

Desafíos del cambio climático en la generación de energía hidroeléctrica en el contexto colombiano

Angie Katerine Riaño Rodríguez - Manuel Santiago Ramírez Chamorro
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación
Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales

Una central hidroeléctrica desempeña un papel fundamental en la producción de energía renovable, promoviendo un suministro de electricidad sostenible y confiable. Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), su capacidad para almacenar energía y funcionar como reguladores de la red eléctrica los convierte en componentes esenciales de la infraestructura energética en todo el mundo debido a que mediante el aprovechamiento de las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos, estas son capaces de generar energía eléctrica utilizando turbinas acopladas a generadores. Sin embargo, en la actualidad, la generación de energía hidroeléctrica involucra una evaluación exhaustiva del posible impacto en el cambio climático, considerando sus implicaciones a medio y largo plazo, además de su influencia. El cambio climático, considerado uno de los mayores desafíos del siglo XXI por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en el 2015, está manifestando impactos cada vez más notorios en distintos sectores, incluyendo la producción de energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas, ya que a medida que la temperatura global aumenta y los patrones climáticos experimentan cambios drásticos, se genera incertidumbre en torno a la disponibilidad de los recursos hídricos empleados para la generación de esta energía (Bedoya J., Rodas E., & García D., 2016).

GIPeM 09, diciembre (2023)
pp. 19-26
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de
Colombia

La operación de las plantas hidroeléctricas está directamente relacionada con la cantidad de agua disponible en sus cuencas de origen hidrográficas, definidas como territorios donde el agua desemboca en el mar a través de ríos o se concentra en un lago endorreico, por lo tanto, estas instalaciones son sumamente sensibles a las variaciones en los patrones de precipitaciones de estas áreas de captación (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2021). Teniendo en cuenta que el cambio climático plantea desafíos significativos para la operación de centrales hidroeléctricas, estos afectan diversos aspectos clave de

su eficiencia y sostenibilidad. Desde la incertidumbre en la disponibilidad de recursos hídricos esenciales hasta la variabilidad en los patrones de precipitación y su impacto en la generación de energía, la interrelación compleja entre el cambio climático y las centrales hidroeléctricas demanda una cuidadosa atención a medida que se avanza hacia un futuro energético sostenible, constituyendo un aspecto importante, en este sentido la exploración de la influencia del cambio climático en la operación del sistema energético implica una evaluación anticipada de las tendencias climáticas. Este análisis no solo implica anticipar las tendencias climáticas, sino también prever la influencia precisa del cambio climático mediante la aplicación especializada de programas para la realización de simulaciones hidrológicas. Este enfoque no solo se erige como fundamental en el contexto de los desafíos ambientales actuales, sino que también establece las bases para estrategias científicamente informadas de adaptación y mitigación frente a un panorama de cambio climático dinámico.

Ante la evidencia del cambio climático, los gobiernos de los países andinos, los cuales en su gran mayoría utilizan como mayor fuente la energía hidráulica, han mostrado preocupación por los efectos de este fenómeno (Paz et al.,2019), por lo cual el estudio y el análisis del impacto que puede tener el cambio climático sobre la producción de energía en una central hidroeléctrica se vuelve crucial y de gran importancia, entrando en debate la viabilidad o la rentabilidad de una central hidroeléctrica a largo plazo. Por lo que, en el presente documento, se abordará, discutirá y dará a conocer los impactos que puede traer el cambio climático sobre las centrales hidroeléctricas, analizando y estudiando aspectos como el comportamiento del cambio climático, la vulnerabilidad de las plantas hidroeléctricas ante el cambio climático, efectos y amenazas que pueden presentar las plantas hidroeléctricas y las medidas que se pueden tomar ante el cambio climático, con sus respectivos estudios anticipados desde una postura a favor de estos sistemas e infraestructuras energéticas, con el objetivo de promover una visión optimista y proactiva, subrayando que, con las adecuadas medidas de adaptación y modernización, las centrales hidroeléctricas pueden seguir siendo una pieza fundamental en la transición hacia un futuro energético más sostenible y resiliente.

Dentro de este escenario, se destaca la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente al cambio climático, con proyecciones que sugieren una notoria afectación en los recursos hídricos disponibles, lo cual alterará significativamente la operatividad de las plantas hidroeléctricas. La proyección para las próximas décadas indica una afectación notable en estos recursos, lo cual plantea desafíos para las plantas hidroeléctricas frente a diferentes escenarios, como sequías, inundaciones y el aumento de la demanda de agua dulce, la cual como consecuencia hace que el déficit de almacenamiento también crezca, tal como se ha podido observar en los últimos 50 años en los cuales la población mundial se duplicó y el agua almacenada en la naturaleza se redujo en unos 27 billones de metros cúbicos y aunque en la actualidad, la mayoría de los países ejercen una presión sin precedentes sobre los recursos hídricos, la población mundial sigue creciendo rápidamente, y las estimaciones muestran que, con las prácticas actuales, para 2030 el mundo deberá hacer frente a una brecha del 40 % entre la demanda prevista y el agua disponible (World Bank Group, 2023a).

Frente a la inevitable escasez de agua, se prevé una disminución en la producción de energía y en casos extremos, se puede dar lugar a la interrupción de la producción de las centrales, e incluso se contempla la posibilidad del *Stand-by* o cierre de las plantas, lo que podría generar aumentos en los precios de la electricidad, impactando la estabilidad del suministro eléctrico y forzando una dependencia de fuentes energéticas alternativas, como las termoeléctricas, las cuales funcionan a partir de la combustión de combustibles fósiles e implican un impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuyendo al cambio climático. Por otra parte, en caso de inundaciones, las centrales hidroeléctricas podrían interactuar con su entorno para reducir el riesgo, controlando el flujo del caudal del río, además, se puede optimizar el despacho energético, maximizando los ingresos económicos al operar a su capacidad máxima, (Grupo ENEL, s.f.) ya sea por un embalse lleno o un flujo de caudal óptimo (Bedoya & López, 2015). No obstante, la ausencia de infraestructura para manejar

inundaciones puede resultar en liberaciones incontroladas de agua o fallas en las represas, llevando a desbordamientos de ríos y ocasionando pérdidas de vegetación, cultivos, fauna, y un impacto negativo en las comunidades afectadas. Durante las últimas dos décadas, al menos 1650 millones de personas de todo el mundo padecieron inundaciones, lo que representa un aumento del 24 % respecto de las décadas anteriores. (World Bank Group, 2023b)

Si bien las centrales hidroeléctricas, como infraestructuras clave en la generación energética, deben estar preparadas para enfrentar los distintos escenarios climáticos provocados por el cambio climático, a medida que el clima experimenta alteraciones, se prevé un aumento en la brecha entre regiones climatológicamente húmedas y secas, en donde «las primeras serán más húmedas, mientras que las segundas serán más secas» (Instituto de Física Atmosférica, 2022) esta tendencia conlleva la posibilidad de una mayor frecuencia de sequías en algunas regiones y, de manera contraria inundaciones de mayor magnitud en otras zonas, lo cual se evidenció a modo de ejemplo con las graves inundaciones en el condado de Midland, Michigan, que resultaron en el colapso de dos presas y pérdidas económicas que alcanzaron los 200 millones de dólares (Sánchez P., 2022). Estos eventos demuestran la necesidad de que las centrales hidroeléctricas se adapten y fortalezcan sus infraestructuras para hacer frente a las distintas realidades climáticas presentes y futuras.

Otro claro ejemplo fue hace 30 años en Colombia con el famoso apagón de 1992 y 1993, cuando el país se enfrentó a racionamientos y suspensiones de electricidad debido a los bajos niveles de los embalses en medio del fenómeno de «El Niño». La luz eléctrica no se fue de manera abrupta, sino que dada la inminente falta de energía, el gobierno programó racionamientos o suspensiones del servicio de electricidad y aunque la causa que terminó por llevar a la crisis fue el fenómeno de «El Niño» que inició en 1991 y redujo los niveles hidrológicos en más de 50%, dejando con menos del 30 % de capacidad a los embalses de las hidroeléctricas, se sumaron muchos más factores como la sequía, la huelga de los empleados de la Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica (CORELCA), la falta de mantenimiento de las unidades térmicas (termoeléctricas), los defectos de los modelos matemáticos en los despachos, y la incapacidad de ampliar la oferta de energía dados los retrasos en el cronograma de construcción de nuevos proyectos hidroeléctricos (Celsia, 2022). Bajo este panorama, el apagón histórico de 1992 y 1993, llevó a los colombianos a vivir bajo racionamientos desde el 2 de marzo de 1992, lo que llevó a la implementación de medidas correctivas. En primer lugar, se corrigió el programa matemático para los despachos de energía, seguido se ejecutó un plan acelerado para mejorar el parque térmico, que estaba muy deteriorado y, además, se establecieron programas de interconexión eléctrica de emergencia, incluyendo uno con Ecuador. Afortunadamente tras las lluvias que llegaron después, las dificultades se aliviaron, reabasteciendo los embalses y finalizando el apagón el 6 de febrero de 1993.

Posteriormente, como respuesta a este evento histórico, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en 1996 introdujo, a través de la Resolución 1 de 1996, el cargo por capacidad, el cual buscaba disminuir el riesgo de inversión tanto para los generadores existentes como para los nuevos inversionistas en el sector energético, con el propósito de satisfacer la demanda a precios eficientes y prevenir racionamientos. Sin embargo, la evaluación de la efectividad de esta medida indicó que, aunque inicialmente resultó acertada al impulsar la inversión, con el tiempo perdió eficacia transformándose en un ingreso adicional que recibían los generadores en lugar de ser un incentivo para la inversión. Este desenlace llevó a la CREG a reemplazarlo diez años después con el cargo por confiabilidad, conforme a la Resolución 71 de 2006 (Restrepo et al., 2011), el cual es un mecanismo de mercado, que tiene como fin garantizar el suministro de energía cuando los recursos hídricos del país escasean, como consecuencia del fenómeno de El Niño. Este mecanismo se compone esencialmente de obligaciones de energía firme (OEF), que corresponden a un compromiso adquirido por los generadores, respaldado por plantas de generación, capaces de producir energía durante condiciones críticas de abastecimiento de agua, de modo que el suministro de energía sea garantizado en el largo plazo a precios eficientes (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2006).

En la actualidad Colombia se destaca por ser poseedora de la sexta matriz de energía más limpia del mundo según el modelo de Simulación y Análisis de la Matriz Energética (SAME) desarrollada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), con un 70 % de su suministro eléctrico generado a partir de fuentes hidroeléctricas según la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (ALCOGEN), esta posición privilegiada le otorga la capacidad de aprovechar eficazmente la fuente de energía renovable para impulsar el crecimiento de las fuentes eólica y solar, además de utilizar su potencial de almacenamiento. Según el informe de perspectiva sectorial de Corficolombiana en 2023, Colombia cuenta con una capacidad efectiva neta de generación de 18,777 MW. No obstante, este panorama podría verse alterado por el actual funcionamiento de la hidroeléctrica de EPM, Hidroituango, que ya está inyectando 1200 MW a la red eléctrica colombiana. Esta planta se ha convertido en la más grande del país y está aportando hasta un 17 % de la demanda de energía del país, lo cual hace que este desarrollo proyecte una significativa reducción en los precios de la energía en la bolsa, pasando de \$ 1,500 a \$ 772/kWh (MINEENERGÍA, 2023), convirtiéndose en proyectos esenciales en el contexto energético del país.

Recientemente se han establecido directrices internacionales para abordar el análisis del impacto del cambio climático en proyectos hidroeléctricos (Ministerio de Minas y Energía, 2023), a pesar de la limitada disponibilidad de estudios a nivel global y regional. En este sentido, la OLADE con el respaldo técnico y financiero del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), ha desarrollado conjuntamente un estudio focalizado en la «Vulnerabilidad al cambio climático y medidas de adaptación de sistemas hidroeléctricos en países andinos», dicho estudio ha permitido evaluar las repercusiones del cambio climático en la generación hidroeléctrica y analizar la viabilidad de implementar medidas de adaptación. Para este fin, se ha contado con el apoyo de los ministerios encargados de la planificación energética de naciones como Bolivia, Ecuador, Perú, Venezuela y Colombia, recopilando información y datos cruciales para llevar a cabo el estudio (Paz et al, 2019). Esta iniciativa se alinea con esfuerzos políticos y técnicos para fomentar la integración, protección y gestión adecuada de los recursos energéticos de la región, un ejemplo de ello es la misma OLADE, respaldada por 27 países latinoamericanos y del Caribe, incluyendo a Colombia. El estudio mencionado representa una integración de diversas metodologías concebidas para analizar los distintos componentes de un sistema específico, compuesto por el clima, las cuencas de suministro, las centrales hidroeléctricas, el sistema energético en conjunto y la sociedad, esta unión de metodologías permite el análisis de diversos escenarios, incluyendo los climáticos, socioeconómicos y energéticos. Según Paz y otros autores en 2019, este estudio ha desarrollado una metodología que integra todas las técnicas necesarias, lo que posibilita replicar este análisis en otras áreas geográficas y en distintas centrales hidroeléctricas, además, expertos de cada uno de los países involucrados han sido capacitados para aplicar esta metodología con precisión.

El enfoque de modelación de sistemas hídricos aplicado en estos estudios se caracteriza por su complejidad, ya que involucra una amplia diversidad de componentes. Colombia destaca por la variedad de sus hidrosistemas, con cuencas fluviales diversas, abundantes recursos hídricos y una topografía montañosa, por ende, la modelación hidrológica es fundamental para ampliar el entendimiento de estos sistemas hídricos, proporcionando apoyo a la toma de decisiones en la gestión integral del recurso hídrico, abarcando diversas aplicaciones (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.). A gran escala, existen modelos hidrológicos que contribuyen al análisis de la incertidumbre en la hidrología, simulando diferentes escenarios de caudales basados en observaciones históricas. El modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) es un ejemplo de modelo ecohidrológico semidistribuido basado en ecuaciones matemáticas para simular las interacciones físicas en una cuenca, con más de 20 años de perfeccionamiento (Gassman et al., 2014). SWAT, como modelo continuo de tiempo a largo plazo, está diseñado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la generación, requiriendo información detallada sobre el clima, la

topografía, la vegetación y las propiedades del suelo, y empleando una interfaz gráfica (ArcGIS) para facilitar su uso (Uribe, 2010).

Cabe resaltar que, el estudio del clima y la energía no solo abarca los factores atmosféricos, sino también el uso de la tierra, que incide en la relación entre precipitaciones, caudales y procesos erosivos, elementos clave para la generación hidroeléctrica (Hatfield et al., 2017). Las modificaciones en los paisajes naturales debido a la urbanización y la deforestación alteran los flujos de agua, lo que impacta significativamente en la eficiencia y sostenibilidad de las centrales hidroeléctricas, por su parte, la simulación de escenarios de uso del suelo se basa en la cartografía proporcionada para el estudio según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), estos análisis, vitales para la construcción y planificación de nuevas centrales hidroeléctricas, se vuelven especialmente relevantes considerando el impacto proyectado del cambio climático. Es esencial adoptar una estrategia más preventiva ante inundaciones para futuros proyectos hidroeléctricos, y para las centrales existentes, se requiere un plan de mejoras en la infraestructura para garantizar la seguridad ante inundaciones de mayor magnitud.

En conclusión, en el marco de las discusiones actuales sobre la generación de energía y la transición hacia fuentes renovables, persiste un vacío informativo en torno al rol crucial que desempeñan las termoeléctricas, mientras en el contexto colombiano, las hidroeléctricas representan el 70 % de la energía eléctrica generada, lo cual puede dar una falsa sensación de seguridad en términos de suministro debido a que existen diversos escenarios vulnerables ante eventos climáticos extremos, los cuales podrían afectar significativamente la disponibilidad hídrica para la generación de energía. Por otro lado, considerar un enfoque que priorice únicamente las hidroeléctricas, desestimando las termoeléctricas y demás fuentes de energía, podría conducir a un desabastecimiento energético en el país. En este sentido, el cargo por confiabilidad emerge como un mecanismo esencial para asegurar una red eléctrica estable, permitiendo que las termoeléctricas funcionen en situaciones de crisis y respalden el suministro en momentos de escasez hídrica, lo cual se ha vuelto aún más relevante en el contexto de cambio climático y su impacto en el *World Bank Group*. Es imprescindible que como colombianos no repitamos los errores del pasado y aprendamos de nuestras experiencias a modo de herramienta fundamental para mejorar la eficiencia y dirigirnos hacia un mañana con enfoque en la sostenibilidad, teniendo en cuenta que la construcción del futuro requiere cimientos sólidos, y estos cimientos se forjan reflexionando sobre los errores cometidos previamente.

Referencias

- Aldana, E., Bernal, I., Vélez, J., Vita, L., González R., Asmar, S., González X. (s.f.). *Colombia Potencia Energética*. Editorial La República S.A.S. Colombia Potencia Energética by DAMG22 - Issuu
- Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (s.f.). *La energía que impulsa a Colombia: Capacidad instalada en Colombia*. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de <https://acolgen.org.co/wp/>
- Bedoya, J. C., Rodas, E., & García, D. F. (2016). *Descripción de los Aspectos Comerciales del Esquema del Cargo por Confiabilidad en el Mercado Eléctrico Colombiano*. *Scientia Et Technica*, 21(1), 5-14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84950584002>
- Bedoya, V., & López, J. (2015). *Modelo para el Control de Inundaciones durante el Fenómeno De "La Niña" utilizando un Embalse Hidroeléctrico*. *Información Tecnológica*, 26 (2), 89-100. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642015000200011>

- Celsia (2022). *Un apagón que nos iluminó*. Reporte Integrado 2022. Recuperado el 27 de noviembre de 2023, de <https://reporteintegrado2022.celsia.com/informes/hechos-relevantes-un-apagon-que-nos-ilumino.pdf>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2006). *Resolución 71 del 03 de octubre de 2006*. Por la cual se adopta la metodología para la remuneración del Cargo por Confiabilidad en el Mercado Mayorista de Energía. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=4014736>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2015, 3 de mayo). *La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático: herramientas para los tomadores de decisiones de los sectores público y privado*. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de <https://repositorio.cepal.org/items/13cf70dc-5b83-4157-b107-6d45076fd052>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2017, 28 de junio). *La economía del cambio climático: Políticas públicas del siglo XXI en América Latina*. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de <https://www.cepal.org/es/notas/la-economia-cambio-climatico-politicas-publicas-siglo-xxi-america-latina#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20representa%20uno,de%20adaptaci%C3%B3n%20y%20mitigaci%C3%B3n%20de>
- EPM. (s.f.). Central Hidroituango. Un proyecto para todos. Recuperado el 27 de noviembre de 2023, de <https://cu.epm.com.co/institucional/proyectos/hidroituango>
- Escuela Nacional Sindical. (2015). *Fisonomías del miedo: Un paulatino enmudecimiento*. Recuento de luchas y lógicas de la violencia antisindical en el departamento del Atlántico: CUT, Sintraelec, Anthoc, 1975-2012. eLibros Editorial. <https://ens.org.co/wp-content/uploads/2017/02/Memoria-hist%C3%B3rica-Atl%C3%A1ntico-FINAL.pdf>
- Figueroa, A. & Mojica J. (2023, 28 de febrero). *Informe Perspectiva sectorial energía*. Actualidad del sector energético colombiano”. Corficolombiana. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de <https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/Informe%20Sectorial%20Sector%20El%C3%A9ctrico%2024012023%20VF.pdf/6f0862d8-aacb-40fd-cc3e-0c95916bceba>
- Fundación Endesa. (s.f.). *Funcionamiento de una central hidroeléctrica*. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-hidroelectrica>
- Gassman, P., Sadeghi, A., & Srinivasan, R. (2014). *Applications of the SWAT Model Special Section: Overview and Insights*. *Journal of Environmental Quality*, 43 (1), 1-8. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2013.11.0466>
- Grupo ENEL (s.f.). *Todas las ventajas de la energía hidroeléctrica*. Recuperado el 10 de noviembre de 2023, de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/ventajas>
- Hatfield, J., Sauer, T., & Cruse, R. (2017). *Chapter One - Soil: The Forgotten Piece of the Water, Food, Energy Nexus*. *Advances in Agronomy*, 143 (1), 1-46. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211317300044>
- Instituto de Física Atmosférica. (2022). *El calentamiento global hará que las regiones húmedas lo sean aún más y con un clima más variable*. iAgua. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de

<https://www.iagua.es/noticias/europa-press/calentamiento-global-hara-que-regiones-humedas-lo-sean-aun-mas-y-clima-mas>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *Modelación hidrológica*. Recuperado el 8 de noviembre de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica#:~:text=Un%20modelo%20hidrol%C3%B3gico%20es%20pues,representado%20por%20una%20expresi%C3%B3n%20anal%C3%ADtica>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *Monitoreo de suelos y coberturas de la tierra. Coberturas nacionales*. Recuperado el 10 de noviembre de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-nacionales>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2023, 6 de junio). *La energía hidroeléctrica en el contexto del cambio climático*. Gobierno de México. Recuperado el 8 de noviembre de 2023, de <https://www.gob.mx/imta/es/articulos/la-energia-hidroelectrica-en-el-contexto-del-cambio-climatico?idiom=es>

Ministerio de Minas y Energía. (2013, 8 de febrero). *Colombia apuesta a la aplicación de un estándar mundial de sostenibilidad con el apoyo de la Cooperación Económica y Desarrollo (SECO) de Suiza y la Asociación Internacional de Energía hidroeléctrica (IHA)*. Recuperado el 10 de noviembre de 2023, de URL <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/colombia-como-uno-de-los-l%C3%ADderes-latinoamericanos-en-energ%C3%ADa-hidroel%C3%A9ctrica-le-apuesta-a-la-aplicaci%C3%B3n-de-un-est%C3%A1ndar-mundial-de-sostenibilidad-con-el-apoyo-de-la-cooperaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica-y-desarrollo-seco-de-suiza-y-la-asociaci%C3%B3n-internacional-de-energ%C3%AD/>

Organización Latinoamericana de Energía. (s.f.). *Simulación y Análisis de la Matriz Energética (SAME)*. Recuperado el día 10 de noviembre de 2023, de <https://www.olade.org/same/>

Ospina, A., & Mosquera, D. (2016). *Cargo por confiabilidad: ¿éxito o fracaso?*. *Revista Con-texto*, 45 (1), 13-36. <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/contexto/article/view/4997/5985>

Paz, J., Kelman, R., Navas, S., Okamura, L., & Feliu, E. (2019, 1 de noviembre). *Vulnerabilidad al cambio climático y medidas de adaptación de los sistemas hidroeléctricos en los países andinos*. Nota técnica N° IDB-TN-01781. Banco Interamericano de Desarrollo - BID. Recuperado el 8 de noviembre de 2023, de https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Vulnerabilidad_al_cambio_clim%C3%A1tico_y_medidas_de_adaptaci%C3%B3n_de_los_sistemas_hidroel%C3%A9ctricos_en_los_pa%C3%ADses_andinos.pdf

Restrepo, M., Arango, S., & Vélez, L. (2012). *La confiabilidad en los sistemas eléctricos competitivos y el modelo colombiano de cargo por confiabilidad*. *Cuadernos de Economía*, 31 (56), 199-222. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-47722012000100008

Sánchez, P. (2021). *La energía hidroeléctrica podría verse amenazada por el aumento de sequías e inundaciones*. iAgua. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/energia-hidroelectrica-podria-verse-amenazada-aumento-sequias-e>

Teotonio, C., Fortes, P., Roebeling, P., Rodriguez, M., & Robaina, M. (2017). *Assessing the impacts of climate change on hydropower generation and the power sector in Portugal: a partial equilibrium approach*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. *Sustain*, 74 (1), 788-799. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.002>.

Unidad de Planeación Minero Energética (2015, 7 de octubre). *Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia*. Recuperado el 8 de noviembre, de 2023 de <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Primer-Atlas-hidroenergetico-revela-gran-potencial-en-Colombia.aspx>

Uribe N. (2010, 20 de abril). *SWAT (Solid and Water Assesment Tool), conceptos básicos y guía rápida para el usuario*. Versión SWAT2005. SWAT. Recuperado el 9 de noviembre de 2023, de <https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>

World Bank Group. (2023, 1 Febrero). *What the future has in store, a new paradigm for water. Overview for policy makers*. Recuperado el 27 de noviembre de 2023, de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2023/02/03/water-storage-is-at-the-heart-of-climate-change-adaptation>

World Bank Group. (2023, 3 Febrero). *El almacenamiento de agua es un elemento central de la adaptación al cambio climático*. Recuperado el 27 de noviembre de 2023, de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2023/02/03/water-storage-is-at-the-heart-of-climate-change-adaptation>