

IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LAS HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA

ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSOCIATED WITH HYDROELECTRIC PLANTS IN COLOMBIA



Andrade Navia, Juan Manuel; Olaya Amaya, Alfredo

Juan Manuel Andrade Navia
juanmanuel.andrade@usco.edu.co
Universidad Surcolombiana, Colombia, Colombia
Alfredo Olaya Amaya
alolaya@usco.edu.co
Universidad Surcolombiana, Colombia, Colombia

Revista de Investigación Agraria y Ambiental
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
ISSN: 2145-6097
ISSN-e: 2145-6453
Periodicidad: Semestral
vol. 14, núm. 2, 2024
riaa@unad.edu.co

Recepción: 12 Agosto 2022
Aprobación: 20 Febrero 2023
Publicación: 20 Junio 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1304312011/>

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.6074>

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

CÓMO CITAR: Andrade J. y Olaya, A. (2023). Impactos ambientales asociados a las hidroeléctricas en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2), 217 - 250. <https://doi.org/10.22490/21456453.6074>

Resumen: Contextualización: las hidroeléctricas son una de las principales fuentes generadoras de energía eléctrica en el mundo. Aunque su construcción en Norteamérica y Europa inició a mediados del siglo XX, en continentes como América, Asia y África su ola de expansión tuvo su génesis a partir del año 2000, la cual fue estimulada por el crecimiento acelerado de las economías emergentes como Brasil, Colombia, China, Sudáfrica e India, entre otras, además del crecimiento demográfico experimentado durante los últimos 10 años. Se estima que el mundo tiene más de 40 mil grandes hidroeléctricas, siendo Asia el continente con mayor cantidad de represas seguido de Suramérica.

Vacío de investigación: actualmente no existe un inventario de impactos que permita identificar y clasificar las afectaciones positivas y negativas ocasionadas por la construcción y operación de hidroeléctricas en el país. Lo anterior debido a que no hay un estudio integral que consolide los impactos generados por las hidroeléctricas en Colombia; no obstante, se reportan investigaciones que identifican impactos de las hidroeléctricas en casos aislados.

Propósito del estudio: clasificar los impactos ambientales [positivos y negativos] generados por la presencia de hidroeléctricas en Colombia.

Metodología: para el desarrollo de la investigación se tomó como guía orientadora la metodología Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses [PRISMA]. Al respecto, la revisión sistemática comprendió las etapas de identificación, filtración, selección e inclusión de documentos de Scopus para literatura especializada internacional, Google Scholar para la literatura científica nacional [en bases de datos diferentes a Scopus] y los repositorios institucionales universitarios para la literatura gris.

Resultados y conclusiones: se realizó un inventario y clasificación de los impactos bióticos, abióticos [físicos] y socioeconómicos generados por la construcción y operación de hidroeléctricas en Colombia registrados en la literatura científica [artículos de investigación] y literatura gris [tesis de pregrado, maestrías y doctorados]. Posteriormente, se pudo establecer que existen diversas afectaciones causadas por los proyectos hidroeléctricos en el país, siendo predominantes las de naturaleza socioeconómica.

Palabras clave: hidroeléctricas, represas, afectaciones, impactos.

Abstract: Contextualization: hydroelectric plants are one of the main sources of electricity generation in the world. Although its construction in North America and Europe began in the middle of the 20th century, in continents such as America, Asia and Africa its wave of expansion began in the year 2000, stimulated by the accelerated growth of emerging economies such as Brazil, Colombia, China, South Africa and India, among others, in addition to the demographic growth experienced during the last 10 years. It is estimated that the world has more than 40,000 large hydroelectric plants, with Asia being the continent with the largest number of dams, followed by South America.

Knowledge gap: there is currently no impact inventory to identify the positive and negative effects caused by the construction and operation of hydroelectric plants in the country, since there is no comprehensive study that consolidates the impacts generated by hydroelectric plants in Colombia; however, there are investigations that identify impacts of hydroelectric plants in isolated cases.

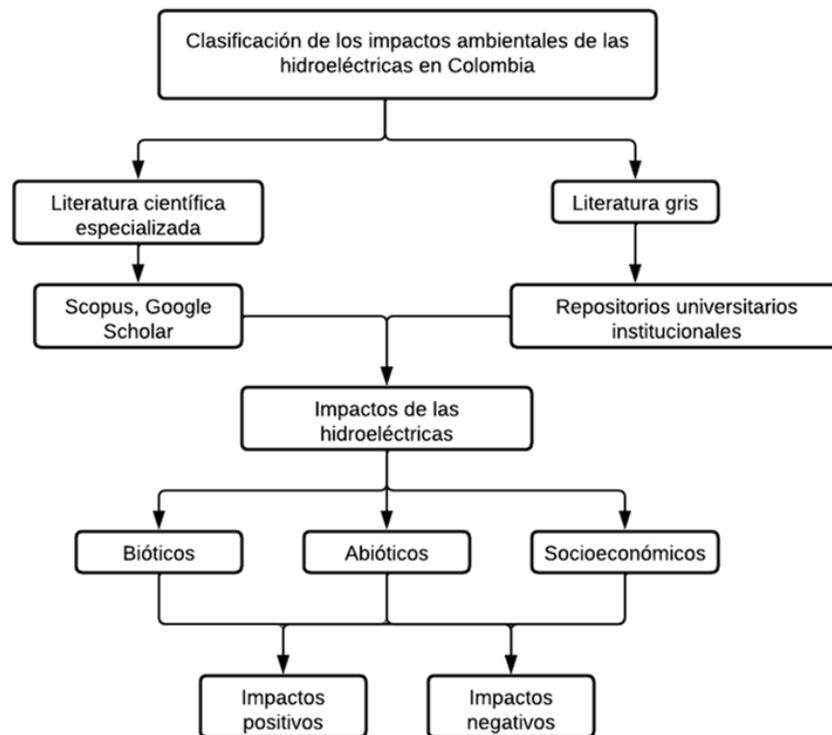
Purpose: classify the environmental impacts [positive and negative] generated by the presence of hydroelectric plants in Colombia.

Methodology: for the development of the research, the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses [PRISMA] methodology was used as a guide. In this regard, the systematic review included the stages of identification, filtration, selection, and inclusion of documents from Scopus for international specialized literature, Google Scholar for national scientific literature [in other databases than Scopus] and university institutional repositories for gray literature.

Results and conclusions: an inventory and classification of the biotic, abiotic [physical] and socioeconomic impacts generated by the construction and operation of hydroelectric plants in Colombia registered in the scientific literature [research articles] and gray literature [undergraduate, master's and doctorates theses] was carried out. Subsequently, it was possible to establish that there are diverse affectations caused by hydroelectric projects in the country, being predominant those of socioeconomic nature.

Keywords: hydroelectric, dams, affectations, impacts.

RESUMEN GRÁFICO



Autores

1. INTRODUCCIÓN

Las hidroeléctricas generaron alrededor del 16 % de la electricidad que se consumió en el mundo durante el año 2021 y de más de 50 % de la electricidad proveniente de fuentes de energías renovables (Agencia Internacional de la Energía [AIE], 2022); con China como el principal país productor, contribuyendo con el 31 % del total de la generación de energía eléctrica (Ember, 2022). Las hidroeléctricas empezaron a construirse desde el siglo XIX en Europa y durante el siglo XX lograron su apogeo en los Estados Unidos; no obstante, a partir de 1990, el crecimiento demográfico y la alta demanda energética, jalonada principalmente por los países emergentes (AIE, 2016), precipitaron una ola de construcciones de grandes represas con fines hidroeléctricos, especialmente en regiones como Asia y Suramérica (Andrade y Olaya, 2021).

Según la Comisión Mundial de Represas (CMR, 2000), las hidroeléctricas se clasifican en grandes, medianas y pequeñas. Las grandes hidroeléctricas tienen un muro principal mayor a 15 metros de altura o una capacidad de almacenamiento mayor a 3 millones de metros cúbicos y una generación de energía por encima de los 100 MW; las medianas tienen un muro principal con una altura de 10 a 15 metros o una capacidad para almacenar entre 1 y 3 millones de metros cúbicos y una generación de 10 MW a 100 MW; finalmente, las pequeñas poseen un muro principal con menos de 10 metros de altura o capacidad para almacenar menos de 1 millón de metros cúbicos y una generación menor a los 10 MW (Comisión Internacional de Grandes Represas [ICOLD], 2017).

Las grandes hidroeléctricas se construyen con el fin de generar beneficios a la sociedad como producir altos volúmenes de energía y, en algunos casos, suministrar agua para personas o cultivos (Grigg, 2019). Sin embargo, los impactos negativos ocasionados por este tipo de infraestructura son abundantes y polémicos

(Dopico et al., 2022). En ese orden, a nivel mundial son múltiples los estudios que ponen en evidencia dichos impactos en ámbitos como el cambio climático (Lu et al., 2020), la fragmentación y la interrupción de los flujos de los ríos (Harper et al., 2020; Yang et al., 2022), afectación del recurso pesquero (Keppeler et al., 2022) y pérdida de cobertura vegetal (Nickerson et al., 2022), entre otros.

Para el caso colombiano, el desarrollo energético nacional ha sido significativo a partir del año 2000, debido a la creciente dinámica de construcciones de grandes hidroeléctricas. En el año 2020, estaban en funcionamiento 28 grandes hidroeléctricas y 115 pequeñas centrales que aportaron alrededor del 70 % de la oferta energética del país (Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME], 2020). A pesar de lo anterior, en comparación con otras regiones, el volumen de las investigaciones relacionadas con los impactos [positivos y negativos] ocasionados por la construcción y operación de las hidroeléctricas es relativamente discreto, especialmente cuando se refieren a investigaciones de alto impacto y rigurosidad. Adicionalmente, es preciso anotar que gran cantidad de las investigaciones realizadas son estudios de caso, es decir, que abordan casos puntuales de una hidroeléctrica y sus problemáticas, existiendo un vacío general en la identificación integral de los impactos bióticos, abióticos y socioeconómicos generados por las hidroeléctricas y, por tanto, de un inventario de impactos genéricos ocasionados por dichos proyectos de infraestructura en Colombia.

Con motivo de lo anterior, es conveniente consolidar y clasificar un listado de los impactos ambientales resultantes de la implementación de hidroeléctricas en el país. En ese orden, es imperativo definir el significado y alcance del término impacto. Para la legislación colombiana, específicamente en el Decreto 1076 de 2015, el impacto ambiental es “cualquier alteración en medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad” (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Por otra parte, la Organización Internacional de Normalización ([ISO], 2015) lo define como un “cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización” (p. 3). En ese sentido, los aspectos ambientales de una organización comprenden el desarrollo de actividades y productos [bienes y servicios] en el marco de su interacción con el medio ambiente.

Wathern (1988) plantea que, a partir de la segunda mitad del siglo XX, el término impacto ambiental adquirió una connotación de acción fuerte y perjudicial, ya que se comprende como el resultado, sobre el entorno, de la actividad humana adelantada en un periodo de tiempo y espacio determinado. Por eso se infiere que el impacto ambiental engloba una serie de consecuencias negativas sobre los elementos de los sistemas naturales, el clima y la sociedad debido a las acciones de las personas, la explotación excesiva de los recursos naturales, la mala disposición de residuos, la emisión gases a la atmósfera y la sobreutilización de suelos, entre otros aspectos (Perevochtchikova, 2013). A partir de lo expuesto, la presente investigación se propuso elaborar un inventario de los impactos ambientales [positivos y negativos] generados por la construcción y operación de grandes centrales hidroeléctricas en Colombia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio corresponde a una revisión sistemática [enmarcada en una investigación de tipo documental] que identificó los principales impactos generados por las hidroeléctricas en Colombia, teniendo en cuenta lo establecido en documentos publicados entre 1990 y 2022 (Figura 1). El periodo de búsqueda se estableció debido a que rastreos previos advirtieron que, en Colombia, sobre la década de 1990 empezó a emerger un interés académico e investigativo acerca de los fenómenos acaecidos a partir de la construcción de hidroeléctricas. Por otra parte, El diseño y ejecución de esta investigación tuvo como guía orientadora la metodología Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses – PRISMA (Urrutia y Bonfill, 2010) y se siguieron los pasos a continuación.

Identificación y estrategia de búsqueda: En la primera etapa se adelantó la revisión de la base de datos especializada Scopus para revistas internacionales de alto impacto, el buscador Google Scholar para las revistas

académicas nacionales y los repositorios institucionales universitarios para el rastreo de la literatura gris. Para la búsqueda en Scopus se utilizaron los siguientes algoritmos: “impact” OR “affectations” AND “dams” OR “hydroelectric” OR “reservoirs” AND “Colombia” y se obtuvieron 189 documentos. Para el caso de Google Scholar se usaron los algoritmos: “impacto” OR “afectación” OR “afectaciones” OR “consecuencia” AND “represa” OR “hidroeléctrica” OR “embalse” AND “Colombia” y se obtuvieron 83 documentos. Finalmente, en el caso de los repositorios institucionales se recurrió a los siguientes algoritmos: “impacto” OR “afectación” OR “afectaciones” OR “consecuencia” AND “represa” OR “hidroeléctrica” OR “embalse” y se obtuvieron 271 documentos.

Filtraje y elección: Los documentos vinculados inicialmente a la búsqueda correspondieron a investigaciones – se excluyeron editoriales – que incluyeron los términos de búsqueda en su título, resumen o palabras clave. Posteriormente, se excluyeron los documentos que no estuvieran dentro del rango temporal de búsqueda, documentos duplicados o con enfoques e intereses diferentes a los impactos ocasionados por las hidroeléctricas; ni el idioma ni el lugar de origen de la publicación constituyeron criterios de exclusión sobre los documentos encontrados. Se debe mencionar que [para prevenir cierto nivel de sesgo] no se realizó un inventario previo de las hidroeléctricas existentes en Colombia, ni se propuso que la documentación cubriera a todas las existentes en el país, por lo que es posible que para algunas hidroeléctricas haya más estudios, mientras que para otras no haya documentos que siquiera las mencionen; con esto se buscó prevenir que los autores concentraran su análisis en ciertos casos.

Inclusión: Finalmente, la revisión incluyó investigaciones originales, reportadas en la literatura científica especializada nacional e internacional, y literatura gris. Frente a la literatura gris, se debe resaltar que su criterio de selección tuvo dos motivaciones: la escasa cantidad de estudios encontrados en la literatura especializada, y el interés por realizar una identificación integral de los impactos ocasionados por las hidroeléctricas en Colombia.

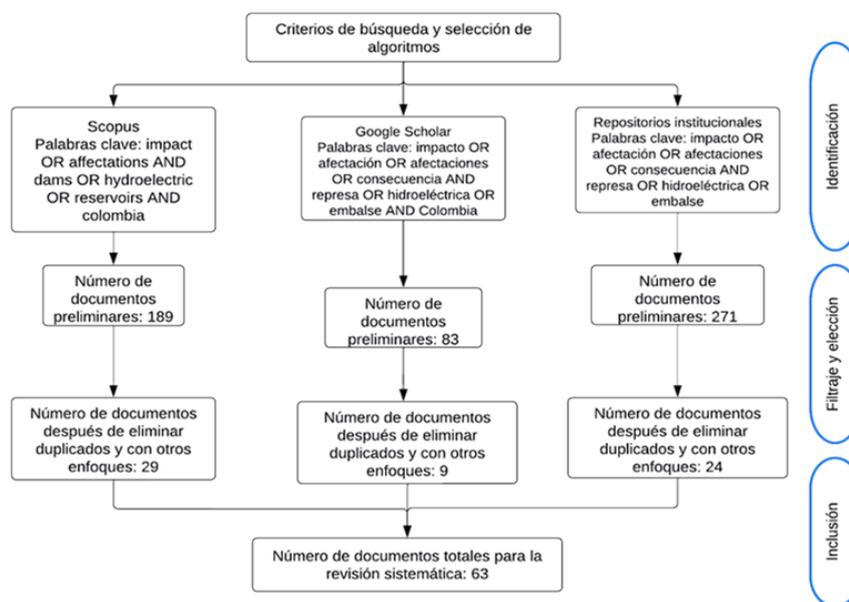


FIGURA 1.
Flujograma de búsqueda y selección de documentos para la revisión de acuerdo con las fases de la guía PRISMA.

Autores

3. RESULTADOS

3.1 Descripción de los documentos encontrados

Como resultado, se identificaron 543 documentos de investigación en la búsqueda primaria realizada en las fuentes establecidas; posteriormente, se realizó un tamizaje basado en la lectura de títulos, resúmenes y palabras clave, del cual solo 63 documentos cumplieron con el protocolo para su inclusión en el análisis definitivo. En la Figura 2 se muestra la aparición de documentos de investigación relacionados con los impactos de las grandes hidroeléctricas en Colombia encontrados durante la búsqueda de literatura gris y especializada en el periodo establecido; al respecto se evidencia una tendencia creciente en la relación de documentos, con una cantidad máxima de diez [10] estudios encontrados en el año 2020. Algunos años no registraron documentos, por lo que no están relacionados en la respectiva figura.

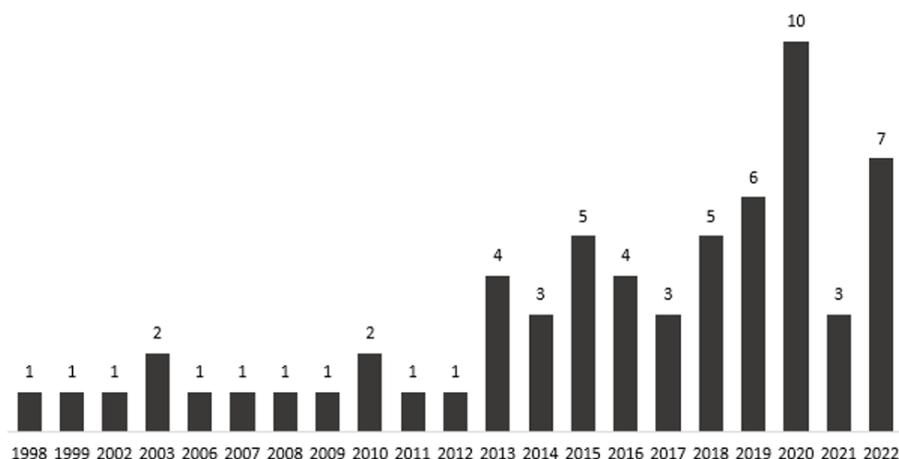


FIGURA 2.
Documentos publicados 1990-2022
Autores

A continuación, se realiza la identificación de los impactos generados por las hidroeléctricas en Colombia, a partir de la revisión sistemática de los documentos seleccionados. Para una mejor comprensión, los impactos se discriminaron –de acuerdo con la normatividad nacional que estipula tres ámbitos de impacto– en bióticos, abióticos [físicos] y socioeconómicos; no obstante, se debe señalar que, en algunas ocasiones, no resulta sencillo establecer la naturaleza del impacto debido a la complejidad y alcance de este, de tal suerte que un impacto puede tener su génesis en el ámbito físico y transformarse rápidamente en uno de tipo socioeconómico. De acuerdo con esa lógica, se le dio mayor prioridad a su identificación sobre su clasificación.

3.2 Impactos bióticos

Zuluaga et al. (2012) adelantaron una vigilancia de insectos vectores de enfermedades tropicales en el marco de la construcción de las hidroeléctricas Porce II y Porce III; hallaron que la presencia del embalse, más otros depósitos de aguas propios de obras de construcción a gran escala, incrementaron significativamente el riesgo de proliferación de mosquitos transmisores de malaria y leishmaniasis. Viviescas-Santana (2014) estudió los impactos derivados de las hidroeléctricas El Quimbo, Ituango, Porce IV y Sogamoso, encontrando impactos genéricos como la pérdida de cobertura vegetal debido a la eliminación de bosques nativos, la desaparición de fauna terrestre y acuática a causa de eliminación de sus hábitats y a la fragmentación de sus ecosistemas, y la alteración de zonas de desove y de dinámicas reproductivas en las comunidades de peces.

Carvajal-Quintero et al. (2017), en un estudio que implicó varias represas, determinaron el incremento del riesgo para la supervivencia de las especies acuáticas de los ecosistemas del río Magdalena, como consecuencia de las hidroeléctricas construidas a lo largo de este; así se estableció que, por lo menos, una docena de especies

endémicas de peces presentaba un incremento en el riesgo de desaparición y extinción. Asimismo, Angarita et al. (2018) analizaron las variaciones sobre los regímenes hidrológicos que ha experimentado el río Magdalena después de la construcción de diferentes embalses, encontrando un alto nivel de variación en los caudales del río. Por otra parte, Arismendi-González et al. (2021) identificaron la presencia de cianobacterias de alta toxicidad en el embalse de la hidroeléctrica Río grande II, destacando que esta contaba con las condiciones ambientales aptas para su proliferación.

Valencia-Rodríguez et al. (2022) registraron los cambios en los inventarios de peces del río Porce luego de la construcción de la hidroeléctrica Porce III, encontrando una reducción de especies nativas y la aparición de especies exóticas. Así, evidenciaron la desaparición de cuatro especies y la aparición de 12 nuevas especies; indirectamente, el estudio resaltó los cambios generados en los hábitats acuáticos ocasionados por la hidroeléctrica. Finalmente, Restrepo-Santamaría et al. (2022) investigaron la necesidad de reubicación de los peces que habitan aguas abajo de la hidroeléctrica Porce III debido al alto nivel de mortalidad que presentan por cuenta de la fragmentación de sus hábitats, especialmente cuando el río se desvía temporalmente para la construcción de las obras de ingeniería.

3.3 Impactos abióticos o físicos

Buenaventura y Vélez (2003) realizaron una investigación sobre la calidad del agua del río Porce, antes y después de la hidroeléctrica Porce II, con el fin de establecer su nivel de contaminación. Así se determinó que el río Porce alcanza altos niveles de contaminación provenientes de la ciudad de Medellín, debido a la contaminación de sus tributarios; sin embargo, después del embalse, el agua del río presenta una mejora en sus parámetros puesto que las aguas contaminadas son retenidas en el embalse y este funge como un lago de oxidación en el que se degrada la materia orgánica. En consecuencia, se aprecia una mejoría en el agua del río aguas abajo de Porce II.

Feria et al. (2010) estudiaron las concentraciones de metales pesados presentes en los sedimentos del río Sinú, aguas abajo del embalse Urrá I, encontrando presencia importante de cobre, níquel, cromo y zinc. Los investigadores consideran que la presencia de estos metales es natural en el entorno; sin embargo, el embalse cumple una función de recipiente de acumulación, por lo que se reportan alto niveles de concentración en la presa y aguas abajo. Asimismo, Marrugo-Negrete et al. (2015) monitorearon los niveles de mercurio total en peces, aguas abajo del embalse Urrá I, tomando muestras entre los años 2004 y 2009 y encontraron que los niveles de concentración de mercurio en los peces aumentaron notablemente con el embalse, constituyéndose en un riesgo para la población. Por su parte, Wilches et al. (2020) analizaron datos [entre 2008 y 2014] en siete estaciones ubicadas en el cauce del río Sinú, aguas abajo del embalse Urrá I, con el fin de establecer las características fisicoquímicas del agua, midiendo parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno [DBO5], oxígeno disuelto [OD], temperatura y pH. El estudio concluye que parámetros como el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura promedio se encuentran dentro de los niveles normales en las zonas en las que se recolectó la información.

Sailor & Rosen (1998) construyeron un modelo atmosférico [numérico] para simular el clima de la región en el embalse de Hidrosogamoso y su potencial afectación sobre los cultivos [especialmente para los de café y cacao] altamente sensibles al incremento de la temperatura en la zona. El modelo arrojó que, eventualmente, la temperatura en la zona perimetral del embalse tendría un incremento, con diferenciales durante la temporada de lluvias, lo que traería como consecuencia la variación de rendimientos, con tendencia negativa, en los cultivos. Ardila (2014) registra que, entre las consecuencias ocasionadas por Hidrosogamoso, el impacto más evidente radica en la pérdida, por inundación, de alrededor de 7000 ha de tierra en zonas altamente productivas; también resalta la obstrucción del trayecto natural del río, la degradación paisajística y la destrucción de importantes sistemas naturales. Igualmente, se evidencian los impactos sobre las personas que hacen uso del río debido a los residuos químicos, explosivos, aceites y demás combustibles usados en la construcción de las obras que contaminan las fuentes hídricas y disminuyen la pesca. En el año 2011 se realizó una encuesta a los habitantes de la región, en esta el 66 % de las personas afirmaron que, antes

de la hidroeléctrica, el entorno silvestre se encontraba en mejores condiciones: los cultivos crecían mejor, predominaba la fauna acuática, había menor ruido, el acceso a las fuentes hídricas superficiales era más fácil, el clima era más predecible, el aire estaba más puro y el paisaje era más atractivo (Ardila, 2014).

Álvarez y Avellaneda (2015) identificaron los impactos generados sobre el sector agrícola colindantes al embalse de Chivor destacando variaciones en el clima desde la construcción del embalse, lo que afecta un área de 278,81 km². El cambio en el clima se evidenció con el incremento de la precipitación y la humedad, el descenso de la temperatura media anual y la disminución de la evapotranspiración potencial. Estos cambios resultaron en afectaciones a los cultivos de naranja, mandarina, chirimoya, plátano y maíz. Por otra parte, Mayor (2016) midió los niveles de emisión de CO₂ generados por las hidroeléctricas en Colombia, destacando que las hidroeléctricas con los mayores niveles de generación anual de este gas corresponden a las hidroeléctricas Guavio, Quimbo, Troneras, Urrá I y Sogamoso. Estos niveles de emisión se encuentran directamente relacionados con el área inundada destinada al embalse de las hidroeléctricas.

Peña y Sánchez (2016) calcularon las inundaciones en el periodo comprendido entre 1987 y 2015, aguas abajo, de la Hidroeléctrica Betania, llegando a la conclusión de que las acciones de la central eléctrica fueron contrarias a lo establecido en su manual de operaciones. Durante la temporada de lluvias, la hidroeléctrica descargó masivamente sus aguas acumuladas con el fin restablecer los niveles permitidos, impulsando los fenómenos de inundaciones que ocurrieron y afectaron a los habitantes ribereños y sus actividades económicas, por lo que estos se vieron obligados a diversificar sus fuentes de sustento. Marín (2018) realizó una investigación sobre la afectación del clima de la zona circundante a la hidroeléctrica Guatapé; se estudiaron las variables de precipitación, temperatura y humedad del área de influencia encontrando datos que dan indicios sobre el incremento de la humedad, temperatura y precipitación, aunque no fueron concluyentes.

Martínez y Suárez (2019) analizaron la afectación que generan los sedimentos sobre la cobertura vegetal, aguas abajo de la hidroeléctrica Pescadero-Ituango, descubriendo que la baja sedimentación genera pérdida de vegetación y erosión del suelo con incidencia sobre la agricultura, especialmente sobre los cultivos de café y maíz. Otro de los impactos identificados, por la baja sedimentación, fue la disminución de la calidad del suelo debido a la remoción de tierra realizada durante la construcción, lo que afectó la estabilidad del suelo. En cuanto a los peces, hubo consecuencias como la inflamación de sus órganos respiratorios, lo que ocasionó la disminución de su resistencia a enfermedades y sus índices de crecimiento; asimismo, se afectó sus niveles de reproducción por el entierro y sofocamiento de los huevos, y la desaparición de zooplancton, invertebrados e insectos que constituían su alimento, reduciendo la oferta pesquera aguas abajo.

Lizarazo et al. (2020) midieron la concentración de ocho tipos de metales pesados presentes en vegetales producidos en zonas circundantes al embalse del Muña, de los cuales tres [arsénico, cromo y plomo] reportaron concentraciones superiores a los límites permitidos por las normas internacionales con presencia en diferentes partes de las plantas. Por su parte, Gómez et al. (2020) realizaron una simulación para estimar las emisiones de CO₂ en el embalse de Hidrosogamoso, a partir de la identificación de la materia orgánica [ciclo de carbono] y la calidad del agua, para lo cual se utilizaron catorce variables [entre parámetros de calidad del agua y CO₂]. Los investigadores encontraron que la producción de CO₂ se debe principalmente a la descomposición del carbono orgánico perteneciente a los suelos inundados y al agua de los tributarios, dentro de un proceso que puede durar entre 5 y 10 años después de la inundación. De igual manera, Rodríguez y Peñuela (2022) evaluaron los niveles de emisión de dióxido de carbono y metano por degradación biológica en Hidrosogamoso durante siete años, encontrando altos niveles de generación de gases de efecto invernadero en comparación con embalses nacionales como Betania, El Quimbo, Guatapé y Urrá I, especialmente en las etapas de llenado y operación.

Ramírez et al. (2010) estudiaron el régimen de caudales del río Cauca, antes y después de la construcción de la hidroeléctrica Salvajina, destacando la labor del embalse en el control de inundaciones en temporada de lluvias e incrementando el caudal del río mediante el aumento del flujo en temporada de sequía. De

igual manera, Cerón et al. (2021) determinaron la afectación que generó la hidroeléctrica de Salvajina sobre el nivel de precipitaciones aguas abajo del embalse, mediante un análisis de precipitaciones entre los años 1986 y 2019, concluyendo que los eventos de aumento o disminución de precipitaciones se hicieron más pronunciados en la zona después de la construcción del embalse. Finalmente, Zamora et al. (2020) analizaron los posibles efectos climatológicos derivados de la construcción de la hidroeléctrica Prado. Los resultados del estudio no fueron concluyentes, por lo que no se puede afirmar que, luego de la construcción de la hidroeléctrica, el microclima de la zona hubiese experimentado variaciones.

3.4 Impactos socioeconómicos

Quintero (2007) revisó dos estudios realizados por Interconexión S. A. [ISA] en 1989 y 1992 y encontró un registro de los beneficios, compensaciones e impuestos de las centrales hidroeléctricas Calderas y San Carlos. De acuerdo con los estudios, existen algunos aportes en obras de infraestructura, como carreteras, puentes, escuelas, centros de salud, acueductos y alcantarillados, entre otros. Para el año 2000, las centrales eran de propiedad de ISAGEN y uno de los informes señala que invirtieron en proyectos recreativos, culturales, educativos; además de saneamiento básico, vivienda de interés social y proyectos productivos. Finalmente, los municipios de Granada y San Carlos recibieron 427 y 5 819 millones de pesos respectivamente, en transferencias.

Égré & Senécal (2003) establecieron que los impactos sociales asociados a la construcción de la represa Urrá I estuvieron especialmente ligados al desplazamiento de comunidades indígenas y a la pérdida de actividades de sustento como la pesca y caza. Igualmente, los autores reconocieron efectos negativos como la generación de estrés y conflictos con las comunidades debido a la incertidumbre experimentada. De igual manera, Bustamante (2008) y Leguizamón (2015) estudiaron los impactos ambientales ocasionados por Urrá I; ellos encontraron que el embalse inundó alrededor de 7400 hectáreas, ocasionando el desplazamiento de la comunidad Embera Katíos del Alto Sinú y comprometiendo su economía de caza, pesca, recolección y cultivos itinerantes. Algo parecido identificaron con los colonos de la zona, quienes fueron desplazados de sus fincas y experimentaron desintegración familiar y una fuga migratoria y desordenada, aguas arriba del embalse; por su parte, los pescadores tuvieron que cambiar sus sitios de faena.

En el plano económico, la afluencia temporal de personal [contratistas y operarios] a la zona de Urrá I, con motivo de la construcción del proyecto, ocasionó variaciones en el empleo, salarios y producción, lo que generó un efecto de inflación microzonal que influyó gravemente a las comunidades campesinas del área; sin embargo, se identificó un impacto positivo para las finanzas municipales dado que el propietario de la hidroeléctrica pagaba anualmente los impuestos prediales de los terrenos inundados y ocupados (Bustamante, 2008; Leguizamón, 2015). Frente a la misma hidroeléctrica, Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015) estimaron que su construcción desplazó a más de 12000 personas y afectó a otros 60000 pescadores, aguas abajo del embalse, que perdieron la fuente primordial de su subsistencia sin recibir una clara compensación económica, comprometiendo gravemente sus ingresos y, en consecuencia, deteriorando su calidad de vida. La Asociación de Productores para el Desarrollo Comunitario de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú [Asprocig] (2002) también estableció una serie de impactos de la hidroeléctrica Urrá I, como la disminución del inventario de especies de peces de valor comercial significativo, lo que redundó en la reducción de los ingresos económicos de los pescadores de la zona, aumento del desempleo, desplazamiento progresivo de personas hacia los centros poblados, aumento de la inseguridad alimentaria de población vulnerable y pérdida de biodiversidad acuática.

Restrepo (2011) concluyó que la construcción de los embalses en el oriente antioqueño, como San Carlos, Calderas y Urrá I, ocasionó, por un lado, el crecimiento poblacional acelerado, el aumento de dinero circulante y la construcción de infraestructura; mientras por otro lado, generó el desplazamiento de personas debido a la inundación de tierras, la modificación de las dinámicas productivas, la destrucción de los lazos de cohesión y el surgimiento de nuevos estilos de vida. Así como cambios abruptos en los patrones familiares, aumento del hacinamiento, pérdida de los valores tradicionales, aumento en el costo de vida, contaminación de fuentes de agua y pérdida de bosques.

Torres (2013) analizó los cambios territoriales generados por la hidroeléctrica Ituango, identificando cambios en la tenencia de la tierra y en las relaciones sociales y comunitarias. Sobresale el descontento social por el hecho de que el censo no incluyera a todos los propietarios de la tierra y porque el valor del m² de tierra pagado no les permitiera a las personas comprar un predio de características similares en municipios cercanos. Esto afectó gravemente la calidad de vida de las personas desplazadas (Torres, 2013). Otro cambio experimentado fue en la tenencia de la tierra debido a los obstáculos para transitar por los caminos tradicionales dentro del territorio, especialmente para los mineros puesto que no podían acceder al río para realizar sus actividades tradicionales. Por otro lado, se registró el abandono del campo por parte de los campesinos para trabajar en el proyecto; aunque la generación de empleo es un impacto positivo, una vez terminó la construcción del embalse fue difícil el retorno al campo para trabajar la tierra (Torres, 2013).

Úsuga (2014) abordó la percepción sobre las afectaciones generadas por la hidroeléctrica Ituango que tenían los líderes de la zona. La percepción sobre el proyecto fue favorable y los líderes consideraban que han sido mayores los beneficios, que las afectaciones negativas para la región. Sobresalen como aspectos positivos: generación de energía eléctrica, creación de empleo, construcción de infraestructura vial, incremento de los ingresos, mejoramiento de viviendas y construcción de acueductos, entre otros. Entre los aspectos negativos se destacaron: la poca vinculación de mano de obra local, incremento de inseguridad, aparición de problemáticas sociales [drogadicción, alcoholismo, prostitución y embarazos en menores de edad], aumento en la movilidad de automóviles, motocicletas, buses de servicio público y privado, incremento de accidentes de tránsito, pocos beneficios para la actividad comercial y falta de socialización de los proyectos con la comunidad.

Madera (2014) evaluó los impactos de la hidroeléctrica Urrá I sobre tres comunidades de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú. Las comunidades afectadas están asentadas a orillas de la ciénaga y sus actividades productivas dependen fundamentalmente de sus recursos. Al respecto, los pobladores de la zona perciben una notoria disminución en la producción de sus principales actividades de sustento [como la pesca y la agricultura] la disminución de la calidad del agua, las migraciones de los pobladores y la conformación de asociaciones. Así, la construcción de la represa alteró el ciclo de inundaciones tradicionales, generados por el río Sinú, a tal punto que las personas que deciden sembrar lo hacen bajo la incertidumbre de que sus cultivos se inunden o mueran por falta de agua. Lo anterior es afín a lo encontrado por Vélez et al. (2006) y Vélez (2009), quienes evidenciaron la alteración del régimen de caudales ocasionados por la operación de Urrá I sobre los procesos de adecuación de tierras para uso pecuario y agrícola, lo cual causa restricciones en la disponibilidad de agua para las plantas y pone en riesgo la supervivencia de especies de la zona y la germinación de semillas.

Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015) analizaron los efectos fiscales de las hidroeléctricas, específicamente de Peñol-Guatapé, Jaguas, Playas, Punchiná y Calderas, ubicadas en la cuenca de los ríos Negro y Nare, como consecuencia de la Ley 56 de 1981 (Congreso de Colombia, 1981) y el Decreto 2024 de 1982 (Congreso de Colombia, 1982). El comportamiento del impuesto predial en los municipios afectados refleja una tendencia decreciente en la participación tributaria municipal; en el periodo comprendido entre 2000 y 2012, los municipios con más disminución en la participación fueron Santo Domingo (-26 %), San Roque (-25 %) y Concepción (-25 %), los cuales cuentan con hidroeléctricas. La compensación del impuesto predial surgió como medida para contrarrestar la afectación fiscal causada por el uso de los terrenos por las hidroeléctricas y busca que las empresas propietarias de las hidroeléctricas paguen los recursos que los municipios afectados dejan de percibir vía impuesto predial. Sin embargo, la norma establece un impuesto predial diferencial con una tasa fija del 6 por mil para las hidroeléctricas que contrasta con las tasas para el resto de la población, las cuales oscilan entre el 8 y el 12 por mil. Esto representa cerca del 45 % de diferencia, lo que es peculiar ya que se hace alusión a empresas altamente lucrativas (Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez, 2015).

Duarte-Abadía et al. (2015) identificaron los impactos sociales generados por Hidrosogamoso sobre los recursos territoriales, las prácticas de control del agua y la subsistencia de la comunidad compuesta por pequeños agricultores, pescadores, vendedores de pescado, migrantes y pequeños mineros. A pesar de las grandes dificultades emanadas de su informalidad, los afectados lograron visibilizarse bajo la figura

«Movimiento Social por la Defensa del Río Sogamoso». Como consecuencia adicional, se han generado conflictos dentro de la comunidad entre quienes quieren vender e irse y quienes se resisten a abandonar la zona. Asimismo, Arias et al. (2016) y Urueña y Sánchez (2016) resaltaron los impactos producidos por Hidrosogamoso sobre las comunidades circundantes, especialmente aquellas que fueron desplazadas y reasentadas en otros predios. Ellos señalaron que el desplazamiento incluyó el área del embalse, las zonas perimetrales o de protección, las áreas inestables, las zonas de obras sustitutivas, las áreas utilizadas como fuentes de materiales de construcción, las zonas de depósito de materiales y residuos y las requeridas para la ubicación de los campamentos. Las afectaciones sociales se pueden describir en términos de la pérdida de espacios comunitarios y culturales, la disminución de las oportunidades de empleo e ingreso vinculadas con la tierra, los cambios en la demanda laboral debido a la solicitud de mano de obra para el proyecto, el debilitamiento de las redes comerciales para productos agropecuarios y la pérdida de cohesión y tejido social debido a la inmigración y el desplazamiento de los pobladores de la zona, entre otros (Arias et al., 2016; Urueña y Sánchez, 2016).

Hermosa (2018) analizó el impacto ambiental y socioeconómico generado por la hidroeléctrica El Quimbo sintetizándolo en tres aspectos: impacto ambiental originado por aguas contaminadas que disminuyeron la riqueza del río debido a la mortandad de peces en la represa, lo que puso en riesgo el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y terrestres; impacto social representado en conflictos entre vecinos debido a la venta de los predios y al traslado hacia otros terrenos, así como la pérdida de espacios comunes y de lugares de recreación y esparcimiento; y el impacto económico evidenciado en factores económicos desfavorables como la pérdida de actividades de sustento [la pesca, la agricultura de sustento y pequeñas actividades agropecuarias] y el descenso de la actividad comercial.

Muñoz (2018) y Ramírez & Muñoz (2020) estudiaron la influencia de la construcción y operación de las centrales hidroeléctricas de Betania y El Quimbo sobre la sostenibilidad del departamento del Huila, concluyendo que Betania contribuyó, junto con la industria de extracción minera y los hidrocarburos, al Producto Interno Bruto [PIB] departamental; no obstante, el PIB departamental no ha sufrido incrementos significativos y presenta un patrón de estancamiento económico durante las últimas décadas. Asimismo, resaltan el déficit ecológico de los municipios en la zona de influencia de las hidroeléctricas, evidenciando que su presencia en el territorio huilense ha modificado negativamente el paisaje. Por último, el estudio destaca que Betania ha permitido el desarrollo de la agroindustria piscícola y, en menor grado, el turismo náutico.

Gutiérrez y Pinzón (2018) estudiaron las transformaciones territoriales sufridas por los pescadores artesanales en el Huila con motivo de la hidroeléctrica El Quimbo. Los autores realizaron múltiples entrevistas a los pescadores de una asociación local, encontrando impactos como la pérdida de calidad del agua ya que esta no se considera apta para el consumo humano debido a que la madera talada no fue retirada del río, lo que ocasionó saturación de metano con la respectiva mortandad de peces, disminución del inventario de especies y enfermedades en pescadores que eventualmente tuvieron contacto con el agua. Asimismo, sobresale el cambio del cauce y el desplazamiento de los pescadores a orillas del río, afectando el sustento y seguridad alimentaria de varias familias y la pérdida de espacios comunes para la interacción social. Lo anterior redundó en el cambio del estilo de vida de la comunidad y sus integrantes, la pérdida del ingreso familiar y el deterioro de la estructura familiar y social.

Muñoz (2019) abordó el estudio de impacto ambiental de la central hidroeléctrica Porce III a partir de los efectos sociales ocasionados, entre los que sobresalen las afectaciones a más de 500 personas dedicadas a actividades mineras [extracción de oro de veta y aluvión] y a jornaleros agropecuarios, aparceros, productores agropecuarios, cuidanderos, vaqueros y propietarios de negocios comerciales. El autor reportó impactos significativos como el cambio estructural de la población afectada directamente, la generación de empleo y el mejoramiento de las finanzas municipales. Asimismo, Jiménez et al. (2020) evaluaron la percepción de la comunidad frente a los impactos generados por la hidroeléctrica Porce III. Ellos identificaron impactos como deforestación y pérdida de cobertura vegetal, erosión del suelo, desplazamiento de especies animales,

proliferación de plagas y vectores, cambios en el microclima, entre otros. Los pobladores coinciden en que las transformaciones generadas por la construcción del embalse obligaron a cambiar la estructura organizacional y económica en la región. Finalmente, otra de las opiniones con gran consenso fue que el cambio del clima en la zona afecta el desarrollo y producción de cultivos. Montaña et al. (2019) destacan que la hidroeléctrica de Ituango generó un impacto ambiental que afectó a los habitantes de los 12 municipios que abarca el proyecto, comprometiendo su integridad, estilo de vida, territorio y ambiente en el que conviven; lo que ocasionó daños y afectaciones permanentes e irreversibles en el ecosistema y el entorno.

Barriga (2019) estudió los impactos socioambientales de la hidroeléctrica Tominé y los embalses de El Guavio, El Hato, El Sisga, Neusa, Chisacá-La Regadera, Chuza, Chingaza, El Muña y San Rafael. Frente a Tominé, sobresale el importante desarrollo turístico que generó, incluyendo los empleos, la integración municipal y las oportunidades en temas económicos, sociales y recreativos. El Guavio presenta una problemática social y ambiental que tuvo su génesis desde el represamiento de los ríos Guavio, Batatas y Chivor, lo que provocó la inundación y pérdida de tierras fértiles de la zona, afectando la economía de la población vecina y creando descontento generalizado. Asimismo, se registran efectos negativos como el deterioro de la infraestructura vial, ruptura de las relaciones entre la comunidad y las autoridades locales, y el aumento de los daños a los cultivos por las frecuentes descargas de agua. En contraste, se identificaron impactos positivos como el aumento del valor de las tierras, la generación de empleo y el desarrollo turístico (Barriga, 2019). Con relación al embalse del Hato, se destacan las actividades turísticas que se vienen desarrollando y, por ende, la generación de empleo que dinamiza el mercado laboral de la zona (Arias y Bello, 2017). Los embalses de Neusa, Sisga y Chisacá-La Regadera presentan impactos ambientales mínimos e impactos socioeconómicos positivos debido al uso del agua para actividades agrícolas, pecuarias y recreativas, y a su labor en el control de inundaciones. Por otro lado, el embalse de Chuza tiene importancia porque abastece a la población de Bogotá transportando agua al embalse de San Rafael (Barriga, 2019).

Sarmiento et al. (1999) confirman el alto nivel de contaminación que tiene el embalse del Muña por cuenta de la presencia de materia orgánica y sustancias químicas, incluidos metales pesados. Así, advierten del riesgo de contaminación de la cadena trófica y, por ende, de la afectación del ser humano; no obstante, los investigadores no lograron establecer un vínculo directo entre las dinámicas de morbilidad y mortalidad, y las condiciones ambientales del embalse. El embalse del Muña es una fuente de energía importante para Bogotá, sin embargo, ha generado problemas en la población de Sibaté debido a la mala calidad del agua; esta genera enfermedades y malos olores puesto que también es usada como sistema de riego, transportando los contaminantes a los alimentos (Funeme, 2017). Este embalse tuvo un inicio prometedor frente al turismo y las actividades náuticas, lo que permitió que los ingresos aumentaran y la economía de la zona mejorara en gran medida; no obstante, el bombeo de agua del río Bogotá empeoró la calidad del agua hasta que se prohibió todo tipo de actividad en el embalse (Barriga, 2019). Roa et al. (2019) destacan el aporte de la hidroeléctrica Chivor a la matriz energética nacional y a la economía regional, estimulando actividades como el ecoturismo y el turismo de aventura. Sin embargo, Roa et al. (2019) y Correa (2013) advierten que el proyecto desplazó alrededor de 250 familias e inundó más de 1.200 h, incrementó la temperatura y humedad de la zona, imposibilitó la siembra de ciertos cultivos, afectó la seguridad alimentaria, aumentó la erosión de ciertas superficies, acrecentó la pérdida de biodiversidad e incrementó el desarraigo de personas de la región y su posterior migración a la capital del país.

Aristizábal (2020) evaluó el impacto de la hidroeléctrica San Carlos sobre la economía campesina en Antioquia, destacando la pérdida de predios productivos vendidos a precios irrisorios en favor de la empresa propietaria del proyecto y, por consiguiente, el desplazamiento de personas. Asimismo, registra la desaparición de centros poblados de la zona y la aparición de enfermedades humanas, animales y vegetales ligadas al agua del embalse, debido al incremento en la humedad de la zona. El autor destaca el notable nivel de organización de la población para enfrentar los efectos económicos y sociales generados por la hidroeléctrica San Carlos; sin embargo, se incrementó el nivel de violencia que sufrieron las organizaciones sociales a

manos de grupos armados. Igualmente, sobresale el crecimiento poblacional experimentado [alrededor del 46 %] entre 1973 y 1985 por la inmigración de personal con motivo de las obras realizadas por la empresa (Aristizábal, 2020). Para Aristizábal (2020), aunque a los propietarios de los predios se le compraron los terrenos, la población reasentada se vio empobrecida debido a que hubo un desplazamiento de lo rural a lo urbano, con escasas posibilidades de empleo formal, engrosando la informalidad y pobreza en los cascos urbanos. La mano de obra del campo se fue desplazó hacia las ciudades y el campo se quedó sin fuerza de trabajo, por lo que se vio disminuida la producción agropecuaria.

Carmona & Puerta (2020) establecieron una serie de impactos generados por el embalse multipropósito El Cercado, entre los que sobresalen el suministro de agua para consumo humano y para riego en la agricultura, además de la generación eléctrica. El estudio advierte serios conflictos con la comunidad debido a las restricciones para el acceso al agua de las comunidades nativas. Finalmente, Patiño (2021) realizó un amplio análisis sobre las implicaciones sociales que tuvo la construcción de las hidroeléctricas de Guatapé, Calderas, San Carlos, Jaguas y Playas, entre 1964 y 1998, en el oriente antioqueño. El autor estableció que la construcción de las represas necesarias para la generación de energía tuvo grandes impactos negativos a nivel social, como la concentración de tierras en pocas manos, el desplazamiento forzado, la privatización del agua y el exterminio de las organizaciones sociales de base que se opusieron a los proyectos.

3.5 Consolidación de impactos bióticos, abióticos y socioeconómicos

Como un ejercicio de síntesis, a continuación, se consolida el inventario de impactos, identificados en las investigaciones abordadas y generados por la construcción y operación de las hidroeléctricas en Colombia [Tabla 1].

| Bióticos | | | Abióticos (físicos) | | | Socioeconómicos | | |
|----------|----------------|--------|---|---|--|---|--|---|
| | | | Positivos | | | | | |
| Nombre | Hidroeléctrica | Fuente | Nombre | Hidroeléctrica | Fuente | Nombre | Hidroeléctrica | Fuente |
| | | | Mejoramiento de la calidad del agua del embalse | Porce II | Buenaventura y Vélez (2003) | Crecimiento poblacional de la zona | Urrá I, San Carlos, Calderas, Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce | Urrá I, San Carlos, Calderas, Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce |
| | | | Mejoramiento de la calidad del agua del río aguas abajo del embalse | Porce II, Urrá I | Buenaventura y Vélez (2003), Wilches et al. (2020) | Aumento de los ingresos de las entidades territoriales por transferencias | San Carlos, Calderas, Porce III, Urrá I | Quintero (2007), Muñoz (2019), Leguizamón (2015) |
| | | | Disminución de las inundaciones aguas abajo del embalse | Urrá I, Neusa, Sisga, Chiscá-La Regadera, Salvajina | Madera (2014), Barriga (2019), Ramírez et al. (2010) | Aumento de obras de infraestructura (carreteras, puentes y escuelas, entre otros) | San Carlos, Calderas, Urrá I, Ituango | Quintero (2007), Restrepo (2011), Usuga (2014) |
| | | | Incremento en la disponibilidad de agua para riego de cultivos | Neusa, Sisga, Chiscá-La Regadera, Muña, El Cercado | Barriga (2019), Fumene (2017), Carmona & Puerta (2020) | Incremento de la actividad económica piscícola | Betania, Quimbo | Muñoz (2018), Ramírez y Muñoz (2020) |
| | | | Incremento en la disponibilidad de agua para consumo humano | Neusa, Sisga, Chiscá-La Regadera, Chuza, El Cercado | Barriga (2019), Carmona & Puerta (2020) | Aumento generalizado de los salarios en la zona | Urrá I | Bustamante (2008), Leguizamón (2015) |
| | | | | | | Aumento de la inmigración de personas hacia la zona de influencia | Urrá I, Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce IV, San Carlos | Bustamante (2008), Viviescas-Santana (2014), Usuga (2014), Aristizábal (2020) |
| | | | | | | Aumento del empleo temporal en el proyecto | Urrá I, Ituango, Sogamoso, Porce III | Bustamante (2008), Usuga (2014), Arias et al. (2016), Uruña y Sánchez (2016), Muñoz |

TABLA 1.
Inventario de impactos generados por las hidroeléctricas en Colombia

JUAN MANUEL ANDRADE NAVIA, ET AL. IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LAS HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA

| | | | | | | | | |
|---|---|--|--------------------------------------|--|---|--|---|---|
| | | | | | | | | Sánchez (2016), Hermosa (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Aristizábal (2020) |
| Fragmentación de ecosistemas | Quimbo, Betania, Ituango, Porce IV, Porce III, Sogamoso | Viviescas-Santana (2014), Restrepo-Santamaría et al. (2022), Carvajal-Quintero et al. (2017) | Pérdida de la conectividad del río | Sogamoso, Quimbo, Betania, Ituango, Sogamoso, Porce IV | Ardila (2014), Viviescas-Santana (2014), Carvajal-Quintero et al. (2017), Hermosa (2018) | Disminución del área de actividades económicas agropecuarias | Urrá I, Sogamoso, Porce III, Ituango, Chivor | Asprociq (2002), Madera (2014), Arias et al. (2016), Uruña y Sánchez (2016), Hermosa (2018), Muñoz (2019), Martínez y Suárez (2019), Montaña et al. (2019), Jiménez et al. (2020), Roa et al. (2019), Correa (2013) |
| Incremento del riesgo de extinción de especies nativas | Quimbo, Betania | Carvajal-Quintero et al. (2017) | Aumento de la contaminación del aire | Sogamoso, Guavio, Quimbo, Troneras, Urrá I | Ardila (2014), Mayor (2016), Gómez et al. (2020), Rodríguez & Peñuela (2022) | Disminución de sitios de pesca | Urrá I, Quimbo | Bustamante (2008), Ríos-Ocampo y Vélez-Gómez (2015), Hermosa (2016), Gutiérrez y Pinzón (2018), Leguizamón (2015) |
| Aumento de cianobacterias de alta toxicidad en los embalses | Riógrande II | Arisemendi-González et al. (2021) | Alteración del microclima de la zona | Sogamoso, Peñol-Guatapé, Salvajina, Chivor, Porce III | Ardila (2014), Cerón et al. (2021), Marín (2018), Sailor & Rosen (1998), Álvarez y Avellaneda (2015), Ramírez et al. (2010), Jiménez et al. (2020), Roa et al. (2019) | Incremento de la violencia contra la población civil | Calderas, Jaguas, Guatapé, Playas, San Carlos | Aristizábal (2020), Patiño (2021) |
| Aumento de la mortalidad fauna acuática nativa | Porce III | Restrepo-Santamaría et al. | Disminución del caudal del río | Urrá I, Quimbo, Betania, | Vélez et al. (2006), Vélez (2009), | Aumento de la pobreza de la | San Carlos | Aristizábal (2020) |

Tabla 1 ... continuación.

| | | | | | | | | |
|---|-----------|--|---|----------------------------|--|---|--|---|
| | | (2022), Valencia-Rodríguez et al. (2022) | aguas abajo del embalse | Sogamoso, Ituango | Leguizamón (2015), Angarita et al. (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Martínez y Suárez (2019) | población reasentada | | |
| Aumento de la mortalidad de flora acuática nativa | Porce III | Restrepo-Santamaría et al. (2022) | Incremento de las inundaciones aguas abajo del embalse | Betania | Peña y Sánchez (2016) | Disminución del recurso pesquero | Urrá I, Sogamoso, Quimbo, Ituango | Asprociq (2002), Ardila (2014), Madera (2014), Hermosa (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Martínez y Suárez (2019) |
| Aumento del desplazamiento de fauna terrestre | Porce III | Jiménez et al. (2020) | Disminución de la sedimentación del río aguas abajo del embalse | Ituango | Martínez y Suárez (2019) | Pérdida de prácticas culturales | Urrá I, Calderas, San Carlos, Sogamoso, Quimbo | Bustamante (2008), Restrepo (2011), Arias et al. (2016), Uruña y Sánchez (2016), Hermosa (2018), Montaña et al. (2019) |
| | | | Incremento de la erosión aguas abajo del embalse | Ituango, Porce III, Chivor | Martínez y Suárez (2019), Jiménez et al. (2020), Roa et al. (2019), Correa (2013) | Pérdida de espacios de interacción social y comunitario | Sogamoso, Quimbo, Guavio | Arias et al. (2016), Uruña y Sánchez (2016), Hermosa (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Montaña et al. (2019), Barriga (2019) |
| | | | Aumento de la inestabilidad geológica | Ituango | Martínez y Suárez (2019) | Aumento del costo de vida | Urrá I, Calderas, San Carlos | Bustamante (2008), Restrepo (2011), Leguizamón (2015) |
| | | | Aumento en la generación de malos olores | Muña | Fumene (2017) | Disminución del área de tierras fértiles | Urrá I, Sogamoso, Guavio | Bustamante (2008), Ardila (2014), Barriga (2019) |

Tabla 1 ... continuación.

| | | | | | |
|---|--|--|---|--|--|
| Disminución del área de cobertura vegetal | Urrá I, San Carlos, Calderas, Quimbo, Betania, Ituango, Sogamoso, Porce IV, Ituango, Porce III | Restrepo (2011), Viviescas-Santana (2014), Úsuga (2014), Muñoz (2018), Gutiérrez y Pinzón (2018), Montaña et al. (2019), Ramírez y Muñoz (2020), Jiménez et al. (2020) | Aumento de emigración de la población local a otras regiones | Urrá I, Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce IV, San Carlos, Chivor | Bustamante (2008), Viviescas-Santana (2014), Madera (2014), Arias et al. (2016), Uruña y Sánchez (2016), Aristizábal (2020), Leguizamón (2015), Roa et al. (2019), Correa (2013) |
| Incremento en la acumulación de metales pesados en el embalse | Urrá I, Muña | Feria et al. (2010), Marrugo-Negrete et al. (2015), Lizarazo et al. (2020), Sarmiento et al. (1999) | Aumento de la presión sobre el empleo local | Urrá I, Ituango | Bustamante (2008), Úsuga (2014) |
| Desaparición de corredores de acceso a los ríos | El Cercado, Sogamoso | Carmona & Puerta (2020), Ardila (2014) | Incremento del descontento social | Ituango | Torres (2013) |
| | | | Disminución de actividades económicas tradicionales – minería | Ituango, Porce III | Torres (2013), Muñoz (2019) |
| | | | Disminución de minifundios | Quimbo, Ituango, Sogamoso, Porce IV, Guatapé, Calderas, San Carlos, Jaguas, Playas | Viviescas-Santana (2014), Hermosa (2018), Patiño (2021) |
| | | | Incremento de la inseguridad y criminalidad | Ituango | Úsuga (2014) |
| | | | Incremento de los embarazos en adolescentes | Ituango | Úsuga (2014) |
| | | | Incremento de fenómenos de la drogadicción y alcoholismo | Ituango | Úsuga (2014) |
| | | | Aumento de la prostitución | Ituango | Úsuga (2014) |

Tabla 1 ... continuación.

| | | | | | |
|--|--|--|---|------------------------------|--|
| | | | Incremento del flujo vehicular en la zona urbana y rural | Ituango | Úsuga (2014) |
| | | | Incremento de la accidentalidad vial en la zona urbana y rural | Ituango | Úsuga (2014) |
| | | | Incremento de enfermedades de origen hídrico | Quimbo, Muña | Gutiérrez y Pinzón (2018), Fumene (2017) |
| | | | Aumento de hacinamiento | San Carlos, Calderas, Urrá I | Restrepo (2011) |
| | | | Incremento en el abandono de actividades agropecuarias tradicionales | Ituango, Urrá I | Égré & Senécal (2003), Torres (2013) |
| | | | Disminución de obras de infraestructura (carreteras, puentes y escuelas, entre otros) | Guavio | Barriga (2019) |
| | | | Aumento de los conflictos dentro de la comunidad | Urrá I, Quimbo, Sogamoso | Égré & Senécal (2003), Hermosa (2018), Duarte-Abadía et al. (2015) |

Tabla 1 ... continuación.

Autores

4. DISCUSIÓN

En el estudio realizado se identificaron, en total, setenta y seis [76] impactos ambientales generados por las hidroeléctricas en Colombia, registrados en literatura especializada y literatura gris. Se puede apreciar que, comparativamente, existe una mayor cantidad de impactos negativos identificados que positivos. En efecto, se clasificaron veinte [20] impactos como positivos, mientras cincuenta y seis [56] fueron calificados como negativos. Los impactos positivos se concentraron en el ámbito socioeconómico, representando el 75 % de los impactos positivos determinados, el otro 25 % se ubicó en el ámbito abiótico o físico, y el aspecto biótico no registró impactos positivos. Frente a este último fenómeno, se advierte que los estudios que se realizan en el plano biológico son especialmente críticos frente a la construcción de represas, debido a la inundación de grandes extensiones de tierra para construcción de los embalses, acarreando consecuencias como la destrucción de ecosistemas nativos, la fragmentación de los ríos y las grandes modificaciones de las cadenas tróficas.

Se puede inferir que el mayor volumen de impactos negativos está directamente relacionado con el número de estudios seleccionados que tenían como objetivo la identificación y valoración de las afectaciones negativas generadas por las hidroeléctricas; en otras palabras, hay más impactos negativos identificados porque fue mayor el número de documentos que los expusieron. En contraste, los documentos que evidenciaron impactos positivos fueron escasos, ya que se reconocen transformaciones positivas como efectos residuales; es decir, los impactos positivos pocas veces fueron el objetivo central de los estudios. En la clasificación de impactos que se realizó, de acuerdo con los ámbitos establecidos por la normatividad nacional, diez [10] correspondieron al ámbito biótico; veintidós [22], al abiótico; y cuarenta y cuatro [44] al socioeconómico. Dentro de los bióticos, la totalidad de los impactos se categorizaron como negativos; en los abióticos, cinco [05] fueron positivos y diecisiete (17) negativos; y en los socioeconómicos, quince [15] fueron positivos y veintiocho [28] negativos.

La frecuencia de aparición de los impactos se midió reportando su presencia en los diferentes embalses analizados. Los impactos abióticos positivos de mayor frecuencia fueron el *incremento en la disponibilidad de agua para riego de cultivos*, presente en seis [6] embalses; seguido de la *disminución de las inundaciones aguas abajo del embalse y el incremento en la disponibilidad de agua para consumo humano*, ambos con reporte en cinco [5] embalses. Asimismo, en los impactos socioeconómicos positivos sobresalen el *crecimiento poblacional de la zona, con siete [7] embalses; seguido del aumento de la inmigración de personas hacia la zona de influencia y el incremento de actividades económicas asociadas al turismo*, con seis [6] cada uno. De otra parte, dentro de los impactos bióticos negativos sobresale la *disminución de la biodiversidad*, presente en ocho [8] casos; seguido de la *fragmentación de ecosistemas* con seis (6) y la *interrupción de los ciclos de reproducción de peces* con cinco (5). En los impactos abióticos negativos sobresale la *disminución del área de cobertura vegetal*, presente en diez [10] represas, seguido de la *pérdida de la conectividad del río* con seis [6]. En cinco [5] casos se registraron: *la inundación de tierras, el deterioro de la calidad del agua del río aguas abajo del embalse, el aumento de la contaminación del aire, la alteración del microclima de la zona y la disminución del caudal del río* aguas abajo del embalse. Los impactos socioeconómicos, registrados con mayor frecuencia, fueron el aumento del desplazamiento humano registrado en once [11] represas, seguido de la *disminución de minifundios* en nueve [9] y el aumento de *emigración de la población local a otras regiones* en siete [7].

Las hidroeléctricas en la que se enfocaron la mayor cantidad de estudios fueron las ubicadas en el departamento de Antioquia, posiblemente por el número significativo de hidroeléctricas que concentra, en comparación con otros departamentos. Sin embargo, a nivel individual es probable que la hidroeléctrica Urrá I, ubicada en el departamento de Córdoba, sea la que más ha despertado el interés de la academia, probablemente por las problemáticas y polémicas suscitadas. Existen otros casos como la hidroeléctrica de Betania [Huila], Salvajina [Cauca] y Prado [Tolima] que tienen un bajo nivel de estudio o la hidroeléctrica de Calima [Valle del Cauca] que no reportaron en la presente investigación ningún documento de estudio.

Se debe advertir que se encontraron un mayor número de documentos correspondientes a la literatura gris, frente a la literatura científica, con una notable cantidad de investigaciones de trabajos de pregrado, seguidas de las investigaciones a nivel de maestrías y muy pocas a nivel de doctorado. Los artículos de investigación, alojados en la base de datos Scopus, fueron escasos [cerca de 30 artículos] en comparación con los encontrados para otros países, como China y Brasil, con una mayor experiencia en el análisis de este tipo de fenómenos. Por su parte, la aparición de la mayoría de los documentos analizados se puede ubicar dentro de la década 2013-2022 [Figura 2], denotando un interés reciente y creciente de la academia por el estudio de las hidroeléctricas, en lo relacionado con las consecuencias generadas por su construcción y operación. Al respecto, hay dos tendencias fuertes en los estudios: el interés por el estudio de hidroeléctricas que entraron en operación durante las dos últimas décadas o próximas a entrar en operación, con un alto grado de problemática social, como Urrá I [2000], Porce III [2011], Sogamoso [2014], Quimbo [2015] e Ituango; y las hidroeléctricas de vieja data como Chivor [1982], San Carlos [1984], Betania [1987] y Guavio [1992], entre otras. No obstante, contrastado con la fecha de aparición de los estudios, es mayor el interés

investigativo sobre las hidroeléctricas más recientes, soportado en la vigencia de los impactos aún presentes y manifiestos en el entorno.

Finalmente, con base en los impactos identificados y clasificados en el presente estudio, es posible afirmar [de manera preliminar] que múltiples impactos son comunes a los ocasionados por represas en otros países. Así, hay coincidencia en impactos negativos como el desplazamiento masivo de personas, la pérdida de áreas de tierra con vocación agropecuaria y la inundación de tierras, entre otros. De igual manera, se hallaron impactos positivos comunes como el suministro de agua para el consumo humano, las actividades agropecuarias y el control de las inundaciones, entre otros (Andrade y Olaya, 2021).

5. CONCLUSIONES

Las afectaciones ambientales generadas por las hidroeléctricas en Colombia fueron identificadas y clasificadas durante la revisión y análisis de las múltiples fuentes documentales, en los que se estableció que existe predominancia de los impactos negativos sobre los positivos para el caso colombiano. Asimismo, se advierte que el ámbito socioeconómico tiene un mayor volumen de impactos reconocidos. De igual manera, se aprecia una mayor cantidad de documentos extraídos de la literatura gris sobre la literatura especializada; lo que podría evidenciar un campo de conocimiento incipiente aún, dada la cantidad de estudios y la rigurosidad científica exhibida.

AGRADECIMIENTOS

Al programa de Doctorado en Agroindustria y Desarrollo Agrícola Sostenible de la Universidad Surcolombiana.

LITERATURA CITADA

- Agencia Internacional de la Energía [AIE]. (2022). Producción de electricidad a partir de fuentes hidroeléctricas (% del total). <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.HYRO.ZS?end=2015&start=2000>
- Agencia Internacional de la Energía [AIE]. (2016). Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita). <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>
- Álvarez, R. y Avellaneda, M. I. (2015). Identificación de impactos en el sector agrícola y en la energía disponible de central hidroeléctrica AES Chivor, asociados a la variación en el mesoclima producto de la formación antrópica de la lámina de agua del embalse La Esmeralda [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/40/
- Andrade, J. M. y Olaya, A. (2021). Impactos económicos, sociales y ambientales generados por las grandes hidroeléctricas. Una revisión. *Interciencia*, 46(1), 19-25. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33965751003>
- Angarita, H., Wickel, A. J., Sieber, J., Chavarro, J., Maldonado-Ocampo, J. A., Herrera, G., Delgado, J. & Purkey, D. (2018). Basin-scale impacts of hydropower development on the Mompós Depression wetlands, Colombia. *Hydrology Earth System Sciences*, 22, 2839–2865. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2839-2018>
- Ardila, N. (2014). Como el agua entre los dedos. Estudio de los impactos de un proyecto hidroeléctrico, y de las frágiles y débiles acciones colectivos en la defensa de un río: Caso Hidrosogamoso [Tesis de maestría, Universidad del Rosario]. E-docUR. https://doi.org/10.48713/10336_4961
- Arias, L. M., Duque, A., Meneses, S. y Ramírez, J. E. (2016). Estrategias de mitigación de impactos ambientales implementadas en el proyecto hidroeléctrico de Sogamoso [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Javeriana.

- Arias, J. A. y Bello, D. (2017). Propuesta de actividades ecoturísticas para el parque El Hato entre Ubaté y Carmen de Carupa Cundinamarca [Tesis de pregrado, Universidad Agustiniana]. Repositorio Dspace. <http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl:8081/handle/123456789/1604976>
- Arismendi-González, L., Sepúlveda-Sánchez, M., Arboleda-Baena, C. M., Palacio-Betancur, H., Ramos, E., Muskus-López, C. E., Pohlen, E., Molina, M. E., Betancur, J. y Palacio, J. (2021). Evidence for toxic cyanobacteria in sediments and the water-sediment interface of a tropical drinking water reservoir. *Limnologia*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2021.125924>
- Aristizábal, I. M. (2020). Transformaciones en la economía campesina: el caso de la hidroeléctrica San Carlos en Antioquia [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.51037>
- Asociación de Productores para el Desarrollo Comunitario de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú [Asprociog]. (2002). Urra I: más que energía un proyecto alienador [Conferencia]. II Panel Internacional: Energía para Sociedades Sustentables, Bogotá, Colombia.
- Barriga, J. A. (2019). Evaluación de la calidad hídrica e impactos socioambientales de los embalses de Cundinamarca, Colombia [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/46757>
- Buenaventura, N. S., y Vélez, C. P. (2003). Evaluación de la calidad del agua del Río Porce, teniendo en cuenta el aporte de aguas contaminadas de la ciudad de Medellín y la operación del proyecto hidroeléctrico Porce II [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle] *Ciencia Unisalle*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1683/
- Bustamante, C. A. (2008). Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre]. Repositorio digital. <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/292>
- Carmona, S. & Puerta, C. (2020). How do environmental impact assessments fail to prevent social conflict? Government technologies in a dam project in Colombia. *Journal of Political Ecology*, 20(1), 1072-1091. <https://doi.org/10.2458/v27i1.23223>
- Carvajal-Quintero, J. D., Januchowski-Hartley, S. R., Maldonado-Ocampo, J. A., Jézéquel, C., Delgado, J. & Tedesco, P. A. (2017). Damming Fragments Species' Ranges and Heightens Extinction Risk. *Conservation Letters*, 10(6), 708–716. <https://doi.org/10.1111/conl.12336>
- Cerón, W. L., Kayano, M. T., Ocampo-Marulanda, C., Canchala, T., Rivera, I. A., Avila-Diaz, A., Andreoli, R. V. & Parente, I. (2021). Spatio-Temporal Variability of Hydroclimatology in the Upper Cauca River Basin in Southwestern Colombia: Pre- and Post-Salvajina Dam Perspective. *Atmosphere*, 12(11), 1527. <https://doi.org/10.3390/atmos12111527>
- Comisión Internacional de Grandes Represas [ICOLD]. (2017). Definition of large dam. http://www.icold-cigb.net/GB/dams/definition_of_a_large_dam.asp
- Comisión Mundial de Represas [CMR] (2000). *Dams and Development: A New Framework for Decision-making*. Routledge
- Correa, M. Y. (2013). La conquista hidrosocial del Valle de Tenza (Boyacá-Colombia): El paisaje hídrico de la región en el marco de la planeación y construcción de la represa del Chivor 1940-2010 [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21557>
- Dopico, E., Arboleya, E., Fernández, S., Borrell, Y., Consuegra, S., García, C., Lázaro, G., Rodríguez, C. & García-Vázquez, E. (2022). Water security determines social attitudes about dams and reservoirs in South Europe. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10170-7>
- Duarte-Abadía, B., Boelens, R. & Roa-Avedaño, T. (2015). Hydropower, Encroachment and the Re-patterning of Hydrosocial Territory: The Case of Hidrosogamoso in Colombia. *Human Organization*, 74(3), 243-254. <http://doi.org/10.17730/0018-7259-74.3.243>
- Égré, D. & Senécal, P. (2003). Social impact assessments of large dams throughout the world: lessons learned over two decades. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 21(3), 215-224. <https://doi.org/10.3152/147154603781766310>

- Ember. (2022). Global Electricity Review 2022. https://ember-climate.org/app/uploads/2022/03/SP_Report-GER22.pdf
- Feria, J. J., Marrugo, J. L. & González, H. (2010). Heavy metals in Sinú river, department of Córdoba, Colombia, South America. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 55, 35-44. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n55/n55a04.pdf>
- Funeme, C. N. (2017). Análisis de la calidad del agua del embalse de Muña para su posible tratamiento [Tesis de pregrado, Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”], Repositorio Institucional. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6660>
- Gómez, I. N., Vélez, F., y Peñuela, G. A. (2020). Application of multivariate methods and geostatistics to model the relationship between CO2 emissions and physicochemical variables in the Hidrosogamoso reservoir, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, 1-13. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X1717>
- Grigg, N. S. (2019). Global water infrastructure: state of the art review. *International Journal of Water Resources Development*, 35(2), 181–205. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1401919>
- Gutiérrez, B. C. y Pinzón, E. A. (2018). Prácticas de resistencias de los pescadores artesanales del Hobo en respuesta a las transformaciones territoriales por la hidroeléctrica “El Quimbo” [Tesis de maestría, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio institucional. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/7844>
- Harper, M., Rytwinski, T., Taylor, J. J., Bennett, J. R., Smokorowski, K. E., y Cooke, S. J. (2020). How do changes in flow magnitude due to hydroelectric power production affect fish abundance and diversity in temperate regions? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 9, 14. <https://doi.org/10.1186/s13750-020-00198-5>
- Hermosa, J. A. (2018). Impacto socioeconómico del proyecto “represa hidroeléctrica el Quimbo”. Una mirada desde la comunidad del municipio de Gigante, departamento del Huila [Tesis de maestría, Universidad de Manizales]. Ridum. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4079>
- Jiménez, R. D., Sánchez, J. y Álvarez, L. (2020). Análisis de la percepción de los impactos socio ambientales generados por el proyecto hidroeléctrico Porce III [Tesis de pregrado, Tecnológico de Antioquia]. Repositorio Digital. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1451?show=full>
- Keppeler, F. W., Andrade, M. C., Trindade, P. A. A., Sousa, L. M., Arantes, C. C., Winemiller, Q. O., Jensen, O. P. & Giarrizzo, T. (2022). Early impacts of the largest Amazonian hydropower project on fish communities. *Science of The Total Environment*, 838(2) <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155951>
- Leguizamón, Y. R. (2015). Conflictos ambientales y movimientos sociales: el caso del movimiento embera katío en respuesta a la construcción de la represa Urrá (1994-2008). *Memoria y Sociedad*, 19(39), 94-105. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.mys19-39.cams>
- Lizarazo, M. F., Herrera, C. D., Celis, C. A., Pombo, L. M., Teherán, A. A., Piñeros, L. G., Forero, S. P., Velandia, J. R., Díaz, F. E., Andrade, W. A. & Rodríguez, O. E. (2020). Contamination of staple crops by heavy metals in Sibaté, Colombia. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04212>
- Lu, S., Dai, W., Tang, Y. & Guo, M. A. (2020). A review of the impact of hydropower reservoirs on global climate change. *Science of The Total Environment*, 711. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134996>
- Madera, E. L. (2014). Deshaciendo el encanto: impactos de la represa de Urrá I sobre tres comunidades de la Ciénaga Grande de Loricá. [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Séneca. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/12658>
- Marín, D. A. (2018). La influencia del embalse el peñol Guatapé, Antioquia en los patrones climáticos y meteorológicos a escala local y regional [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3258>
- Marrugo-Negrete, J., Navarro-Frómata, A. & Ruiz-Guzmán, J. (2015). Total mercury concentrations in fish from Urrá reservoir (Sinú river, Colombia). Six years of monitoring. *Revista MVZ Córdoba*, 20(3), 4754-4765.
- Martínez, A. C., y Suarez, J. K. (2019). Valoración económica de los impactos ambientales generados por la sedimentación aguas abajo del embalse de la central hidroeléctrica Ituango, ubicada en el departamento de Antioquia [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Craiusta. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16571?show=full>

- Mayor, F. (2016). Estimación de la emisión histórica de gases de efecto invernadero por embalses hidroeléctricos en Colombia y su potencial impacto en el factor de emisión de la generación eléctrica [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58910>
- Ministerio del Medioambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Decreto 1076 de 2015, 26 de mayo. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>
- Montaño, A. D., Reina, D. A. y Rodríguez, D. M. (2019). Crisis social y ambiental a causa del proyecto hidroeléctrico Ituango. *Boletín Semillas Ambientales*, 13(1), 75– 81.
- Muñoz, L. A. (2018). Influencia del sector hidroeléctrico en el desarrollo sostenible del territorio huilense [Tesis doctoral, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional, Colombia.
- Muñoz, G. A. (2019). El estudio de impacto ambiental como elemento de construcción de realidad. El caso de la central hidroeléctrica Porce III. *Territorios*, 41, 223-243. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.6535>
- Nickerson, S., Chen, G., Fearnside, P. M., Allan, C. J., Hu, T., de Carvalho, L. M. T. & Zhao, K. (2022). Forest loss is significantly higher near clustered small dams than single large dams per megawatt of hydroelectricity installed in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 17(8), 084026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8236>
- Organización Internacional de Normalización ([ISO], 2015). Norma Internacional ISO 14001: 2015. Sistemas de Gestión Ambiental – Requisitos con orientación para su uso. Traducción certificada. https://sigi.sic.gov.co/SIGI/files/mod_documentos/anexos/886/NORMA%20ISO%2014001.2015.pdf
- Patiño, I. (2021). Repression and dispossession in the implementation of the Eastern Antioquia hydroelectrical complex. *Analecta Política*, 11(21), 315-332. <http://dx.doi.org/10.18566/apolit.v11n21.a07>
- Peña, G. A. y Sánchez, L. M. (2016). Determinación de las afectaciones por inundaciones aguas abajo de la represa de Betania a partir de 1987 mediante la implementación de indicadores de seguimiento [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Riud. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3800>
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*, 22(2), 283-312. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792013000200001
- Quintero, J. A. (2007). Efectos de las políticas públicas del sector eléctrico en la participación de las organizaciones comunitarias del Oriente Antioqueño - estudio de caso - Asociación Campesina del Oriente Antioqueño – ACOA. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 58(1), 101-127. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11705806>
- Ramírez, D. & Muñoz, L. A. (2020). Hydroelectric centrals' impact on territorial sustainability: analysis in southern Colombia. *Miscellanea Geographica – Regional Studies on Development*, 24(2), 73-84. <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2020-0010>
- Ramírez, C., Santacruz, S., Bocanegra, R.A. y Sandoval, M. C. (2010). Incidencia del embalse de Salvajina sobre el régimen de caudales del río Cauca en su valle alto. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 9(1) 89-99. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434011>
- Restrepo, G. I. (2011). El Oriente Antioqueño: movilización social a pesar de la violencia. En D. R. Peñaranda (Ed.). *Contra viento y marea: acciones colectivas de alto riesgo en las zonas rurales colombianas 1985-2005*. La Carreta Editores.
- Restrepo-Santamaría, D., Valencia-Rodríguez, D., Galeano, A. F., Herrera, J. y Jiménez-Segura, L. (2022). Rescate de peces aguas abajo de la presa Porce III (Colombia) para reducir su mortalidad. *Biota Colombiana*, 23(2), <https://doi.org/10.21068/2539200X.1030>
- Ríos-Ocampo, J. P. y Vélez-Gómez, L. D. (2015). Efectos fiscales de los asentamientos hidroeléctricos: el caso de la cuenca de los ríos Negro y Nare en Colombia. *Semestre Económico*, 18(38), 137-160. <https://doi.org/10.22395/seec.v18n38a5>
- Roa, C., Orjuela, J. K. y Cerquera, A. F. (2019). Central hidroeléctrica de Chivor y su impacto socioeconómico en el Valle de Tenza. *Territorio y Desarrollo*, 3(1), 20-26.

- Rodríguez, D. C. & Peñuela, G. A. (2022). Estimation of greenhouse gas emissions of a tropical reservoir in Colombia. *Journal of Water & Climate Change*, 13(2), 872-888. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.330>
- Sailor, D. J. & Rosen, J. N. (1998). Modeling Regional Climate Impacts of a Proposed Hydroelectric Project [Conference]. ASME 1998 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Anaheim, Estados Unidos. <https://doi.org/10.1115/IMECE1998-0669>
- Sarmiento, M. I., Idrovo, A. J., Restrepo, M., Díaz, M. P. y González, A. (1999). Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del Muña sobre la salud humana. *Revista de Salud Pública*, 1(2), 159-171. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/18950>
- Torres, M. A. (2013). Análisis de nuevas dinámicas territoriales por proyectos de infraestructura y su influencia en la generación de conflictos socio ambientales. Caso de estudio: Hidroituango [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/47235>
- Unidad de Planeación Minero Energética [UPME] (2020). Smart Grids Colombia: Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia. <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Smart-Grids-Colombia-Visi%c3%b3n-2030.aspx>
- Urueña, Z. L., y Sánchez, A. J. (2016). Formulación de estrategias socioambientales con criterios bioéticos para la sostenibilidad de la central hidroeléctrica Sogamoso, ubicada en el departamento de Santander, Colombia [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Riud. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3323>
- Urrutia, G. y Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: Una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Úsuga, E. (2014). Impactos sociales y económicos de la hidroeléctrica en Ituango [Tesis de pregrado, Universidad de Medellín]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11407/1198>
- Valencia-Rodríguez, D., Herrera-Pérez, J., Restrepo-Santamaría, D., Galeano, A., Winton, R. S. & Jiménez-Segura, L. (2022). Fish community turnover in a dammed Andean River over time. *Neotropical Ichthyology*, 20(1). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0091>
- Vélez, A. J. (2009). Propuesta metodológica para la evaluación y cuantificación de la alteración del régimen de caudales de corrientes alteradas antrópicamente, caso Urrá I [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70125>
- Vélez, A. J., Correa, P. L., Barrientos, A. E., Gómez, J. D., Vélez, J. I. y Smith, R. A. (2006). Impactos del Proyecto Hidroeléctrico Urrá I Sobre la Dinámica Hídrica del Complejo Lagunar del Bajo Sinú [Conferencia]. XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.
- Viviescas-Santana, M. A. (2014). Caracterización de Impactos Ambientales y Sociales generados por la construcción de grandes centrales hidroeléctricas en el país [Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12036>
- Wathern, P. (1988). An Introductory Guide to EIA. En Clark et al. (eds.), *Perspectives on Environmental Impact Assessment*, Dordrecht, Reidel Publ., pp. 213-232.
- Wilches, F. J., Feria, J. J. & Hernández, J. (2020). Physicochemical Characterization of the Waters of the Sinú River, Downstream of the Urrá Reservoir, North of Colombia. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(10), 2909-2914. <https://dx.doi.org/10.37624/IJERT/13.10.2020.2909-2914>
- Yang, R., Wu, S., Wu, X., Ptak, M., Li, X., Sojka, M., Graf, R., Dai, J. & Zhu, S. (2022). Quantifying the impacts of climate variation, damming, and flow regulation on river thermal dynamics: a case study of the Włocławek Reservoir in the Vistula River, Poland. *Environmental Sciences Europe*, 34, 3. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00583-y>
- Zamora, D., Rodríguez, E. & Jaramillo, F. (2020). Hydroclimatic Effects of a Hydropower Reservoir in a Tropical Hydrological Basin. *Sustainability*, 12(17), 6795. <https://doi.org/10.3390/su12176795>
- Zuluaga, W. A., López, L. Y., Osorio, L., Salazar, L. F., González, M. C., Ríos, C. M., Wolff, M. I., y Escobar, J. P. (2012). Vigilancia de insectos de importancia en salud pública durante la construcción de los proyectos hidroeléctricos

Porce II y Porce III, Antioquia, Colombia, 1990-2009. *Biomédica*, 32(3), 321-32. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v32i3.668>

ENLACE ALTERNATIVO

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/6074> (html)

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/6074/6117> (pdf)