

Análisis de los aportes hídricos de los ríos del Sistema Interconectado Nacional como fuente de  
energía renovable en Colombia entre 2017 - 2024

Integrantes

Camilo Rafael Pérez Chaves

María Isabel Cañola García

Juan Sebastian Sanchez Chaparro

Talento Tech

Análisis de Datos - Nivel Integrador

Manizales - Medellín

2024

## CONTENIDO

Introducción	3
1. Objetivo del proyecto	5
1.1 Objetivo general:	4
1.2 Objetivos específicos:	4
2. Desarrollo del Proyecto:	4
2.1 Contextualización sobre energías renovables y la matriz energética en Colombia	4
2.2. Metodología y selección del conjunto de datos	6
2.3 Análisis de gráficas	6
2.3.1 Análisis por Región Hídrica	6
2.3.2 Análisis temporal	8
Impactos del Fenómeno EL Niño y La Niña en el sector energético	9
Períodos de disminución en el Aporte hídrico	10
Adaptabilidad y métodos predictivos	12
2.3.3 Análisis por cobertura	12
3. Recomendaciones de Adaptación	18
4. Conclusiones	18
Referencias	19

## Introducción

Los gases de efecto invernadero son una problemática mundial generada principalmente por la quema de combustibles fósiles, que aunque tienen un alto poder calórico y son fáciles de usar en hogares e industrias, provocan el cambio climático. Esto trae consigo no solo el aumento de las temperaturas, sino también fenómenos meteorológicos extremos, con ello cambios en las poblaciones y hábitats de la fauna y flora silvestre, entre otros. Para su control se realizan lecturas de manera permanente, y la cuarta más alta de estos gases desde 1958, se presentó en enero de 2023 cuando los niveles de dióxido de carbono alcanzaron las 419 partes por millón de media mensual, según los datos ofrecidos por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) del Departamento de Comercio de los Estados Unidos. Y dado que esta lectura es a nivel mundial, los países han adoptado un tratado, el Acuerdo de París, para incentivar a los países a asumir energías más limpias con el fin de disminuir sus emisiones.

Según el Ministerio de Ambiente de Colombia, el país para sumarse al Acuerdo de París, se ha comprometido a “ reducir el 20% de sus emisiones con base en un escenario proyectado a 2030 e, inclusive, a disminuir el 30%, si cuenta con cooperación internacional”, lo que ha implicado diversificar la matriz energética para hacer una transición a energías más limpias. La matriz de generación eléctrica en Colombia ha sido destacada en el año 2024 por la Agencia Internacional de Energía (IEA), porque su constitución es predominantemente descarbonizada, debido a que la hidroelectricidad representa más del 70% de su capacidad. Es así como las hidroeléctricas constituyen un gran aporte de energía renovable en el sistema de producción de energía en Colombia, y ayudan a mitigar los impactos del efecto invernadero, en comparación con otros países en los que su mayor fuente proviene de energías fósiles; con esto el país ha logrado una destacada orientación renovable.

En el portal de la empresa XM, filial de ISA, se definen los aportes hídricos como las afluencias de agua que llegan a las plantas de generación y a los embalses del Sistema Interconectado Nacional(SIN), estos son el recurso para la generación de la energía hidroeléctrica. Sin embargo, hay áreas del territorio colombiano que no son cubiertas por el SIN, por ello para dar solución a las necesidades hay alternativas conocidas como pequeñas centrales hidroeléctricas.

En este sentido, al analizar los aportes hídricos que hacen parte Sistema Interconectado Nacional y aportan a la generación de energía eléctrica de Colombia entre 2019 - 2024 se espera contribuir a la reflexión sobre la importancia de aprovechar los afluentes que ofrece la topografía para dar suministro en zonas aisladas y abastecer los pequeños poblados humanos, en los que llevar una línea de interconexión del sistema eléctrico principal puede resultar costosa.

## **1. Objetivos del proyecto**

### **1.1 Objetivo general**

Analizar la contribución del aporte hídrico de los ríos al Sistema Interconectado Nacional como fuente principal de energía renovable en el país, con el propósito de desarrollar estrategias que mitiguen los impactos del cambio climático en el ámbito energético.

### **1.2 Objetivos Específicos**

1. Aplicar las herramientas adquiridas en el bootcamp para llevar a cabo un análisis detallado de los aportes energéticos de las fuentes hídricas registradas en el Sistema Interconectado Nacional.
2. Realizar un análisis comparativo de los aportes hídricos entre los años 2017 y 2024 para identificar tendencias y cambios significativos.
3. Determinar la zona que aporta la mayor cantidad de energía, con el fin de ofrecer recomendaciones sobre estrategias específicas para incrementar la generación de energía en las distintas regiones.

## **2. Desarrollo del proyecto**

### **2.1 Contextualización sobre energías renovables y la matriz energética en Colombia**

En la actualidad, la lucha contra el cambio climático ha impulsado una transición hacia fuentes de energía que reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero. Dentro de este panorama, la energía hidroeléctrica se destaca como una de las alternativas más sostenibles debido a su capacidad para generar electricidad sin emitir gases que contribuyen al calentamiento global. A diferencia de otras fuentes de energía como los combustibles fósiles, las plantas hidroeléctricas aprovechan el movimiento del agua para generar electricidad de manera limpia y renovable, sin liberar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ni otros contaminantes a la atmósfera.

El sistema energético colombiano se empezó a estructurar desde finales del SXIX, al identificar el potencial que la geografía del país brindaba para generar electricidad a partir de las fuentes hídricas, ya que su ubicación le permite desarrollar proyectos para el aprovechamiento de este recurso. Esto requirió la consolidación de la ley 143 de 1994 para regular este ecosistema, y que para el año 2019 permitió la creación del Sistema Interconectado Nacional, definido como un sistema compuesto por las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, así como las redes de distribución y las cargas eléctricas de los usuarios, todos ellos conectados entre sí. Este sistema considera varios tipos de energía, que son las fuentes más utilizadas en Colombia, a saber la hidráulica, la biomasa, la

eólica, el combustible fósil, la energía solar, la cogeneración, la autogeneración y la generación que incluye las plantas menores. La producción de energía hidráulica es la energía potencial del agua embalsada que se transforma en energía cinética cuando fluye por las tuberías de la planta. En cuanto el agua entra en contacto con la turbina, impulsa un generador. Sin embargo, en Colombia también se apuesta por nuevas alternativas conocidas como pequeñas centrales hidroeléctricas Pch. Con la generación de energía a partir de Pch se busca dar suministro a zonas aisladas que abastecen pequeños asentamientos humanos.

Colombia, con una geografía privilegiada y abundantes recursos hídricos, ha apostado por la energía hidroeléctrica como la columna vertebral de su sistema eléctrico. Aproximadamente el 70% de la electricidad del país proviene de plantas hidroeléctricas, lo que no solo garantiza un suministro energético sostenible, sino que también posiciona a Colombia como un líder regional en la producción de energía renovable. Además, la expedición de la ley 1715 de 2014 promueve el desarrollo y uso de fuentes no convencionales de energía, en especial las de carácter renovable, para su integración en el mercado eléctrico y su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos para garantizar el desarrollo económico sostenible y reducir las emisiones de gases.

En el Atlas Hidroenergético de Colombia realizado en el año 2015, el equipo de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), es un documento de referencia que incluye:

(...)un conjunto de mapas, presenta la distribución espacial del potencial hidroenergético de Colombia, calculado para generación hidroeléctrica de filo de agua, obtenida a partir del caudal medio y de la topografía del modelo de elevación digital. Estos mapas incluyen aspectos hidrológicos, cartográficos, sociales, económicos y ambientales. 2015 p17

Esta herramienta ha sido utilizada para contrastar el análisis de los datos y reforzar que la energía hidroeléctrica es una opción para el aprovechamiento de las fuentes hídricas y además, ya que es una energía limpia y renovable que provoca menores impactos en el ambiente. Dado que este atlas representa un estudio para el entendimiento y acercamiento al potencial hidroenergético en Colombia y la disponibilidad del recurso hídrico en el país.

Este proyecto se enfoca en analizar los aportes hídricos de los ríos del Sistema Interconectado Nacional (SIN) a la generación de energía eléctrica entre 2019 y 2024. A través del uso de herramientas avanzadas de análisis de datos, examinaremos cómo el rendimiento de estas plantas hidroeléctricas contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, destacando su rol esencial en la transición hacia un futuro energético más sostenible y menos dependiente de los combustibles fósiles. Aún bajo un panorama creciente de uso de energía eólica y solar, el aprovechamiento de las fuentes hídricas tiene impactos menores en el medio ambiente.

## **2.2. Metodología y selección del conjunto de datos**

Para realizar el análisis de los datos hemos escogido una base de datos ubicada en Datos Abiertos<sup>1</sup> Sin embargo, los datos fueron recolectados por el Sistema de Información para el Mercado de Energía Mayorista (SINEM), que entre sus recursos dispone información sobre la operación del Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Este conjunto de datos<sup>2</sup> registra diariamente diversos valores relacionados con el Aporte Hídrico en términos de energía (kWh), el Promedio Acumulado, la Media Histórica y otros datos de distintas fuentes hídricas integradas en el Sistema Interconectado Nacional. Los aportes son todas las afluencias de agua que llegan a las plantas de generación y a los embalses del Sistema Interconectado Nacional. Estos se expresan como caudales convertidos en energía [kWh/día], los cuales dependen de la eficiencia de las unidades de generación que utilizan este recurso. El seguimiento del comportamiento de los aportes se realiza en porcentaje, en función de la media histórica mensual de cada río.

Por efectos de practicidad se disponen las evidencias del proceso técnico del proyecto en el siguiente [documento](#).

## **2.3. Análisis de gráficos<sup>3</sup>**

Para realizar el análisis crítico de los datos hemos construido una serie de gráficos que nos ayudarán a entender a profundidad el comportamiento de los datos y los posibles cambios que se pudieran dar en el futuro.

### **2.3.1 Análisis por Región**

La generación de energía en Colombia depende en gran medida de fuentes hidroeléctricas, especialmente en regiones con abundantes recursos hídricos como Antioquia y el Centro. Sin embargo, el cambio climático plantea desafíos considerables al sector energético, ya que se prevén variaciones en la disponibilidad de agua debido a fenómenos como El Niño y La Niña. Este informe analiza la vulnerabilidad por región, los aportes hídricos y las recomendaciones para fortalecer la resiliencia del sector.

Entre los datos se incluye la ubicación de la fuente hídrica por región hidrológica. Las diferentes regiones registradas en el Sistema de Información de Niveles (SIN) son: Antioquia, Centro, Oriente, Caldas y Valle. Podríamos comenzar comparando la suma total de los aportes hídricos de cada región hidrológica durante el período de estudio comprendido entre 2017 y 2024 (información hasta el 01 de septiembre).

---

<sup>1</sup> Los datos abiertos son información pública dispuesta en formatos que permiten su uso y reutilización bajo licencia abierta y sin restricciones legales para su aprovechamiento.

<sup>2</sup> Base de datos: [https://www.datos.gov.co/dataset/Aportes-Hidr-ulicos-Energ-a/wa2n-56u4/about\\_data](https://www.datos.gov.co/dataset/Aportes-Hidr-ulicos-Energ-a/wa2n-56u4/about_data)

<sup>3</sup> Para acceder a las gráficas diseñadas dentro del proyecto está el siguiente [enlace](#)

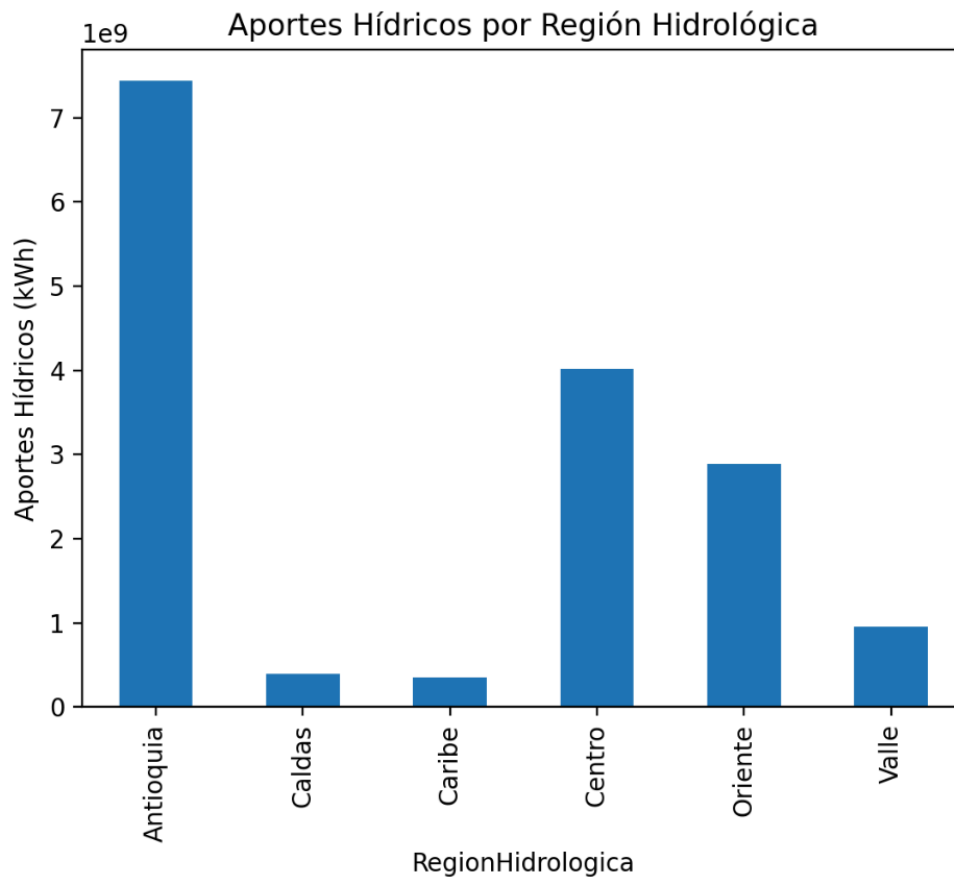


Figura 1 - Suma total de los aportes hídricos por región

- *Antioquia*: La región con mayor capacidad de generación hidroeléctrica debido a su geografía montañosa y sus numerosas fuentes de agua . La dependencia de esta región en la generación hidroeléctrica implica que, en períodos de sequía, la producción energética podría disminuir considerablemente, afectando al sistema eléctrico nacional.
- *Centro*: La región Centro de Colombia, que incluye los departamentos de Cundinamarca y Meta, presenta condiciones geográficas y climáticas ideales para el aprovechamiento de la energía hidroeléctrica. Contando con ríos principales como el río de Bogotá y el río Sogamoso, además de estar cerca a la capital, lo que facilita la distribución de energía hacia este sector del país.
- *Oriente*: Aunque menor que las dos anteriores, la región Oriente tiene un aporte considerable. Esta área podría enfrentar desafíos adicionales si las precipitaciones se redujeran en el futuro, afectando la disponibilidad de agua en sus fuentes.
- *Regiones con aportes bajos (Caldas, Caribe y Valle)*: Estas áreas contribuyen menos al sistema energético nacional, lo que se explica por su limitada capacidad hidroeléctrica e

infraestructura. Para estas regiones, la diversificación hacia fuentes de energía no dependientes del recurso hídrico es mucho más viable.

### 2.3.2 Análisis temporal

El atributo “Fecha” de la base de datos contiene la fecha en que se realizó el registro, esto nos permite realizar un estudio sobre los cambios de los aportes hídricos a lo largo del intervalo de tiempo entre el año 2017 y 2024<sup>4</sup>. Esto es información valiosa para lograr hacer un análisis sobre diferentes aspectos cómo, eventos climáticos que afecten las fuentes hídricas y/o si existieron períodos de sequía que disminuyan los aportes, entre otros. La siguiente gráfica contiene el promedio de aporte hídrico por región agrupado por año.

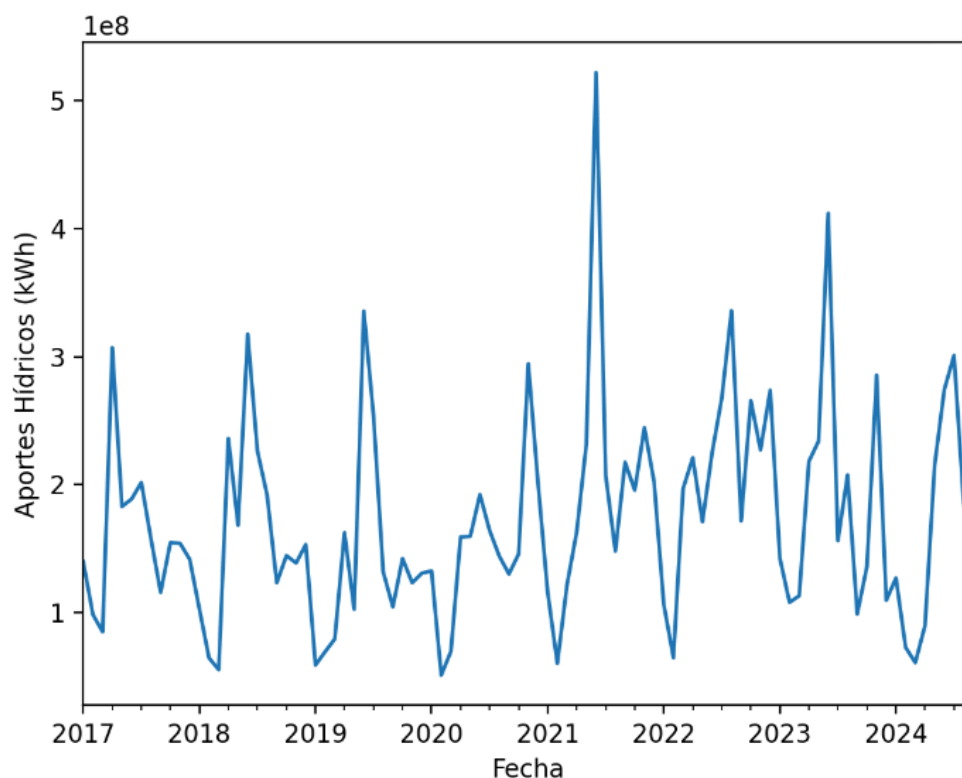


Figura 2.1 - Promedio total de los aportes hídricos por año

Observemos la variación del comportamiento del promedio de aportes hídricos anual a lo largo de la época de estudio. La Figura 2 muestra una alta variabilidad interanual en los aportes hídricos, con picos significativos y períodos de disminución. Esto sugiere la influencia de eventos climáticos extremos que afectan la disponibilidad de recursos hídricos.

---

<sup>4</sup> Cuando se menciona el año 2024 se quiere dar a entender al lector que es la fecha de la última actualización realizada de la base de datos, es decir, el 01 de septiembre del 2024.



Es de gran importancia enfatizar la alta vulnerabilidad del sector energético en Colombia a las variaciones climáticas, especialmente por la dependencia en la generación hidroeléctrica fundamentada principalmente en regiones como Antioquia y el Centro. Es por esto que los eventos climáticos extremos, como El Niño y La Niña, tienen un papel crucial en la dinámica observada en la gráfica:

- *Fenómeno El Niño*

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Infante, 2023), el fenómeno del Niño es una alteración climática de las dinámicas atmosféricas caracterizada por un calentamiento anómalo de las aguas superficiales Pacífico ecuatorial. Además provoca una reducción de las precipitaciones en diferentes países de Sudamérica y principalmente en Colombia, generando períodos de sequía que impactan notablemente en áreas como la agricultura, el suministro de agua y la generación de energía hidroeléctrica. Este fenómeno suele aparecer a finales de cada año (entre diciembre y febrero) de donde las caídas observadas en la gráfica pueden estar relacionadas con estos eventos.

- *Fenómeno La Niña*

"La Niña es un fenómeno oceánico caracterizado por el enfriamiento de las aguas superficiales de la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial y por cambios en la circulación atmosférica tropical, lo que repercute en los regímenes de temperatura y precipitaciones en diversas partes del globo, incluida América del Sur", explica el Instituto Nacional de Meteorología y Estadística (INMET)

En contraste, La Niña aumenta las precipitaciones, lo que puede explicar los picos observados en la gráfica. Este fenómeno intensifica las lluvias, incrementando los aportes hídricos, la capacidad de los embalses y en consecuencia la generación total de energía.

**Impactos del Fenómeno EL Niño y La Niña en el sector energético**

El Niño causa tiempos prolongados de sequías que como consecuencia generan la disminución de generación de energía hidroeléctrica, aumentos de los costos de energía e incluso racionamiento equitativo de esta. Además, induce un mayor consumo de combustibles e incrementos en el uso de aire acondicionado; consecuencias que afectan directamente el avance hacia mitigar los efectos del cambio climático.

La Niña al contrario no produce afectaciones graves directas a la generación de energía, pero si puede causar deslizamientos y desbordamientos de ríos y/o embalses. Es por esto que se requiere preparación de la infraestructura para adaptarse a ambos fenómenos climáticos.

A pesar, de que así como la mayoría de sucesos climáticos, estos dos fenómenos suelen aparecer de forma drástica y aleatoria, al realizar un estudio a lo largo del tiempo podemos observar algunos patrones cruciales a la hora de hacer predicciones climáticas. Si logramos

detallar la Figura 2.1 podemos observar diferentes características peculiares que entre ellas destacan:

- *Temporadas de lluvia:* En la Figura 2.2, en verde se señalan los picos de los aportes hídricos, dónde se puede evidenciar que estos ocurren a mitad de año.
- *Temporadas de sequía:* Notemos que la mayoría de mínimos en los aportes energéticos nacionales (señalados en rojo en la Figura 2.2), se dan a lo largo del primer mes del año.
- *Eventos sucesorales:* Realizando una inferencia podemos deducir que la mayoría de épocas con mayores aportes suceden inmediatamente después de un tiempo de sequía o bajos aportes.
- *Fenómenos climáticos:* Ambas conclusiones realizadas anteriormente coinciden directamente con las afectaciones de los Fenómenos del Niño y La Niña.

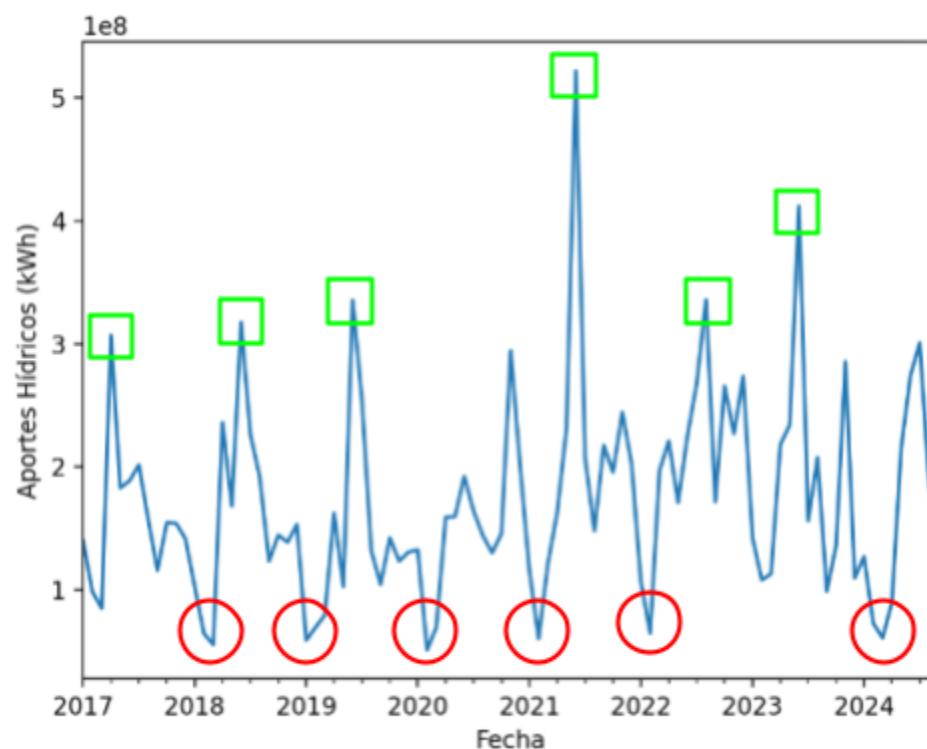


Figura 2.2 - Promedio total de los aportes hídricos por año

### Períodos de disminución en el Aporte hídrico

Analicemos principalmente la caída en los aportes de energía entre finales del año 2023 e inicios del 2024. “Al menos 6 de cada 10 embalses de energía hidroeléctrica registraron mínimos históricos. Para el cierre de marzo, su capacidad útil fue de 31,51%, el dato más bajo en los últimos 40 años”, mencionó la Revista Sur en un estudio realizado sobre probablemente una de las sequías más importantes en la historia de Colombia (Fonséca Zarate, 2024). Esto implicó que entre los meses de diciembre de 2023 y marzo de 2024, 273 municipios de 24 departamentos registraron desabastecimiento de agua.

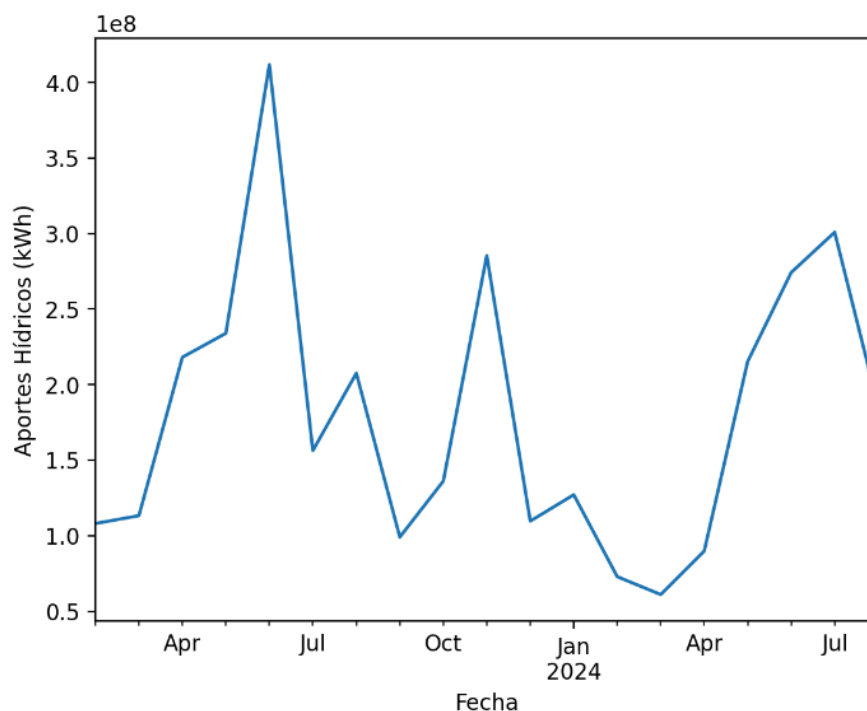


Figura 3 - Aportes hídricos totales entre el año 2023-2024.

En la Figura 3 podemos observar que efectivamente en marzo del 2024 se presentó una decaída en los aportes hídricos, en concordancia con la documentación sobre los efectos del fenómeno de El Niño en Colombia.

Una de las afectaciones indirectas más importantes del fenómeno de El Niño es el aumento de la emisión de GEI (Gases de Efecto Invernadero) por generación de energía térmica. Esto debido a que para mantener la estabilidad y correcto funcionamiento de las plantas es necesario recurrir a las plantas térmicas emisoras de GEI. Este efecto lo podemos evidenciar en la siguiente gráfica dónde se compara la las afectaciones de El Niño en 2009-2010 y las contribución total de emisiones nacionales.

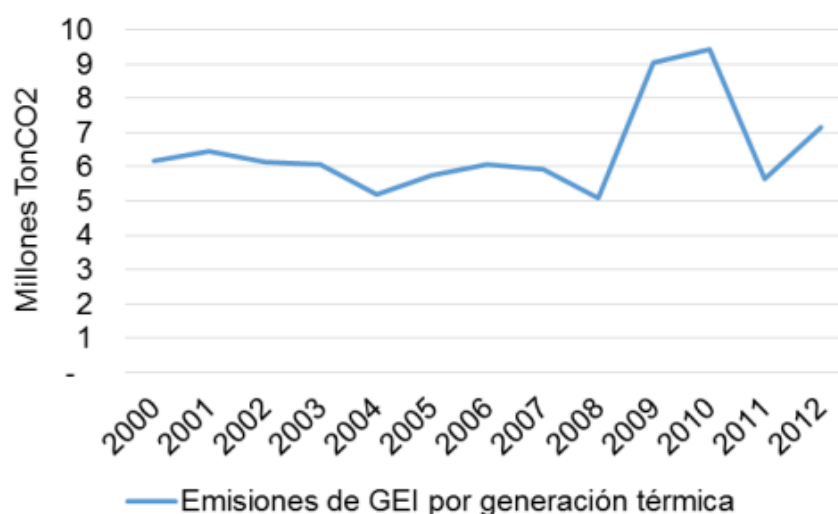


Figura 4 - Emisiones de GEI por generación térmica  
Tomado de: [UPME](#)

### Adaptabilidad y métodos predictivos

Las tendencias anuales y la influencia de los fenómenos climáticos en la generación hidroeléctrica en Colombia evidencian la necesidad de fortalecer la adaptabilidad del sector energético. La variabilidad en los aportes hídricos subraya la importancia de realizar análisis predictivos sobre las épocas de lluvia y sequía para anticipar los cambios y asegurar la estabilidad del suministro en un contexto de cambio climático.

### 2.3.3 Análisis por cobertura del SIN

Colombia cuenta con una gran riqueza hídrica gracias a su extensa red fluvial. Sin embargo, al considerar un proyecto hidroeléctrico, es importante tener en cuenta ciertos aspectos relevantes, como las precipitaciones y su demografía. Según el IDEAM, las menores precipitaciones se registran en la parte norte del país, especialmente en La Guajira, mientras que las máximas se encuentran en la región Pacífica. No obstante, es en la región Andina donde se ubican la mayoría de las hidroeléctricas del país, y aquí las precipitaciones presentan un comportamiento más complejo. En esta región, se observan bajos niveles de lluvia en la cordillera oriental, así como en los valles del Alto Magdalena y Alto Cauca. En contraste, los niveles máximos de lluvia se registran en la zona media de los valles de los ríos Magdalena y Cauca.

Ana María Macías Parra en el *Estudio de generación eléctrica bajo escenario de cambio climático* precisa que Colombia posee una riqueza hídrica debido a su gran red fluvial superficial, almacenamiento de aguas subterráneas y existencia de grandes cuerpos de agua.

Esto se debe además, de su ubicación geográfica, a la gran variedad de condiciones climáticas, pero señala que por esta misma variabilidad la disponibilidad de este recurso no es homogéneo en todo el territorio y por esto hay regiones, como por ejemplo La Guajira, que cuenta con condiciones de recurso hídrico muy desfavorables.

Ahora bien, en relación a las condiciones demográficas, el territorio colombiano se encuentra distribuido en pequeños focos territoriales con alta densidad poblacional y grandes zonas territoriales que no cuentan con una densidad poblacional significativa (UPME, 2019). De ahí que los proyectos hidroeléctricos se encuentren ubicados en ciertas zonas del país, pues el SIN se encuentra situado a lo largo de las 3 cordilleras nacionales y posee pocas conexiones en las zonas surorientales del país. Es por ello que las peores coberturas eléctricas la tienen los departamentos que están por fuera del SIN como Vichada, Vaupés, Guainía, Guaviare y Chocó, su cobertura promedio va desde los 43,5% hasta los 75,8%. Aunque en las cabezas municipales de estos departamentos es relativamente mayor (entre un 84,7% hasta un 97,1%) que las coberturas promedio, hay zonas rurales coberturas energéticas mucho más baja, que van desde el 11,6% en Vichada hasta el 53,1% en el Chocó. (DANE, 2018).

Carolina Santos a través del portal de DatacenterDynamics, señala que en el año 2023 aún hay zonas que permanecen en la oscuridad afectando no solo a los habitantes en términos de electricidad sino también en servicios públicos básicos:

Datos del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (Ipse) revelan que miles de personas en localidades rurales tienen acceso limitado al servicio, lo que afecta su calidad de vida.

Sipí, en Chocó, Carlos Odilio Palacios, el Secretario de Gobierno de Sipí, Chocó explica que en el centro de la ciudad, la electricidad está disponible desde las 5 de la tarde hasta las 11 de la noche. La planta eléctrica funciona durante siete horas y utiliza un promedio de 36 galones de ACPM al día. Esto significa que para mantener operando una sola máquina, se requiere una inversión de \$360,000 diarios y \$10,800,000 al mes.

Otras regiones y departamentos del país no están conectadas a la red eléctrica, como Nariño, con 600 poblaciones; Chocó, con 509; Cauca, con 189; y el Valle del Cauca, con 81, encabezando la lista de áreas sin acceso a la electricidad. El Ministerio de Minas y Energía atribuye esta problemática, entre otras razones, a la significativa dispersión de familias en las zonas rurales de estos territorios. (Santos, S. 2023)

Este aspecto es preocupante no solo por las localidades que no pueden con este recurso, sino que la alternativa usada para contar con un mínimo de electricidad, requiere del uso de un combustible fósil. A continuación se comparte una en la que se muestran las zonas que hacen parte del SIN y aquellas zonas no interconectadas (ZNI), en las que todavía se hace uso de combustibles fósiles.

Porcentaje de territorio cubierto por el SIN y las ZNI.

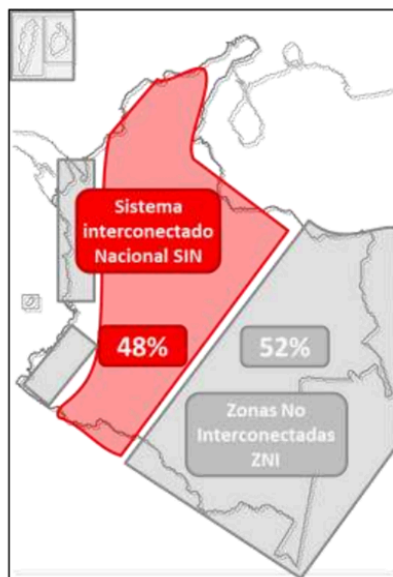


Figura 5 - Fuente: IPSE 2012

Con el fin de tener una panorámica actualizada en relación a los aportes hídricos que son la fuente de análisis de este proyecto se realizó la siguiente imagen para reconocer los proyectos y las zonas que cubren:

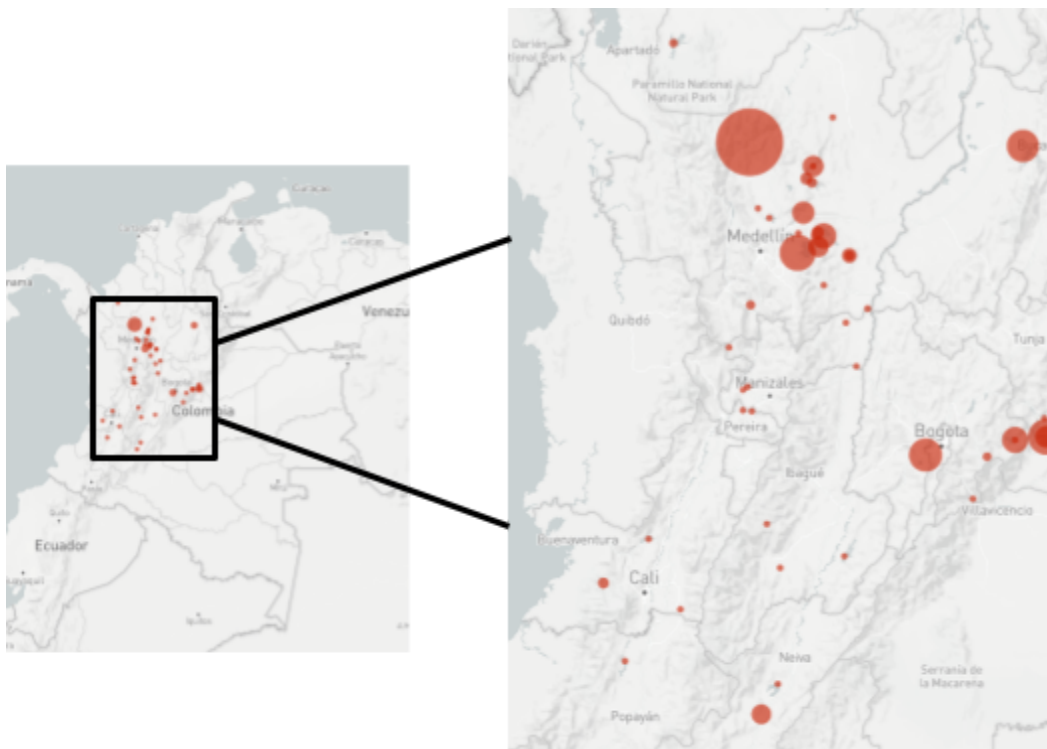


Figura 6 - Fuente: Propia - Visualización Streamlit del Proyecto

Además de embalses, el SIN implementa alternativas de generación de energía hidráulica, principalmente a través de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH), que surgieron hacia 1889 para suplir las necesidades energéticas en las grandes fincas de Bogotá y luego se expandieron. Aunque perdieron relevancia con la preferencia por macroproyectos gubernamentales, las PCH resurgieron en respuesta a crisis energéticas y siguen siendo una opción para abastecer a poblados en zonas remotas.

La generación de energía mediante PCH se dirige a áreas aisladas con pequeños asentamientos humanos, donde llevar una línea de interconexión del sistema eléctrico resulta costoso. Esta modalidad aprovecha la energía potencial del agua almacenada en un nivel superior, transformándola en energía cinética, una de las primeras formas usadas para producir electricidad en el país.

Aunque solo una parte del territorio cuenta con acceso a energía hidroeléctrica, los numerosos afluentes y caudales del país ofrecen oportunidades para proyectos a filo de agua en muchas regiones. Estos proyectos, según la topografía, pueden requerir o no de un embalse; aunque su capacidad es limitada comparada con un gran embalse, su implementación requiere estudios específicos debido a su impacto en el territorio.

En el siguiente mapa, tomado del Atlas Hidroenergético, se muestra el potencial hidroenergético a nivel nacional, debe tenerse en cuenta que este es calculado para proyectos a filo de agua.



Figura 7 - Potencial hidroeléctrico a nivel nacional

Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. IDEAM. 2015

Puede apreciarse en este mapa el gran potencial que posee el país para la implementación de infraestructura hidroeléctrica para la generación de energía. Muestra de ello es que a través de los años, se consolidan nuevos proyectos para abastecer de este recursos otras zonas del país. Así puede apreciarse en el siguiente cuadro, en el que las líneas muestran el año en que empezaron a operar nuevos proyectos hidroeléctricos y en distintas zonas:



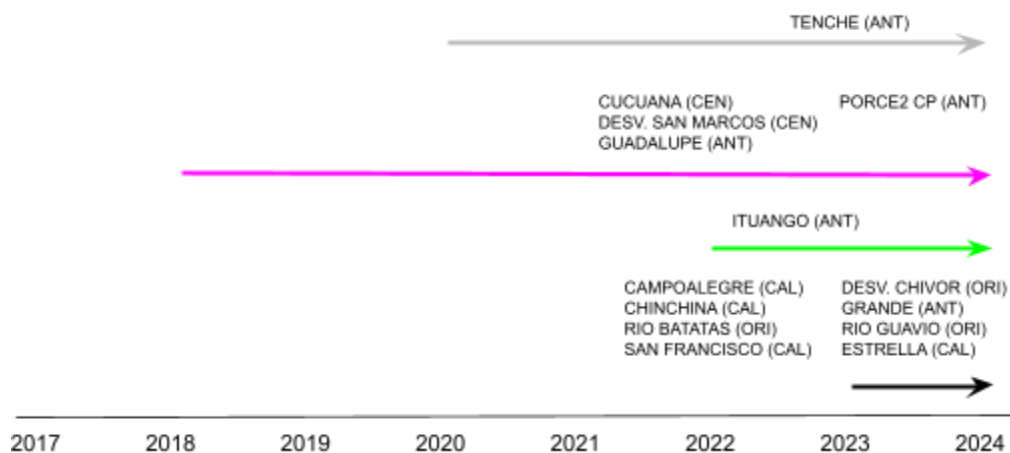


Figura 8 - Línea del tiempo con registros de nuevos aportes hídricos

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que los proyectos se siguen consolidando en áreas que ya están cubiertas pro SIN, son opciones que amplían la cobertura y su capacidad se adapta a regiones con menor demanda energética, lo que a largo plazo permitirá una transición energética muy significativa, pues genera bajas emisiones de gases de efecto invernadero. Además de ser confiables es un afluente constante al ser producida localmente disminuyendo las fluctuaciones de los precios internacionales y las interrupciones del suministro, en comparación con los combustibles fósiles.

Además, hay que considerar que la construcción de proyectos hidroeléctricos tiene dos panoramas, por una parte su consolidación implica la transferencia de recursos para mitigar el daño ambiental, lo que implica la creación de empleo, no solo para la construcción, operación y mantenimiento de la misma, sino del entorno en el que se ubica. Esto trae consigo una mayor actividad económica para la región lo que fomenta el crecimiento de la economía local, ya que implica la construcción de carreteras, y el acceso a otros servicios básicos. De otro lado, genera afectaciones en la biodiversidad, así como sucedió con el megaproyecto HidroItuango, en el que se vió afectado el el bosque seco tropical de Colombia, el cual según el Instituto Humboldt tiene una biodiversidad única: casi 2600 especies de plantas (83 endémicas), 230 especies de aves (33 endémicas) y 60 especies de mamíferos (3 endémicos). Por tanto, a partir del gran potencial del país y de sus afluentes para producir energía se puede optar por opciones menos invasivas y que no impliquen afectaciones a gran escala, tanto para el medio ambiente como las poblaciones humanas.

### 3. Recomendaciones de Adaptación

- *Diversificación de fuentes energéticas:* La alta dependencia en generación hidroeléctrica hace al país vulnerable ante variaciones climáticas. Es recomendable fomentar la integración de fuentes renovables no convencionales como solar y eólica, especialmente en regiones con menores condiciones favorables para obtener altos valores de aportes hídricos.
- *Fortalecimiento de infraestructura:* Mejorar la infraestructura de almacenamiento y regulación de agua en embalses clave podría optimizar el uso de los recursos hídricos y mejorar la resiliencia del sistema.
- *Planificación temporal:* Utilizar el análisis de los datos para realizar una adaptación predictiva hacia los comportamientos de las cuencas hídricas del país a lo largo del tiempo. Así como la implementación de una planificación estratégica que considere proyecciones climáticas y gestione los recursos hídricos en función de las tendencias observadas.
- *Expansión de la cobertura del SIN:* Desarrollar estrategias para ampliar la cobertura hidroeléctrica y el aprovechamiento de las ZNI al aporte energético nacional. Para este fin es crucial tomar en cuenta aspectos como la hidrografía, la riqueza fluvial y las características demográficas de la región. Además, deben considerarse las restricciones legales y ambientales en áreas protegidas, como parques nacionales, páramos, manglares y humedales, que limitan o condicionan el aprovechamiento hidroeléctrico.

### 4. Conclusiones

La generación de energía renovable es un proceso que encamina al mundo hacia la transición de energías contaminantes a energías limpias, además encamina el trayecto diseñado por la ONU bajo diferentes modelos llamados Objetivos de Desarrollo Sostenible. El ODS N°7 es un llamado a garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. En Colombia, los efectos del cambio climático y los eventos climáticos fluctuantes representan una amenaza significativa para la generación de energía hídrica, especialmente en sus regiones con alta dependencia a este tipo de energía renovable. Así, buscando aportar al cumplimiento del ODS 7, se concluye que es necesaria una adaptación mediante estrategias de diversificación y respaldo energético, así como una transición lenta y progresiva a la sustitución y eliminación de energías no renovables en las ZNI. En el futuro, fortalecer la capacidad de respuesta ante eventos climáticos extremos será clave para asegurar un suministro energético confiable y sostenible, asegurando la llegada de las nuevas energías a cada uno de los hogares del país.

## Referencias

- Infante, J. (2023, noviembre 4). Gobierno Nacional declara oficialmente el fenómeno de El Niño y alerta a continuar preparándose -. Gov.co. <https://www.minambiente.gov.co/gobierno-nacional-declara-oficialmente-el-fenomeno-de-el-nino-y-alerta-al-pais-a-continuar-preparandose/>
- Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. (2012). ESTUDIO PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD Y LAS OPCIONES DE ADAPTACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO COLOMBIANO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO. [https://www1.upme.gov.co/Documents/vulnerabilidad\\_opciones\\_adaptacion\\_sector\\_energetico\\_colombiano\\_frente\\_cambio\\_climatico.pdf](https://www1.upme.gov.co/Documents/vulnerabilidad_opciones_adaptacion_sector_energetico_colombiano_frente_cambio_climatico.pdf)
- UPME. 2019a. Transmisión plan actual. URL <http://sig.simec.gov.co/GeoPortal/Mapas/Mapas>
- Fonseca Zárate, C. H., & Sandra Velasco, M. (2024, July 1). Gestión del agua en Colombia en la policrisis del siglo 21: Factor fundamental de la riqueza territorial sustentable. Corporación Latinoamericana Sur. <https://www.sur.org.co/gestion-del-agua-en-colombia-en-la-policrisis-del-siglo-21-factor-fundamental-de-la-riqueza-territorial-sustentable/>
- Santos, C. (2023 08 23). *Mercado energético en Colombia: Avances, dificultades y tensiones en la transición*. <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/mercado-energ%C3%A9tico-en-colombia-avances-dificultades-y-tensiones-en-la-transici%C3%B3n/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, «Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.» 2015. [En línea]. Available: <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Primer-Atlas-hidroenergetico-revela-gran-potencial-en-Colombia.aspx>. [Último acceso: octubre 27]
- Ley 143 de 1994 - Gestor Normativo. (s. f.). Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631#:~:text=Sistema%20interconectado%20nacional%3A%20es%20el,cargas%20el%C3%A9ctricas%20de%20los%20usuarios.>
- PLANTAS HIDRÁULICAS. (2006, 6 septiembre). Comisión de Regulación de Energía y Gas. Recuperado 20 de octubre de 2024, de [https://gestornormativo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/e54ddf5bdb92f6d90525785a007a6d48/\\$FILE/CIRCULAR038-2006%20D-073%20ENFICC-.pdf](https://gestornormativo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/e54ddf5bdb92f6d90525785a007a6d48/$FILE/CIRCULAR038-2006%20D-073%20ENFICC-.pdf)

HIDROENERGÍA. (s. f.). *Atlas*. Recuperado 20 de octubre de 2024, de [https://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Atlas/Atlas\\_p25-36.pdf](https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf)

Corficolombiana. (2024). Corficolombiana.com. <https://investigaciones.corficolombiana.com/documents/38211/0/Generaci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20en%20Colombia%20y%20su%20transici%C3%B3n%20hacia%20Fuentes%20Renovables%20No%20Convencionales.pdf/5ffcba57-f7b8-f4b6-35c0-ae9302bd1a0a>