

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

Harold Esneider Pantoja Villota

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

1. Resumen

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

2. Introducción

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

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

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

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

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

3. Metodología

a. Impactos de plantas hidroeléctricas

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

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

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

i. Efectos ambientales

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

ii. Efectos sociales

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

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

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

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

iii. Efectos económicos

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

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

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

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

b. Impactos de pequeñas centrales hidroeléctricas

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

Tabla 1. Clasificación de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)

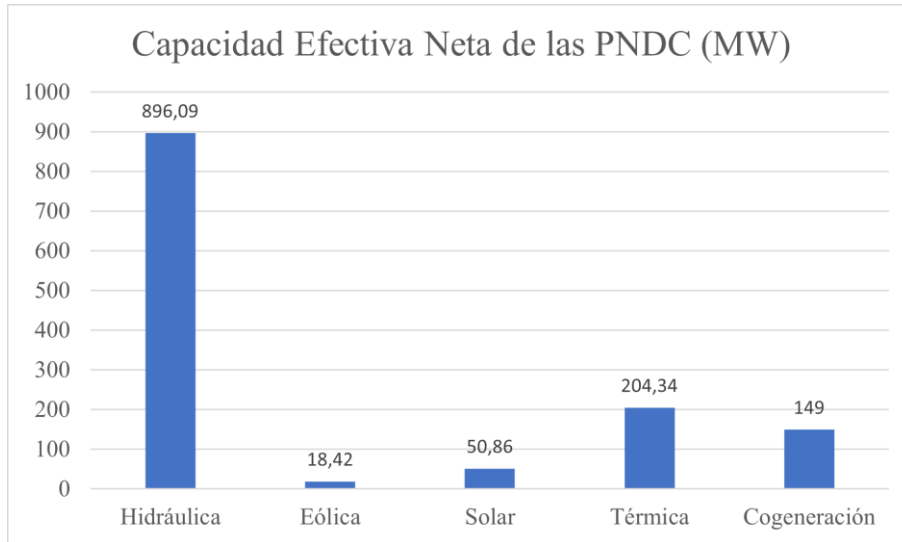
| Tipo | Potencia | Salto | | |
|-----------------|--------------|-------|--------|---------|
| | | Bajo | Medio | Elevado |
| Picocentral | 0.5 - 5 kW | N.A | | |
| Microcentral | 5 - 50 kW | < 15 | 15-50 | > 50 |
| Minicentral | 50 - 500 kW | < 20 | 20-100 | > 100 |
| Pequeña Central | 500 -5000 kW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

Fuente: Elaboración propia

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

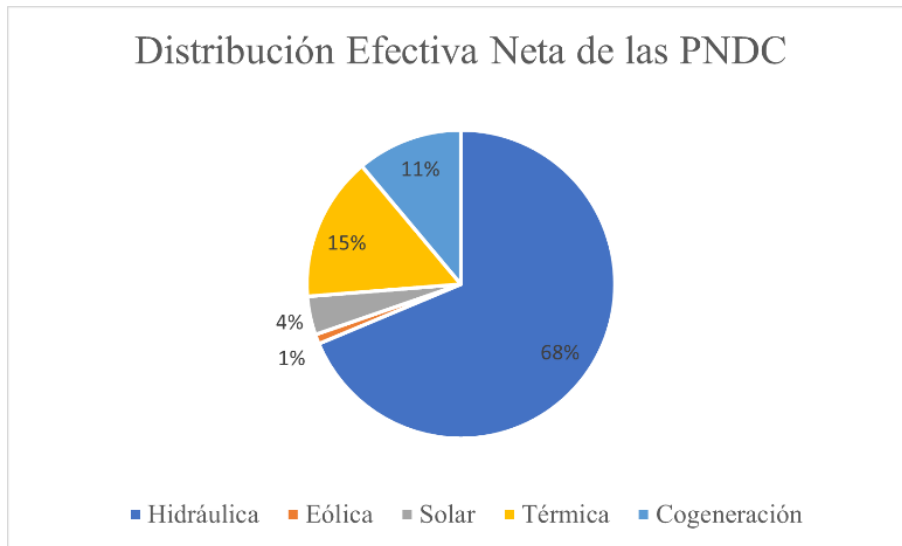
que las grandes centrales hidroeléctricas, posee una imagen que el tiempo y los estudios se encargarán de deteriorar.

Figura 1. Capacidad efectiva neta de las PNDC



Fuente: Participación de las PNDC en el MEM, 2021

Figura 2. Distribución efectiva neta de las PNDC



Fuente: Participación de las PNDC en el MEM, 2021

i. Efectos ambientales

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

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

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

ii. Efectos sociales

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

iii. Efectos económicos

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

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

c. Balance del modelo de transición

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

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

Tabla 2. Categorización para ponderación

| | | | |
|---|-----|-----|-----|
| A | B | C | D |
| 1 | 0.8 | 0.5 | 0.3 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Consideraciones positivas para ponderación

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Consideraciones negativas para ponderación

| Aspecto | Económico | Social | Ambiental |
|---------|-----------|--------|-----------|
|---------|-----------|--------|-----------|

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

Fuente: Elaboración propia

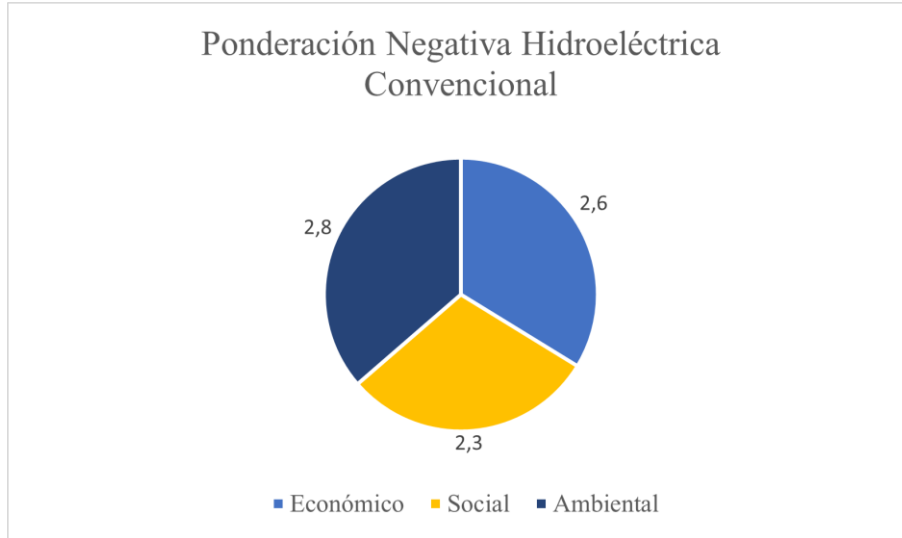
Inicialmente, se realiza una individualización sobre cada tecnología de generación, con la cual se espera comparar la importancia de los diferentes aspectos, estudiados desde una perspectiva de formas de generación con efectos positivos y negativos.

Figura 3. Ponderación positiva en hidroeléctrica



Fuente: Elaboración propia

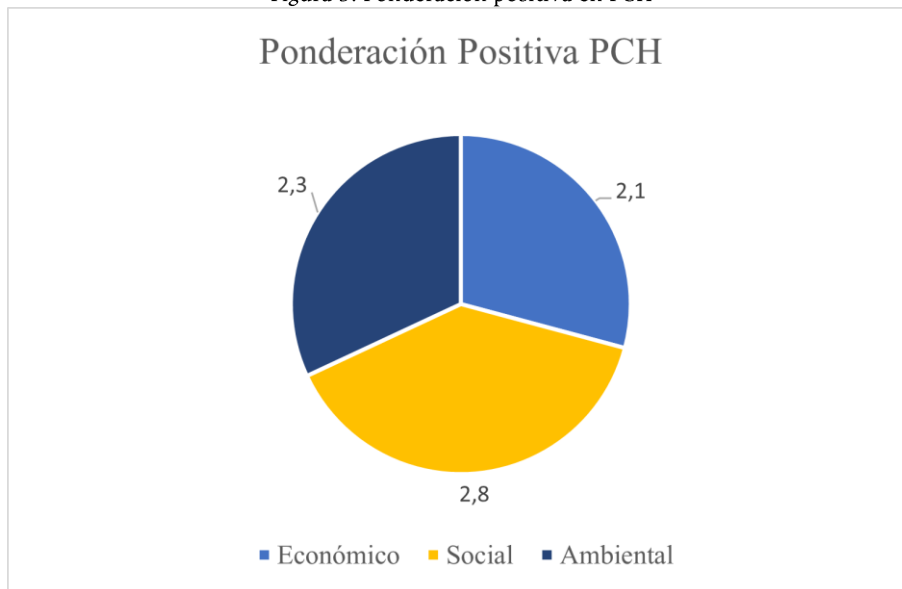
Figura 4. Ponderación positiva en hidroeléctrica



Fuente: Elaboración propia

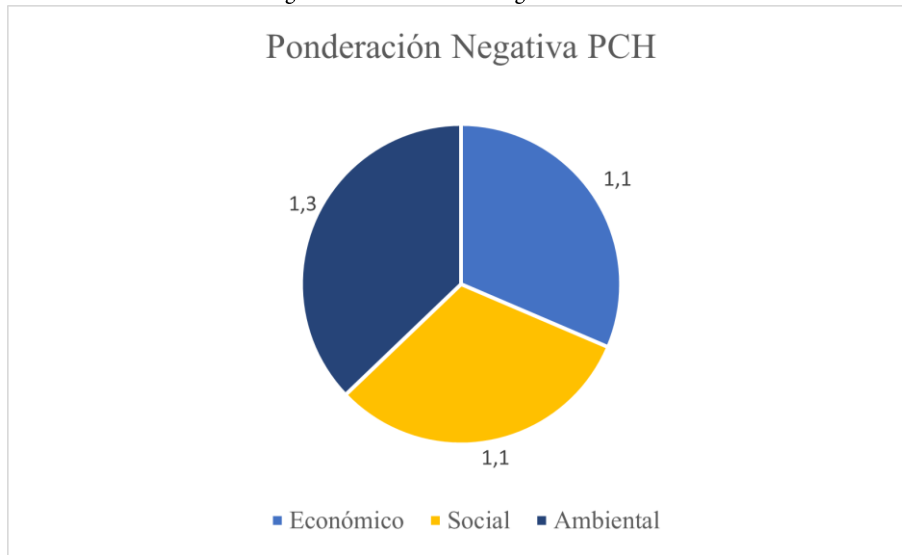
Estos resultados demuestran unos notables efectos negativos generados a partir de la construcción de grandes centrales hidroeléctricas, teniendo en cuenta que, de los tres aspectos de la sustentabilidad, ninguno predomina en el escenario de tecnología de generación con efectos positivos y por el contrario,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

Figura 5. Ponderación positiva en PCH



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Ponderación negativa en PCH

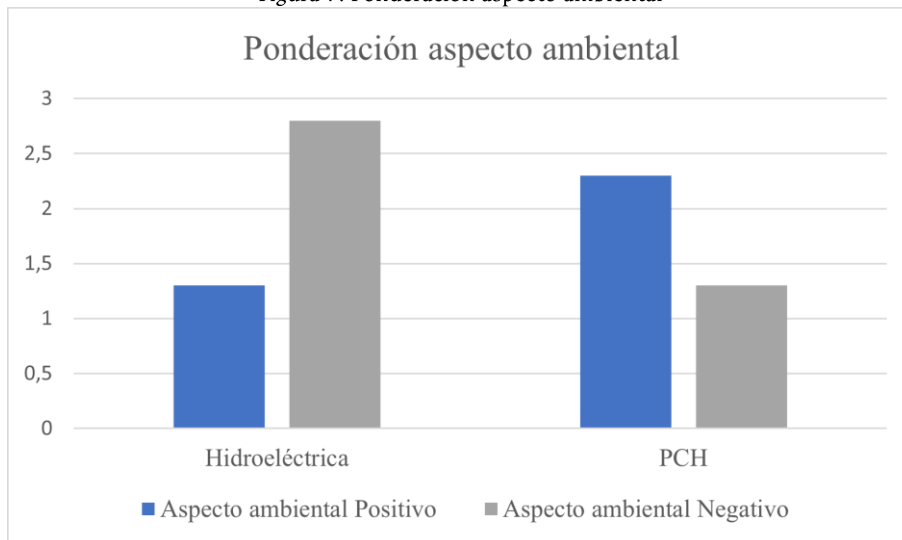


Fuente: Elaboración propia

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

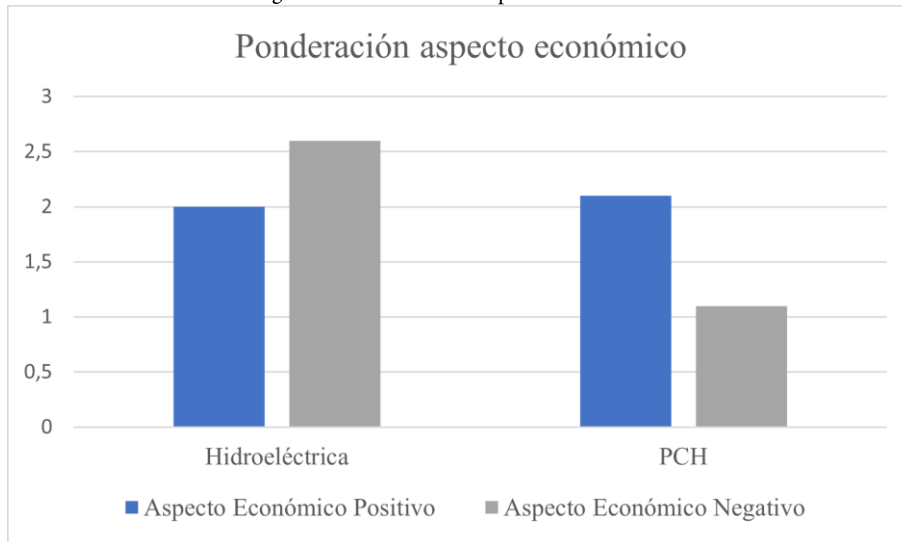
Entonces, una vez analizadas de forma individual cada una de las tecnologías de generación hidráulica, se puede llegar a un balance de las ponderaciones realizadas, como se muestra en las Fig. 7, 8,9.

Figura 7. Ponderación aspecto ambiental



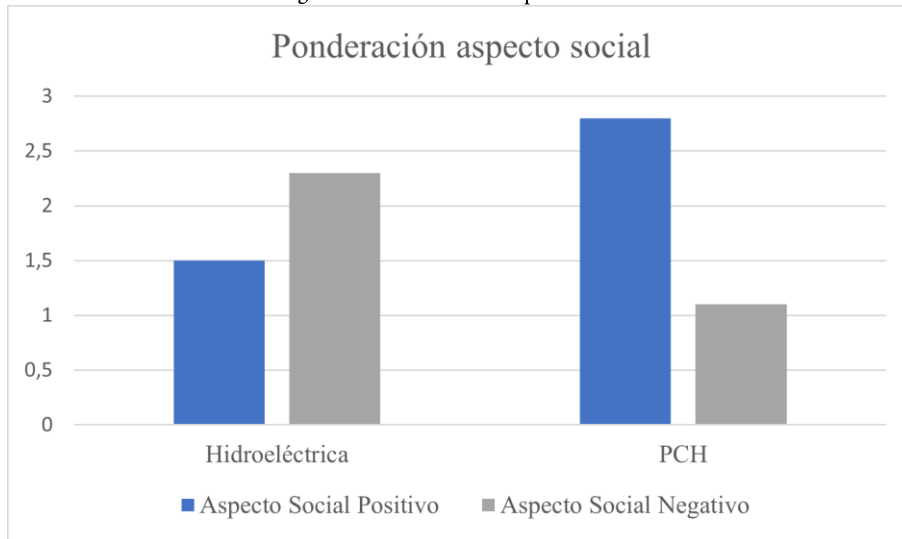
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Ponderación aspecto económico



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Ponderación aspecto social



Fuente: Elaboración propia

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

4. Conclusiones

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

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

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

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

Referencias

- Abidur Rahman, O. F. (10 de 03 de 2022). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean and osmotic. *ELSEVIER*, 29. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279>
- Ameesh Kumar Sharma, N. T. (29 de 05 de 2017). Assessing the impact of small hydropower projects in Jammu and Kashmir: A study from north-western Himalayan region of India. *ELSEVIER*, 15. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.285>
- Carlos ROBLES Algarin, O. R. (30 de 04 de 2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Revista Espacial*, 16.
- Caroline C Arantes, D. B. (24 de 05 de 2019). Impacts of hydroelectric dams on fishes and fisheries in tropical rivers through the lens of functional traits. *ELSEVIER*, pág. 13. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.009>
- Carroll, R. (10 de 05 de 2011). Protest after Chile backs against dams in Patagonia's Valleys. *The Guardian*, pág. 8.
- Centro Nacional de Memoria Histórica. (NA). *Por qué pasó lo que pasó en San Carlos*. Bogotá: Centro Nacional de Memoria Histórica.
- Christian Martínez Neira, G. D. (2018). Coaliciones interétnicas, framing y estrategias de movilización contra centrales hidroeléctricas en Chile: ¿Qué podemos aprender de los casos de Ralco y Neltume? *MARLAS*, 30. doi:<https://doi.org/10.23870/marlas.180>

- Chu Shiji, S. D. (09 de 07 de 2021). Greening small hydropower: A brief review. *ELSEVIER*, 10. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100676>
- Conglin Zhang, S. C. (11 de 04 de 2020). Small hydropower sustainability evaluation for the countries along the Belt and Road. *ELSEVIER*, 16. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100528>
- Corzo-Arévalo, D. (30 de 06 de 2020). A guideline proposal to formulate an environmental policy for tourism in the Topocoro reservoir in Colombia. *RIAT*, 13. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-235X2020000100002>
- Dursun Bahtiyar, C. G. (2010). The role of hydroelectric power and contribution of small hydropower plants. *ELSEVIER*, 9. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.001>
- Editor, L. t. (2015). An overview of small hydropower plants in Colombia: Status, potential, barriers and perspectives. *ELSEVIER*, 8. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.026>
- Fearnside, P. M. (19 de 12 de 2013). Impacts of Brazil's Madeira River Dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *ELSEVIER*, pág. 9. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.004>
- FEARNSIDE, P. M. (2016). Environmental and Social Impacts of Hydroelectric Dams in Brazilian Amazonia: Implications for the Aluminum Industry. *ELSEVIER*, 18. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.08.015>
- Ingfocol Ltda. (2015). *Atlas de potencial hidroenergéticos de colombia*. Bogotá, Colombia: UPME.
- Jean-Étienne Klimpt, C. R. (2002). Recommendations for sustainable hydroelectric development. *ELSEVIER*, 8.
- Karokaro, A. S. (14 de 09 de 2017). Protest against hydropower plant in Sumatra ends with injuries. *Mongabay*, 6.
- López, W. B. (2022). *DISEÑO DE UNA PCH PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA APROVECHANDO EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A RIOHACHA DISTRITO TURÍSTICO Y CULTURAL*. Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica. Rioacha: Universidad Antonio Nariño.
- M. Premalatha, T.-A. T. (14 de 12 de 2013). A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations. *ELSEVIER*, 6.
- María Isabel Pareja-Carmona, L. F.-S.-N.-F.-L.-J.-R. (27 de 11 de 2014). Áreas de reproducción de peces migratorios en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, pág. 14.
- OLADE. (1980). *Metodología sintética para el cálculo y especificación preliminar de microcentrales hidroeléctricas*. NA: OLADE.
- ÓPTIMA. (2021). *RESUMEN EJECUTIVO - ANÁLISIS DE LA PARTICIPACIÓN DE LAS PLANTAS NO DESPACHADAS CENTRALMENTE EN EL MERCADO DE ENERGÍA MAYORISTA*. NA: ÓPTIMA.
- Oviedo-Ocaña, E. R. (Septiembre de 2018). Las Hidroeléctricas: efectos en los ecosistemas y en la salud ambiental. *Revista Salud UIS*, 2. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v50n3-2018003>

- Pérez, A. P. (23 de 09 de 2010). La construcción de asentamientos humanos precarios en zonas de inundación y la conservación de cauces de río. *Universidad Industrial de Santander*, pág. 39.
- Rocha, H. J. (2016). La multiterritorialización del conflicto de las hidroeléctricas: los reasentamientos como puntos de empoderamiento del movimiento de los afectados por represas. *Estudios Sociológicos XXXIV*, 36.
- SIERRA, R. A. (2013). *INVENTARIO DOCUMENTADO DE REPRESAS EN COLOMBIA*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Simón Cortés, A. A. (Julio de 2018). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Energéticas*, 17. doi:rces.v25n38.a7
- Tasneem Abbasi, S. A. (22 de 11 de 2010). Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. *ELSEVIER*, 10. doi:10.10106/j.rser.2010.11.050
- Theocharis Tsoutsos, E. M. (8 de 12 de 2006). Sustainable siting procedure of small hydroelectric plants:. *ELSEVIER*, 14. doi:10.1010/J.ENPOL.2006.10.015
- Thomas Hennig, W. W. (07 de 08 de 2013). Review of Yunnan's hydropower development. Comparing small and large hydropower projects regarding their environmental implications and socio-economic consequences. *ELSEVIER*, 11. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.023>
- Universidad de Valencia. (2015). *ELECTRICIDAD, DESARROLLO RURAL Y BUEN VIVIR*. Universidad de Valencia. Ciudad de México: Universidad de Valencia.