2017).

Una gran ventaja de no ser los pioneros en implementar ciertos tipos de tecnologías o proyectos como las PCH es que se puede analizar su impacto en otros lugares del mundo y poder comparar los parámetros extranjeros con los locales e intentar extrapolar sus consecuencias. En el caso de India, el gobierno tomó el porcentaje del potencial desarrollados de este tipo de plantas y según eso priorizó su aumento, sabiendo que aún faltaba mucho por explotar; pero no solo eso, en tanto a prevención de desastres naturales se relacionó la construcción de hidroeléctricas con la irrigación o riego, prevención de inundaciones y beneficios para la pesca si en su proyección se incluía un plan para evitar los riesgos mencionados anteriormente. Entre algunos otros beneficios se ve como Colombia a pesar de no ser un país tan similar a India ni en tamaño ni en geografía, puede extrapolar beneficios y aplicarlos en su planeación, para así tener unos referentes de investigación para la construcción de estas plantas e incentivos para el crecimiento del sector energético (Nautiyal H., 2011).

Colombia como un país con proyectos de transición a fuentes de energía renovable se dedicó a crear hace ya un tiempo la Ley 697-2001, en donde entre muchas otras cosas se crea un programa llamado *Proure*, el programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales, cuyo propósito es introducir paulatinamente programas y medidas para que toda la cadena energética, desde la producción hasta el consumo, cumpla de forma continua con niveles mínimos de eficiencia energética (Vargas F. E. S., 2011). Teniendo ya los lineamientos del gobierno para la planeación de los diferentes proyectos energéticos en el futuro, debemos visionar como será este, y si los recursos hídricos seguirán teniendo la importancia que ya tienen hoy en día. Los estudios dicen que para el año 2050 se estima un crecimiento en el sector de la energía hidráulica, en torno a 1500 - 2000 GW adicionales, donde más de 700GW se encuentran en América Central y Sudamérica, generando hasta el 25% de la energía global y reduciendo la emisión de hasta 560 GtCO₂ en el mundo (Wasti A., 2022). Todos estos beneficios para la humanidad, y en este caso específico para el territorio los separa de su realización la oposición pública y el miedo a la desinformación; con un correcto compromiso de difusión, mostrando la viabilidad de los proyectos se tendrá un futuro con energía limpia, recalando que ningún tipo de sesgos harán que el costo ambiental se elimine, y cada caso debe ser estudiado por separado para llegar a una conclusión que no solo sea acertada bajo el beneficio humano, sino justa con el medio ambiente (Dovì V. G., 2009).

A pesar de todas las alternativas anteriormente planteadas, este tema no es solo de la población, ni siquiera de los expertos en el tema, es más bien una construcción conjunta que requiere de la participación de varios actores, sobre todo de la inversión del capital y un actuar del gobierno que vaya direccionado a lo que los expertos exponen, generando una estrategia conjunta, que permita un mejoramiento en las plantas actuales para obtener una constante en la calidad del servicio de energía eléctrica prestada (Pinilla H. P., 2015), una propuesta real de mercado de energía que permita obtener ganancias de la inversión en energía y si es posible, que se sea competitivo para exportarla (Rico P. F. R., 2020). Mejorar la calidad no solo de la generación de la energía eléctrica que se produce, sino también de la forma en que se le distribuye al usuario final, que la interacción entre las compañías prestadoras del servicio y el cliente de la energía permita el crecimiento y de confianza a ambas partes para seguir construyendo el sector energético en el país en conjunto con el objetivo de su mejoramiento, que lleva al desarrollo en la calidad de vida de todos nosotros (Paime F. L., 2019).

Después de presentar de lo que se considera es una amplia visión de los parámetros a evaluar al planear la construcción de una pequeña central hidroeléctrica y hacer de esta el eje de generación de energía renovable para el futuro de Colombia o de otros países con características geográficas y topológicas parecidas, se puede concluir entonces que a pesar de la llegada de nuevas formas de generar energía que pueden parecer más novedosas y que admitimos serán necesarias por las ventajas que traen a la diversificación de la energía, la generación de energía hidráulica no será reemplazada, puesto que

representa una forma de energía renovable y bajo parámetros establecidos por autoridades ambientales, también limpia. Esta forma de generación representará entonces una parte significativa en el crecimiento de la capacidad de generación de energía del país.

No se puede dejar atrás que es pertinente y estrictamente necesario una correcta planeación en donde se tomen en cuenta parámetros ambientales, que estos puedan ser reducidos a su mínima expresión mediante estrategias en el ámbito biológico de la fauna y flora nativa; y un correcto acompañamiento a las poblaciones aledañas a las construcciones, en donde se explique de primera mano la planeación, el desarrollo y las consecuencias, tanto positivas como negativas del proyecto, y que bajo ninguna circunstancia, como se ha demostrado que pasa en la mayoría de proyectos de generación de energía hidráulica, se vuelva una guerra entre los inversionistas y las poblaciones afectadas, que deja siempre una pérdida de líderes sociales a manos de grupos al margen de la ley representantes de la gente que tendría beneficio económico en el proyecto.

Colombia es un país con mucho margen para su desarrollo a futuro, es notable entonces que en los años venideros habrá un crecimiento en la demanda de energía, para poder responder a esta demanda debe planificar su matriz energética de modo que esta cumpla con la capacidad mínima para proveer energía, es ahí entonces donde debe aprovechar sus riquezas hídricas, construyendo cada vez más centrales hidroeléctricas menores a 50MW, ya que como se demostró en este documento, son una muy buena opción por las características y objetivos del país en temas de energía eléctrica, cuidando de su medio ambiente y su talento humano. Así podrá obtener beneficios para todos y proyectarse para solo depender de energías con combustibles fósiles como respaldo de su matriz energética, en caso de que su fuente principal, la energía hidráulica por fenómenos ajenos al control humano necesite un refuerzo, con el objetivo de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente y aprovechando sus reservas de combustibles fósiles en el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes y no en el sector de la generación como tal, pues este sector puede ser alimentado por muchas otras diversas fuentes; así con planeación, trabajo conjunto y una visión del país con un enfoque ambientalmente sustentable construir una matriz energética sostenida por pequeñas plantas hidroeléctricas.

Referencias

- Belfield, R. (1976). The Niagara system: The evolution of an electric power complex at Niagara falls, 1883-1896. *Proceedings of the IEEE*, 64(9), 1344-1350.
- Castillo, V. Z., De Boer, H. S., Muñoz, R. M., Gernaat, D. E., Benders, R., & van Vuuren, D. (2022). Future global electricity demand load curves. *Energy*, 258, 124741.
- Tkáč, Š. (2018). Hydro power plants, an overview of the current types and technology. *Selected Scientific Papers-Journal of Civil Engineering*, 13(s1), 115-126.
- Von Sperling, E. (2012). Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. *Energy Procedia*, 18, 110-118.
- Kuriqi, A., Pinheiro, A. N., Sordo-Ward, A., Bejarano, M. D., & Garrote, L. (2021). Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110833.
- Almeida, R. M., Shi, Q., Gomes-Selman, J. M., Wu, X., Xue, Y., Angarita, H., ... & Flecker, A. S. (2019). Reducing greenhouse gas emissions of Amazon hydropower with strategic dam planning. *Nature Communications*, 10(1), 4281.

- Almeida, R. M., Schmitt, R. J., Castelletti, A., Flecker, A. S., Harou, J. J., Heilpern, S. A., ... & McIntyre, P. B. (2022). Strategic planning of hydropower development: balancing benefits and socioenvironmental costs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 56, 101175.
- Abgottspon, H., & Andersson, G. (2016). Multi-horizon modeling in hydro power planning. *Energy Procedia*, 87, 2-10.
- Irena, I. (2018). Renewable power generation costs in 2017. Report. *International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*. <https://www.irena.org/publications/2018/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2018>
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A., & Lunn, D. (2014). Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy policy*, 69, 43-56.
- Wild, T. B., Reed, P. M., Loucks, D. P., Mallen-Cooper, M., & Jensen, E. D. (2019). Balancing hydropower development and ecological impacts in the Mekong: Tradeoffs for Sambor Mega Dam. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(2), 05018019.
- Colombia. Congreso de la República. (2023). Ley 2294 de 2023, 19 de mayo. Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "Colombia Potencia Mundial de la Vida", Artículo 5, Numeral 10.
- Del Bene, D., Scheidel, A., & Temper, L. (2018). More dams, more violence? A global analysis on resistances and repression around conflictive dams through co-produced knowledge. *Sustainability science*, 13, 617-633.
- Nandalal, H. K. (2007, October). Importance of public participation in project implementation: upper Kotmale hydropower project in Sri Lanka. In *International Conference on Small Hydropower-Hydro Sri Lanka* (Vol. 22, p. 24).
- Wang, S., Shen, W., Tang, W., Wang, Y., Duffield, C. F., & Hui, F. K. P. (2019). Understanding the social network of stakeholders in hydropower project development: An owners' view. *Renewable energy*, 132, 326-334.
- Mbaka, J. G., & Wanjiru Mwaniki, M. (2015). A global review of the downstream effects of small impoundments on stream habitat conditions and macroinvertebrates. *Environmental Reviews*, 23(3), 257-262.
- Lange, K., Meier, P., Trautwein, C., Schmid, M., Robinson, C. T., Weber, C., & Brodersen, J. (2018). Basin-scale effects of small hydropower on biodiversity dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(7), 397-404.
- Cunha, J., & Ferreira, P. V. (2014). A risk analysis of small-hydro power (SHP) plants investments. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 2, 47-62.
- Borges, C. L., & Pinto, R. J. (2008). Small hydro power plants energy availability modeling for generation reliability evaluation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 23(3), 1125-1135.
- Liu, H., Esser, L., & Masera, D. (2013). World small hydropower development report. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/1120941>
- Jimenez Toro, J. A. (2022). Revisión de pequeñas centrales hidroeléctricas para electrificar zonas no interconectadas de Colombia (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

- Gil Zapata, M. M., Smith Quintero, R. A., & Angel Robledo, W. (2004). Análisis de inversión en pequeñas centrales hidroeléctricas. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7931>
- Singh, R. R., Chelliah, T. R., & Agarwal, P. (2014). Power electronics in hydro electric energy systems-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 944-959.
- Hell, J. (2017). Application of power electronics on hydropower generation. *Journal of Physics: Conference Series*, 813(1), 012003.
- Nautiyal, H., Singal, S. K., & Sharma, A. (2011). Small hydropower for sustainable energy development in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2021-2027.
- Vargas, F. E. S., Alarcón, A. F. S., & Fajardo, C. A. G. (2011). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. *Informador Técnico*, 75.
- Wasti, A., Ray, P., Wi, S., Folch, C., Ubierna, M., & Karki, P. (2022). Climate change and the hydropower sector: A global review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 13(2), e757.
- Dovì, V. G., Friedler, F., Huisingh, D., & Klemeš, J. J. (2009). Cleaner energy for sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, 17(10), 889-895.
- Pinilla, H. P. (2015). Posibilidades de innovación en el sector energético en Colombia. *Revista Clepsidra*, 6(11), 21-32.
- Rico, P. F. R. (2020). Análisis al sector energético colombiano, 2010-2019. Una visión para el desarrollo de energías sostenibles. *Documentos De Trabajo ECACEN*, (1).
- Paime, F. L. (2019). Desafíos contemporáneos en el desarrollo del sector eléctrico colombiano. *Revista En-contexto*, 7(11), 87-111.