

REVISIÓN DE LA DIVERSIFICACIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA PARA LA
OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE FNCE EN COLOMBIA

NICOLÁS FERNANDO ROBAYO ACOSTA

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

DIRECTORA

DIANA CAROLINA GARZÓN VELASCO

MSC. GESTIÓN AMBIENTAL Y ENERGÉTICA DE LAS ORGANIZACIONES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Dany Cárdenas
Director de Trabajo de grado

Felipe Correo
Jurado 1

Juan Sandoval
Jurado 2

Bogotá D.C, agosto de 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García – Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectoría Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejia Guzman

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. Jose Luis Macias Rodriguez

Decana de la Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora del Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas del claustro de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente; no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1 Antecedentes	8
1.2 Pregunta de investigación	10
1.3 Justificación	10
1.4 Objetivo general	11
1.5 Objetivos específicos	11
2. METODOLOGÍA	12
3. RESULTADOS	13
3.1 Capítulo 1	13
3.1.1 <i>Panorama energético colombiano</i>	13
3.1.2 <i>Colombia y su dependencia en las plantas hidroeléctricas</i>	15
3.2 Capítulo 2	16
3.2.1 <i>Fenómenos naturales y cambios climáticos</i>	16
3.2.2 <i>Impactos ambientales de las plantas hidroeléctricas</i>	18
3.2.3 <i>Crisis eléctricas en Colombia</i>	19
3.3 Capítulo 3	19
3.3.1 <i>Casos de éxito en el uso de FNCE en distintos países</i>	19
3.3.2 <i>Posibilidades de implementación de fuentes no convencionales de energía en Colombia</i>	22
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	26
5. CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	30

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Matriz energética colombiana</i>	13
Figura 2 <i>Capacidad instalada de energía eléctrica en Colombia</i>	14
Figura 3 <i>Fenómeno del niño</i>	17
Figura 4 <i>Inversión en energías renovables a nivel mundial de 2004 a 2022</i>	21
Figura 5 <i>Indicadores para medición de índices de sostenibilidad de las energías renovables</i>	22
Figura 6 <i>Distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria en 2019, según la fuente</i>	24
Figura 7 <i>Mapa de radiación solar en Colombia</i>	27

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es analizar la viabilidad técnica de implementación de fuentes no convencionales de energía para lograr una ampliación de la matriz energética colombiana. El estudio se realiza a partir de la identificación de distintos fenómenos ambientales y cambios constantes en el clima que afectan la actual matriz energética, evidenciando también ejemplos que ayuden a abordar la necesidad de tener una producción energética con varias vertientes y no depender en gran medida de la energía hidroeléctrica como es actualmente el caso del país colombiano, lo anterior al usar una metodología cualitativa, por búsqueda y recolección de distintos artículos y publicaciones que justifique lo redactado en este texto. Como resultados principales del trabajo se encontró que tanto los impactos sociales y ambientales como también los fenómenos naturales hacen que depender de la energía hidroeléctrica como generación de energía eléctrica no sea lo más conveniente y crea la necesidad de ampliar la matriz energética colombiana. También se podrá ver en el estudio que así mismo como se impulsa el uso de fuentes no convencionales de energía no es viable hacer una transición energética sin tener en cuenta los combustibles fósiles ya que en este momento la gran parte de producción energética se hace mediante la extracción de petróleo, carbón y gas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia se tiene una fuerte dependencia a la generación energética a partir de hidroeléctricas, lo cual, da a entender que es un país energéticamente limpio. Sin embargo, al incursionarse en el tema global de tener una matriz energética amplia como necesidad mundial, se empiezan a dar dificultades en el suministro de energía. Estas dificultades tienen que ver con los cambiantes ciclos naturales y fenómenos cada vez más frecuentes, causados directa e indirectamente por el cambio climático y el calentamiento global. Un claro ejemplo de esto es el fenómeno de la niña, que, debido a la intensa y prolongada lluvia, los deslizamientos se hacen más frecuentes ya que la tierra se humedece, esto complica la infraestructura de las hidroeléctricas y pone en riesgo no solo la estabilidad del embalse sino las comunidades y biodiversidad de la zona, caso ocurrido por ejemplo con Hidroituango. Otro ejemplo de que los fenómenos naturales afectan fuertemente a las hidroeléctricas es el fenómeno del niño, generando una sequía extrema que tiene alcance de secar cauces y disminuir el caudal de los ríos, afectando así, directamente las plantas de hidroenergía, causando una baja en su producción energética de hasta un 60% (Casallas,2018) según un estudio realizado en este aspecto.

Para complementar las problemáticas destacadas anteriormente, se puede hacer memoria en dos crisis energéticas puntuales vividas en Colombia como consecuencia de los fenómenos naturales mencionados anteriormente. La primera conocida como la “hora Gaviria”, seguramente muy recordada y la segunda crisis ocurrió en el periodo 2015-2016 en donde por las mismas causas del anterior ejemplo se perjudicó negativamente la producción de energía a través de hidroeléctricas y termoeléctricas. Estas problemáticas serán ampliadas en el capítulo 3.2.3.

Las deficiencias energéticas mostradas en los párrafos anteriores evocan la necesidad de diversificar la matriz energética del país para apoyar el cumplimiento en el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, lograr la robustez al sistema eléctrico y garantizar el suministro de energía. Así pues, se puede plantear como pregunta problema: ¿Qué tan viable técnicamente sería la implementación de fuentes no convencionales de energía (FNCE) en aras de diversificar la matriz energética colombiana?

1.1 Antecedentes

Se consultó los antecedentes sobre el tema principal de esta investigación, siendo esta “la diversificación de la matriz energética en Colombia” y utilizando tesauros como “matriz energética

colombiana” o con “energía en Colombia” y realmente no se obtuvieron resultados relevantes a nivel general que contribuyeran a la construcción de los antecedentes de este tema.

Sin embargo, dentro de lo que se logró hallar, se puede destacar un artículo Romero (2021) que analizó el TES (Total Energy Supply) o en español el suministro de energía, para ver una similitud con el presente trabajo se puede decir que es un análisis a la matriz energética de 141 economías (países). Para este análisis se utilizó como ventana de tiempo el periodo comprendido entre 1990 y 2018. Allí se plasman diferentes gráficas y cálculos referentes a la cuantificación de las fuentes en las que se basa el mundo para la obtención de energía, en la mayoría de estas ilustraciones se puede ver como los autores separan las energías renovables de la biomasa y de las hidroeléctricas, aspecto importante que va muy de la mano con lo que se quiere aclarar mediante este documento, ya que, partiendo del entendimiento de que hay fuentes convencionales de energía (FCE) que si bien se consideran viables como apoyo a los combustibles fósiles, estas no son las más indicadas para tal fin, teniendo en cuenta el factor ambiental, como si lo pueden ser las fuentes no convencionales de energía (FNCE), que quizás no generan graves daños al ambiente como las FCE.

Otro tesoro que se utilizó fue “FNCE en Colombia” o “Energía renovable en Colombia”, y en este caso se logró encontrar mucha más información. Este tema toma auge, a medida que los problemas ambientales incrementan, se vuelve una búsqueda mucho más sencilla que cuando se intenta relacionar con la matriz energética. Se encontraron artículos con títulos bastante atractivos que fueron de gran utilidad en este estudio. Un ejemplo de los artículos hallados es el titulado “Solar PV generation in Colombia - A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market” (Lopez, 2019), en este se plantea una pregunta problema relacionada a definir cuáles son las dificultades más grandes al implementar energía fotovoltaica en Colombia, y sus autores encontraron que son 6 grandes problemas que no permiten su implementación masiva, y dentro de las tres que tienen el más alto porcentaje es la parte social, y aunque parece que es lo menos problemático, según este estudio es lo que más afecta la idea, ya sea por desconocimiento de esta tecnología, por falta de interés público o por falta de incentivos políticos y financieros,

estas tres razones mayoritariamente no están permitiendo un mejor desarrollo en esta fuente no convencional de energía, lo que significa que no permite que se diversifique la matriz energética.

Otro de los antecedentes es el podcast Robayo y Morales (2020) realizado por dos estudiantes de la Fundación universidad de América en la asignatura estado del arte que homologaba seminario de proyecto de grado para graduarse de ingenieros mecánicos. En este se habla puntualmente de como Colombia es dependiente de las hidroeléctricas para generar su energía y como esto se ha visto afectado por fenómenos naturales como el de la niña y el del niño. También se discute sobre la necesidad mundial establecida por la ONU en diversificar la matriz energética de todos los países del mundo, esto para evitar apagones o crisis energéticas, encaminando así cada vez más la transición energética tan necesaria para el planeta.

Con base en los ejemplos anteriores se puede denotar que, si bien es un tema de una importancia mundial, en cuanto a la matriz energética no es muy investigado y todavía está con una gran oportunidad en el ámbito investigativo y aplicativo. Además que en las consultas echas en las bases de datos se quiso concentrar en artículos recientes que no tuvieran más de 20 años de publicados buscando tener la información lo más actualizada posible y las citas realizadas en estos antecedentes pueden dar fe de ello, junto a esto también se pudo conocer que aunque es un tema muy general, el tema que se quiere tratar es delimitado a un país así que por esto tampoco se pudo traer muchos ejemplos a colación, ya que algunos artículos encontrados se salían de condiciones relevantes para esta investigación, pero que sin duda servirán para el desarrollo de esta en partes más metodológicas, ya que como se planteó en los objetivos la idea es plantear escenarios de matriz energética pero en otros países y la implementación de FNCE.

1.2 Pregunta de investigación

¿Qué tan viable técnicamente sería la implementación de fuentes no convencionales de energía (FNCE) en aras de diversificar la matriz energética colombiana?

1.3 Justificación

Dentro de los objetivos de desarrollo sostenible que se ha planteado la ONU para el año 2030 en cuanto a temas energéticos (Objetivo 7: energía asequible y no contaminante), en la meta 7,2 del objetivo 7 (Organización de las Naciones Unidas [ONU]), se busca no depender de solo una forma de energía si no por el contrario ampliar la matriz energética de todos los países, esto garantizará un acceso digno a la electricidad, recurso que hoy por hoy es indispensable para una vida con bienestar y Colombia no puede ser ajeno a esta petición, más que petición un deber ambiental y social.

Actualmente, la matriz energética en Colombia se encuentra fuertemente representada por una fuente renovable de energía convencional, esta forma de energía son las plantas hidroeléctricas, representando aproximadamente el 70% de la matriz energética colombiana con esta investigación se precisará la distribución de las fuentes de energía en la matriz energética colombiana y el estudio tendrá como alcance también informar por qué no es conveniente depender en gran parte de una sola fuente de energía y se podrá divisar los beneficios de ampliar la matriz de energía.

Se planea mostrar distintos ejemplos como casos de éxito de energía renovables aplicadas en otros países para que sirvan como motivación y de alguna manera ver las distintas condiciones a las cuales se aplican estas energías lo que permitirá hacer un análisis en la posibilidad de implementación y adaptación en Colombia.

1.4 Objetivo general

Analizar la viabilidad de diversificación de la matriz energética colombiana, para la obtención de energía eléctrica, por medio de las fuentes no convencionales de energía (FNCE).

1.5 Objetivos específicos

1. Verificar el panorama energético en Colombia y su dependencia en las centrales hidroeléctricas.
2. Identificar los efectos por los cambios climáticos, fenómenos naturales e impactos ambientales generados y como estos afectan las centrales energéticas y así mismo la matriz energética colombiana.
3. Establecer las posibilidades de implementación de fuentes no convencionales de energía en Colombia examinando casos de éxito de otros países.

2. METODOLOGÍA

Se planeó distribuir en tres capítulos el desarrollo de los tres objetivos específicos planteados. Primero se realizará una búsqueda en diferentes bases de datos como Ebsco Host (GreenFile), ScienceDirect, Springer Link, Scielo, entre otros, sobre el tema de cada capítulo, que a su vez corresponde al desarrollo de cada objetivo específico, por ejemplo, se utilizará los tesauros de palabras clave de temas como “panorama energético”, “cambios climáticos”, “fenómenos naturales”, “crisis eléctricas”. Se leerá el resumen, palabras claves y conclusiones para seleccionar los artículos que harán parte de este análisis. Se definirá los efectos climáticos, fenómenos naturales e impactos ambientales que generan y afectan las hidroeléctricas. Se enmarcarán ejemplos claros de las crisis energéticas vividas en Colombia. También se expondrán ejemplos de la implementación de FNCE en otros países como casos de éxito para tener un punto de comparación viendo las oportunidades que tendría Colombia en este desarrollo y ampliación de la matriz energética. Se hará un análisis de la clasificación RISE (índice de sostenibilidad de energías renovables) y la puntuación de Colombia.

Por último, se leerá y revisará toda la investigación para corroborar el cumplimiento de las normas APA y la redacción de esta. Por el tipo de investigación que se está realizando conviene una metodología cualitativa en donde se permita abordar los temas en forma de características, causas y efectos, y otros aspectos alejados de una metodología cuantitativa.

3. RESULTADOS

3.1 Capítulo 1

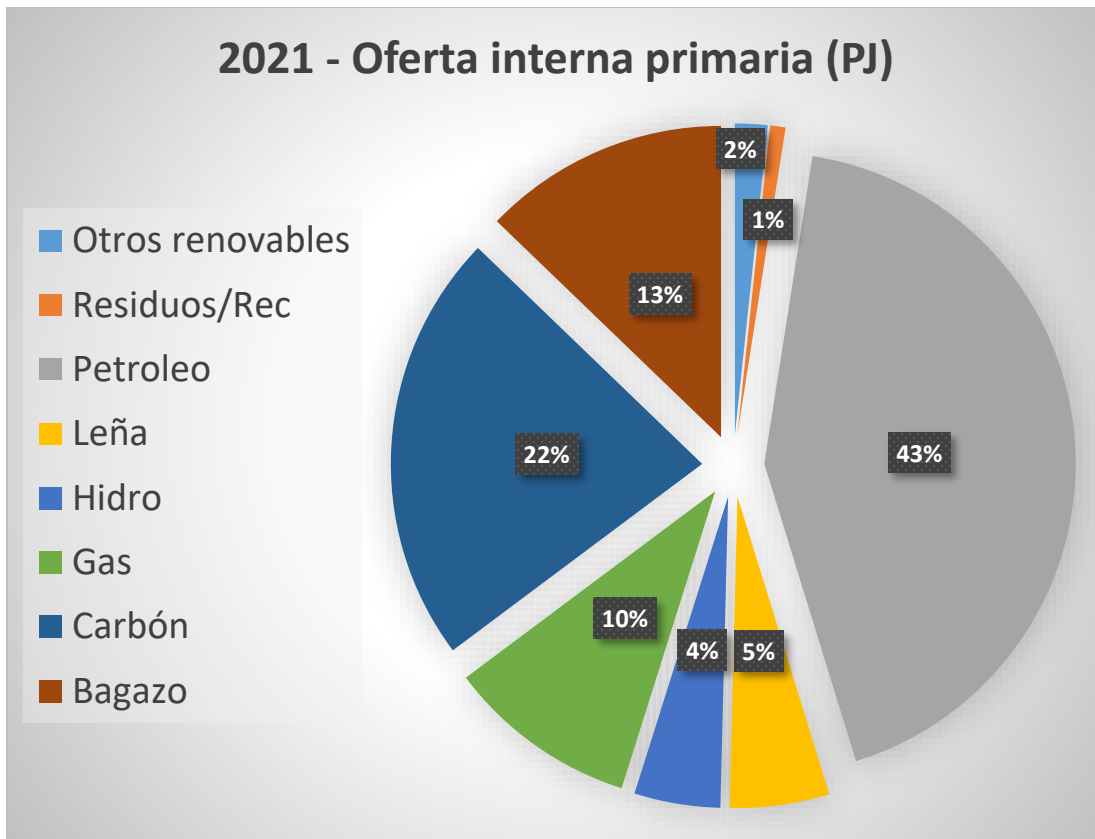
3.1.1 Panorama energético colombiano

En este subtema se busca establecer el panorama energético de Colombia, viendo su matriz energética y la implementación actual en el país de fuentes no convencionales de energía.

Se puede observar en la figura 1 que actualmente la matriz energética en Colombia es distribuida según la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) de la siguiente manera:

Figura 1

Matriz energética colombiana



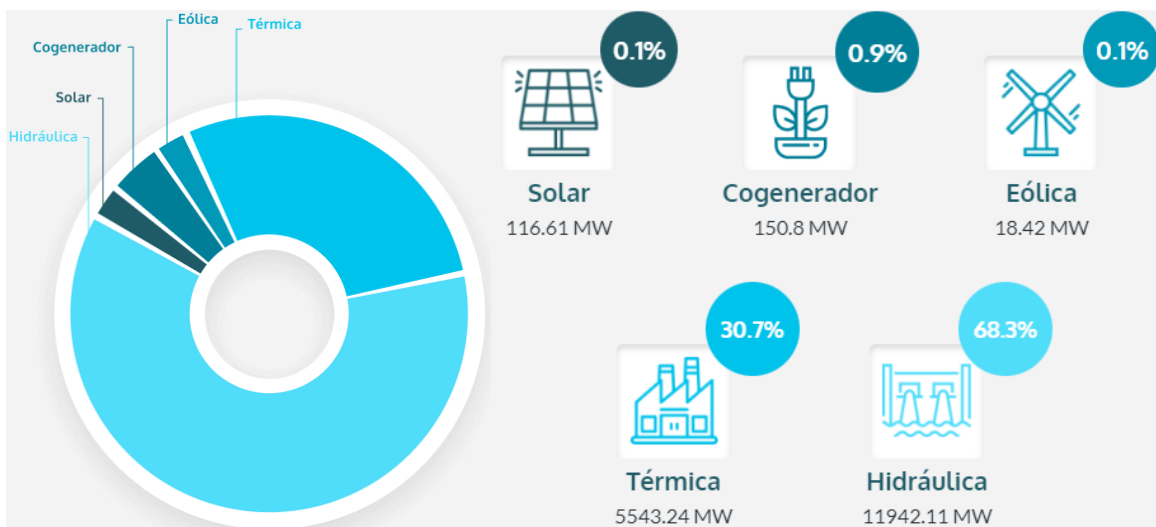
Nota. En otros se encuentran la biomasa, el biogás, el eólica, el bagazo y Jet A1. Tomado de: UPME. (s.f). *Balance energético colombiano.* <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/BECO.aspx>

En el diagrama anterior podemos ver que en cuanto a energías renovables se tiene una dependencia muy marcada en Colombia con las plantas hidroeléctricas y es preciso recordar que esta forma de energía está clasificada como energía renovable “convencional” y los ODS insisten en globalizar las fuentes no convencionales de energía (FNCE) lo cual indica que todos los países tienen que hacer esfuerzos en generar, distribuir e incluir las FNCE en su matriz energética.

Según Acolgen (La Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica) la capacidad instalada de energía eléctrica en Colombia se distribuye como se muestra en la figura 2:

Figura 2

Capacidad instalada de energía eléctrica en Colombia



Nota. La figura presenta la Capacidad instalada de energía eléctrica en Colombia Tomado de: Acolgen - Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica. (2022). <https://acolgen.org.co/>

A pesar de que esta distribución según Acolgen es la sexta más limpia del mundo, no deja de llamar la atención la representación de las hidroeléctricas y más por el impacto ambiental que estas implican.

Con lo anterior podemos denotar el panorama energético de Colombia de manera resumida, permitiendo una vista global de las oportunidades de mejora en la ampliación de su matriz energética y en la implementación de FNCE.

3.1.2 Colombia y su dependencia en las plantas hidroeléctricas

Este subcapítulo se enfocará en mostrar la poca diversificación que tiene Colombia en su matriz eléctrica y las consecuencias que trae no tener otras formas de generación eléctrica.

Actualmente, la generación de energía eléctrica en Colombia es altamente dependiente de las plantas hidroeléctricas y termoeléctricas. Plantas que representan entre el 60 y el 70 por ciento de la generación de energía del país para las hidroeléctricas y las plantas termoeléctricas representan entre un 25 y un 35 por ciento (XM, 2019). Lo anterior sustentado con el sistema de Información de Parámetros Técnicos de elementos del Sector Eléctrico Colombiano dispuesto por el SIN (Sistema Interconectado Nacional), donde se establece la siguiente tabla:

Tabla 1

Capacidad efectiva de generación de energía eléctrica.

Tipo/fuente de energía (año 2021)	Capacidad
	Efectiva Neta (MW)
Cogenerador	192.50
Eólica	18.42
Hidráulica	12584.08
Solar	387.47
Térmica	5816.33
TOTAL CAPACIDAD EFECTIVA NETA	18998.79

Nota. La tabla describe la Capacidad efectiva de generación de energía eléctrica Tomado de: XM. (2019a). *Capacidad efectiva por tipo de generación.*
<http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad>

Que la matriz de generación eléctrica colombiana sea tan dependiente de solo una forma de energía (las hidroeléctricas) se traduce en una situación riesgosa ya que como se expone en el siguiente capítulo los cambios climáticos y los fenómenos naturales, cada vez más constantes en la tierra, no permiten una estabilidad y seguridad energética en Colombia y para ningún país es conveniente ser vulnerable a estos efectos cambiantes en el clima.

3.2 Capítulo 2

3.2.1 Fenómenos naturales y cambios climáticos

Aunque Colombia, no es un actor crítico dentro de la emisión de gases de efecto invernadero a nivel global, sí presenta una alta vulnerabilidad frente al cambio climático (Fedesarrollo, 2013). Principalmente, porque entre 60 y 80 por ciento de la producción de electricidad proviene de plantas hidroeléctricas (XM, 2019). Plantas que ven fuertemente afectada su producción eléctrica frente a periodos prolongados de bajas precipitaciones, como ocurre durante el Fenómeno del niño. Por lo cual, para lograr la disminución de esta vulnerabilidad, y contribuyendo cada vez menos en la emisión de contaminantes, es de vital importancia que el gobierno, junto al sector privado, impulse la diversificación de las fuentes limpias de generación eléctrica en el país (Fedesarrollo, 2013).

3.2.1.a. Fenómeno de la niña. El primer fenómeno por explicar es el de la niña, que según la IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) es “el aumento considerable de las precipitaciones y una disminución de las temperaturas en las regiones Andina, Caribe y Pacífica, así como en áreas del piedemonte de los Llanos orientales” y sucede por un acoplamiento del océano y la atmósfera y de acuerdo con lo expuesto a final de enero de 2011 por la Organización Meteorológica Mundial (por consenso de diversos centros climáticos del mundo)

3.2.1.b. Fenómeno del niño. El Fenómeno de "el Niño" es un evento climático que se genera cada cierto número de años por el calentamiento del océano Pacífico (IDEAM). Sus efectos son notables en el norte de la región Pacífica, los departamentos de la región Andina y en los departamentos de la región Caribe. Este calentamiento es producido por un debilitamiento de los vientos alisios y esto genera un aumento en la temperatura superficial del océano (Figura 3).

Figura 3

Fenómeno del niño



Nota. La figura presenta el Fenómeno del niño. Tomado de: Fenómeno Niño y Niña - IDEAM. (n.d.). Gov.co. Retrieved March 9, 2023, from <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ninoynina>

Cabe destacar que estos fenómenos no hacen parte del cambio climático, ya que estos son temporales y transitorios.

Puntualmente para decretar oficialmente que el país sufre estos fenómenos mencionados, se utiliza un indicador llamado índice oceánico ONI, construido por el Centro de Predicción climática de la NOAA (Administración Nacional del Océano y la Atmósfera de los estados Unidos), y consiste en la anomalía de la temperatura de la superficie del Océano Pacífico con respecto al promedio, esta anomalía debe ser calculada con los promedios móviles de tres meses. Se dice que un fenómeno el Niño se ha establecido, cuando la diferencia es mayor a + 0.5°C durante cinco meses o más. Por el contrario, el fenómeno La Niña se declara cuando la diferencia es menor a - 0.5°C. Este indicador marca claramente cuando una región sufre estos fenómenos (García, 2008)

3.2.2 Impactos ambientales de las plantas hidroeléctricas

A medida de los años se han dado cuenta de que las mal llamadas “energía limpias” o conocidas así, siendo las mismas energías renovables son las “salvadoras” de nuestro planeta a nivel de generación de gases efecto invernadero y que nos va a permitir suplir la demanda energética mundial sin perjuicio ambiental, sin embargo, esto no es así. Recordando que un impacto ambiental es toda consecuencia de una actividad humana podemos decir que la construcción, fabricación y funcionamiento para la generación de energía va a tener consigo unos impactos ambientales asociados. En este subcapítulo se desglosará uno a uno los inconvenientes y efectos ambientales que representa la puesta en marcha de una planta hidroeléctrica.

La energía renovable más utilizada a nivel mundial, la generación hidroeléctrica, ha ido perdiendo su poderío debido a los impactos ambientales que se presentan con su construcción y la reducción de costos de las renovables no convencionales (Ramírez, 2022).

Uno de los mayores impactos que tiene la construcción de una planta hidroeléctrica es que debido a que se debe hacer una balsa de gran tamaño se sumerge la tierra, alterando el territorio. También se modifica el ciclo de vida de la fauna y dificulta la navegación fluvial, además de afectar el transporte de materiales vitales para la reproducción y generación de vida aguas abajo como lo son nutrientes y sedimentos (por ejemplo: limos y arcillas).

Los anteriores efectos son causados tanto en la construcción como en el funcionamiento de una planta de hidroenergía, pero no se pueden comparar con la modificación del caudal de los ríos y la variación de la composición del agua embalsada y el microclima, y esto más que un impacto ambiental también si se analiza profundamente se convierte en un impacto social, ya que las sociedades que dependen de este recurso aguas abajo van a verse muy afectadas y todos estos efectos generados se verán reflejados en la escasez y calidad del agua utilizada por las comunidades que allí vivan.

Para finalizar con este subcapítulo de los impactos ambientales asociados a las plantas hidroeléctricas cabe destacar que debido a las inundaciones que se producen en estas plantas de generación de energía se afecta la fauna y flora, facilitando la descomposición de los animales y plantas y esto a su vez produce metano, siendo este uno de los gases de efecto invernadero más incidente en el calentamiento global y la descomposición de la capa de ozono. Por lo dicho anteriormente las hidroeléctricas son una de las más importantes fuentes generadoras de energía,

pero a la vez representan varios factores de pérdida de la biodiversidad en el mundo, los bosques en Colombia no se escapan de esta situación siendo una de las víctimas junto con comunidades de municipios afectadas por las hidroeléctricas, y muchas de estas comunidades han tenido que salir incluso huyendo de sus lugares por temor a una avalancha (EPM,2019).

3.2.3 Crisis eléctricas en Colombia

Para complementar las problemáticas destacadas anteriormente, se puede hacer memoria en dos crisis energéticas puntuales vividas en Colombia. La primera conocida como la “hora Gaviria”, sucedió entre el lunes 2 de marzo de 1992 y el 7 de febrero de 1993 donde por un prolongado fenómeno del niño, el gobierno tomó la decisión de adelantar una hora los relojes en el país, pasando de UTC -5 a UTC -4 a la medianoche del 2 de mayo de 1992, para contrarrestar los efectos negativos de los cortes de energía eléctrica (López, 2017). La segunda crisis ocurrió en el periodo 2015-2016 en donde por las mismas causas del anterior ejemplo se perjudicó negativamente la producción de energía a través de hidroeléctricas y termoeléctricas.

Los fenómenos ambientales y climáticos sumados con las crisis ambientales provocan un desajuste en la matriz energética colombiana ya que como se afirma en un artículo de la Universidad Distrital sobre la crisis energética vivida en Colombia en 1992. “Si una planta de generación de energía eléctrica depende de recursos finitos como el agua o los combustibles fósiles habrá tanta electricidad como recursos para generarla, por ende, si no hay recursos no hay electricidad. La luz solar es gratuita e ilimitada, con lo cual no dependeríamos de factores climáticos como el actual fenómeno de El Niño para determinar qué tanto podemos hacer uso de la electricidad.” (Mateus, 2016).

3.3 Capítulo 3

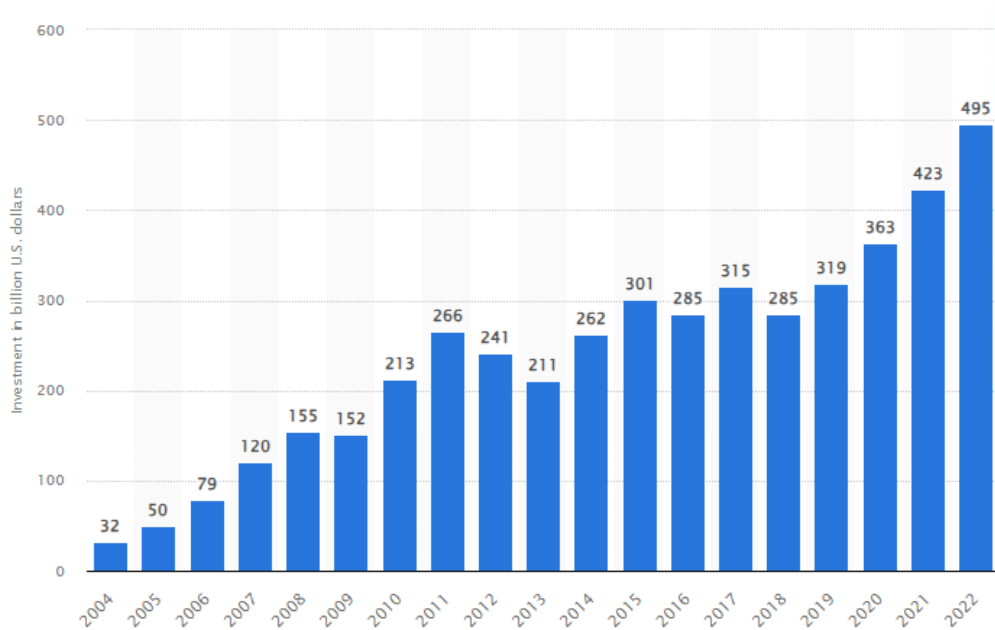
3.3.1 Casos de éxito en el uso de FNCE en distintos países

En la actualidad existe una búsqueda incesante de formas de aprovechamiento de estas energías que sean factibles técnicamente y atractivas económicamente, dándose un desarrollo importante en los EEUU y en varios países de la Unión Europea, tales como España, Alemania y Rusia, mientras que en América Latina su progreso es incipiente, sólo destacándose Brasil y México (Fausto, 2004).

Un ejemplo claro de la tendencia mundial con las energías alternativas se puede ver en las inversiones a nivel mundial que se están tomando las industrias en general y han hecho que esta inversión crezca considerablemente: “En 2022, la nueva inversión total en energía renovable ascendió a aproximadamente 495 mil millones de dólares estadounidenses en todo el mundo. Este fue un aumento del 17 por ciento con respecto al año anterior. La cantidad de fondos proporcionados para la energía limpia en todo el mundo ha aumentado constantemente durante las últimas dos décadas. En 2004, las inversiones en energía limpia totalizaron 32 000 millones de dólares estadounidenses y aumentaron hasta un máximo de 495 000 millones de dólares estadounidenses en 2022. El aumento significativo en la financiación de inversiones indica que la industria ha madurado mucho. El apoyo político a las fuentes renovables, una industria en aceleración y el surgimiento de empresas que cotizan en bolsa que poseen activos de energía renovable (también conocidas como yieldcos) han impulsado el aumento constante de la inversión en energía limpia” (Fernández, 2023). Esta inversión en Colombia se ha visto representada en proyectos de granjas solares para aprovechamiento de energía fotovoltaica y en eólica en menor medida, en la siguiente figura se muestra de manera general la inversión en energías renovables a nivel mundial en un periodo específico:

Figura 4

Inversión en energías renovables a nivel mundial de 2004 a 2022



Nota Valores en miles de millones de dólares estadounidenses. Tomado de: Fernández, L. (2023, March 15). *Clean energy - global investment 2022*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/186807/worldwide-investment-in-sustainable-energy-since-2004/>

Es conveniente para el desarrollo de este estudio tomar ejemplos de casos de éxito en la implementación de FNCE en el mundo, así pues, está el ejemplo de Portugal, tienen la mejor central fotovoltaica existente en el continente europeo logrando una potencia de 62 MW evitando la producción de 60.000 toneladas anuales de CO₂. Considerando que la radiación solar en ese país es similar a la que llega a nuestro país, conclusión proveniente de comparar la figura 7 del presente documento con la radiación solar media de Portugal (Mapas de recursos solares de Portugal, 2023), quiere decir que si es una alternativa muy buena en cuanto a la generación de energía a través de radiación solar con granjas solares y concentradores de calor en el país colombiano.

El país que sin duda gasta más energía en el mundo, pero así mismo invierte en FNCE es China, logrando la mayor inversión del mundo en energías alternativas, siendo la energía eólica y

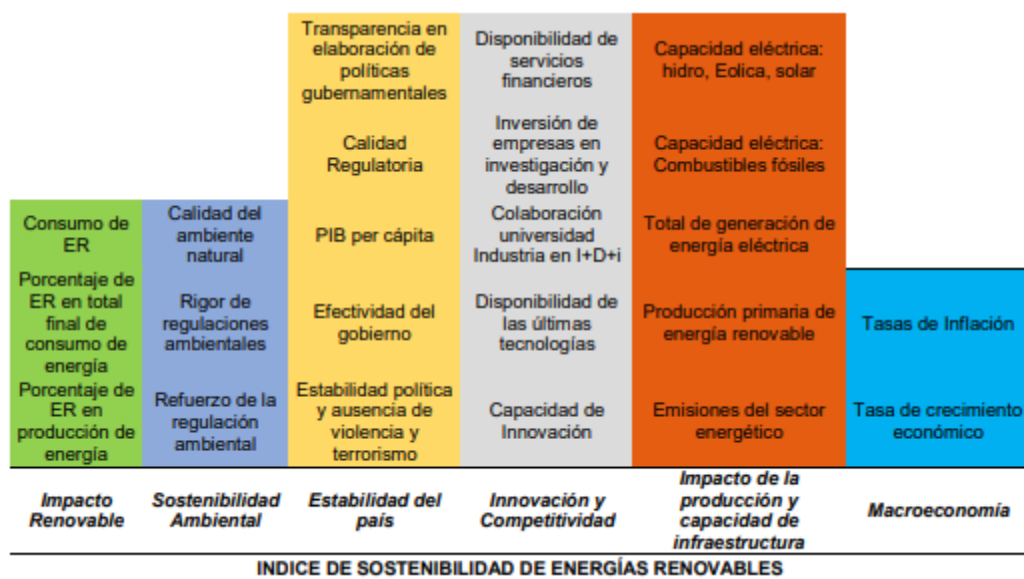
fotovoltaica las más representativas del país asiático: “En 2018, la capacidad acumulada de energía eólica de China ascendió a 209,5 gigavatios. La energía solar fotovoltaica también es común en el país, con alrededor de 306 gigavatios de capacidad de energía solar acumulada instalada a partir de 2021.” (Fernández, 2023), sin embargo, esto no es suficiente para todo el consumo que genera China a nivel energético.

3.3.2 Posibilidades de implementación de fuentes no convencionales de energía en Colombia

Para poder determinar la viabilidad técnica de posibilidad de implementación de FNCE en Colombia podemos enfocarnos un momento en el puntaje RISE (Regulatory Indicators for Sustainable Energy) que es la organización que se encarga de evaluar y dar puntaje energético a los países considerando su avance en las energías renovables, para saber a qué se le debe apuntar si realmente se quiere ser un país en transición energética. Los indicadores que tiene RISE son los siguientes:

Figura 5

Indicadores para medición de índices de sostenibilidad de las energías renovables



Nota: La figura presenta los Indicadores para medición de índices de sostenibilidad de las energías renovables. Tomado de: RISE. (2023). RISE. <https://rise.esmap.org/>

Actualmente Colombia cuenta con un puntaje de 76/100 (RISE, 2023), no es un puntaje bajo, pero si se amplía la matriz energética del país y se independiza de las plantas hidroeléctricas, seguramente esta calificación será superior.

Adicionalmente, Colombia por su posición geográfica cuenta con una radiación solar constante durante todo el año, sobre todo en regiones como La Guajira, Atlántico, Antioquia y Valle del Cauca. Según Ramón Monrás, presidente de ABB para Latinoamérica, este es uno de los elementos claves para que Colombia pueda convertirse en un importante generador de energía solar. "El efecto de la energía solar dura hasta 12 horas al día, registrando incluso los índices más altos a nivel mundial (Cámara de Comercio, 2016). Esto le permite al país desarrollar soluciones solares y granjas o parques solares que generen energía todo el año, con una mayor eficiencia que en los países que tienen estaciones" (paz, 2018)

Gracias a la riqueza natural y la ubicación geográfica privilegiada, el país colombiano tiene el potencial para ser un actor clave por lo menos a nivel latinoamericano en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas para contribuir en la solución de la crisis energética mundial y al mismo tiempo contribuyan en la protección del medio ambiente (Cámara de Comercio, 2016).

Una de las regiones que más tiene potencial de generación de energía por FNCE es la Guajira, ya que La radiación promedio anual en la Guajira, según información obtenida de la UPME, oscila entre los 5,5 y los 7,0 KWh/m² , siendo dicho índice uno de los más altos a nivel Colombia, y a su vez, muestra el gran potencial que tiene la región en cuanto a la implementación de sistemas fotovoltaicos para la generación de energías limpias. Adicionalmente, se observa que la proyección según la capacidad de la Guajira es que para 2030 los sistemas de generación de energías renovables no convencionales representen al menos un 14%, y para 2050 sólo la energía solar fotovoltaica podría representar más del 40% de la demanda nacional de energía eléctrica si el gobierno colombiano decidiera implementar la instalación sistemática de paneles solares en el departamento de la Guajira. (Ariza, D.E, Orjuela, Y. P., Zárate, L. F. A., & Delgado, O. E. G, 2022).

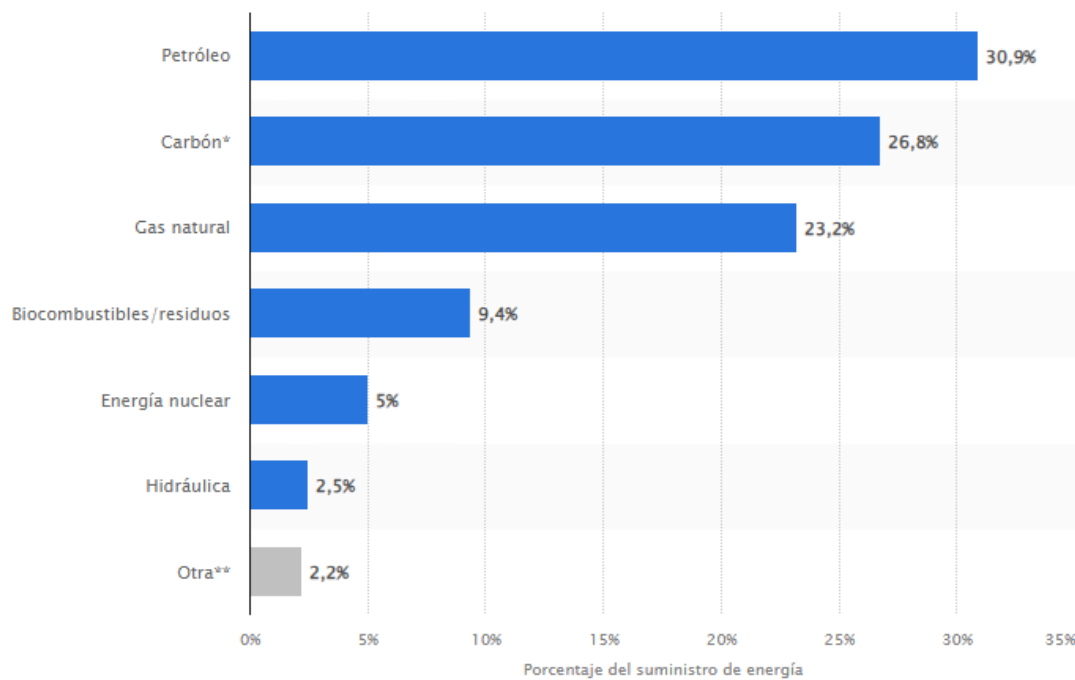
Las razones anteriores nos permiten visualizar que las posibilidades de incluir en la matriz de generación de energía eléctrica las FNCE son bastantes altas, lógicamente que se tienen todavía bastantes retos, por ejemplo, en cuanto a lo económico y como financiar estos proyectos, también

culturalmente hace falta más concientizar para invertir y técnicamente en cuanto al SIN (Sistema de interconectado Nacional) para lograr incorporar esta energía a la red nacional de energía.

Un análisis que se debe hacer para determinar las posibilidades de implementación de FNCE es mirar la distribución del suministro mundial, con esto se busca entender que no se trata de “satanizar” los combustibles fósiles, ni confiar en suplir una demanda energética sin estas fuentes, porque al fin y al cabo esta energía en el 2019 alcanzó un valor de aproximadamente un 80,9% (suma del petróleo, carbón y gas natural) (figura 6) de la energía total que se suministra en el mundo, dato extraído de statista proveedor mundialmente conocido de datos de mercado e información sobre los consumidores.

Figura 6

Distribución porcentual del suministro mundial de energía primaria en 2019, según la fuente



Nota. * El carbón contiene turba y petróleo de esquisto. ** Energía geotérmica, fotovoltaica, energía eólica, energía térmica, etc Tomado de: Statista Research Department (2023) <https://es.statista.com/estadisticas/600585/suministro-de-energia-primaria-a-nivel-mundial-por-fuente/>

Para complementar la idea anterior, es muy difícil dejar de generar energía por medio de fuentes fósiles, pero ahí precisamente está la raíz de los problemas ambientales, ya que al suplir la demanda de energía mayormente con estas fuentes se está perjudicando negativamente los recursos naturales del mundo, por todos sus aspectos e impactos ambientales. Cabe destacar también que lo mismo pasaría si por ejemplo se implementara plantas hidroeléctricas para suplir el 80% de la energía mundial, se tendría y se hablaría de otras consecuencias fatales para el ambiente y los ecosistemas también. Por eso mismo esta investigación quiere resaltar la importancia de diversificar más no eliminar ninguna fuente de energía, comprendiendo además que hay sectores industriales que si o si necesitan de combustibles fósiles como fuente de energía.

Todo el análisis anterior lo podemos enfocar ya no mundialmente si no en el país Colombia que además es un privilegiado por su localización geográfica, lo cual le permite instalar diferentes tipos de energías renovables convencionales y no convencionales, de hecho, Colombia se ubica como el sexto país del mundo con el mayor recurso hídrico renovable con 2.360 km³ de agua al año. De igual forma, en casi todo el territorio nacional, pero con una notoriedad significativa en el norte del país, Colombia goza de un nivel de radiación solar que es un 60% más alto y una velocidad del viento que es dos veces más rápida que el promedio mundial (Ministerio de Minas y Energía, 2021), permitiendo una viabilidad al menos en los recursos sol y viento, y disponiendo de estos se crea la ilusión de ser un país altamente contribuyente de la transición energética mundial.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

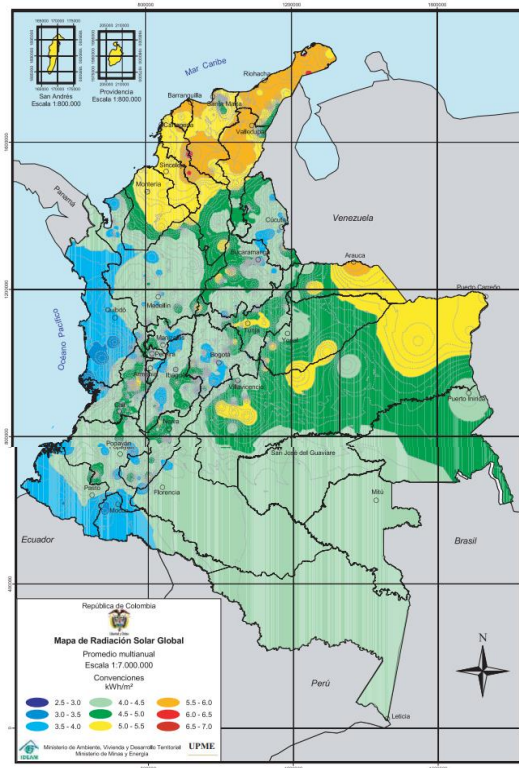
Las deficiencias energéticas mostradas en el desarrollo de la investigación nos evocan la necesidad de diversificar la matriz energética del país para apoyar el cumplimiento en el objetivo mundial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, esto al desligar los combustibles fósiles como fuente principal de energía y diversificar la matriz energética esto permitirá lograr la robustez al sistema eléctrico para garantizar el suministro de energía, a pesar de que ocurran fenómenos naturales y va a ser más llevadera una eventual crisis energética.

Ahora especificando en las centrales hidro energéticas, según la Unidad de Planeación Minero-energética (UPME), el país cuenta con un potencial hidro energético de 56,2 GW instalables en centrales a filo de agua (UPME, 2019), lo cual permite que la capacidad instalada del país continúe aumentando, principalmente en pequeños aprovechamientos, los cuales tienen un menor impacto ambiental que centrales con mayor capacidad y con embalse, siendo lo anterior una estrategia de mitigación de impactos ambientales y sociales por la construcción e instalación de este tipo de energía.

En cuanto se refiere a la energía solar, la UPME resalta que Colombia cuenta con un buen potencial solar en todo el territorio, con un promedio multianual cercano a 4,5 kWh/m² (UPME, 2019), el cual es más alto que el promedio mundial y posibilita la instalación en casi todo el territorio nacional, principalmente en regiones como la Guajira y el Caribe, como se puede ver en la figura 7, con el mapa de radiación solar del país colombiano (UPME, 2023):

Figura 7

Mapa de radiación solar en Colombia



Nota. La figura presenta el Mapa de radiación solar en Colombia. Tomado de: Ley 1715 del 2014. (2014). http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley_1715_2014.pdf

No podemos dejar atrás la oportunidad que se tiene en Colombia con las energías provenientes del mar, aunque este tema no fue tocado en el capítulo de resultados, se quiere complementar y dejar entrever estas maneras de energías en este capítulo, ya que la mareomotriz (energía de las mareas), la undimotriz (energía de las olas), maremotérmica, energía azul (energía del gradiente salino) o incluso la energía de las corrientes, se plantean como grandes alternativas e impulsan las FNCE, además gracias a que Colombia tiene límites oceánicos como lo son el Mar Caribe y el Océano pacífico, dichas fronteras marítimas se pueden aprovechar como fuentes de energía no convencionales y que se espera que en los próximos años, no solo en Colombia si no a nivel mundial se aumenta su producción energética.

5. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones relacionadas con el desarrollo del presente trabajo, en donde se relacionarán cada uno de los objetivos elaborados.

Se verificó que el panorama energético en Colombia se divide en fuentes de obtención de la siguiente manera: petróleo con el 43,1%, gas con el 22,6%, carbón con 10%, hidroenergía con 12,9%, leña con el 5,2%, bagazo con el 4,5% y otras energías renovables con 1,7%. Pero se quiso especificar para este trabajo que se iba a enfocar en la posibilidad de diversificar la matriz energética para la obtención de energía eléctrica y en esta delimitación de forma de energía se encuentra con una distribución de energía por plantas hidroeléctricas del 68,3%, plantas térmicas 30,7%, cogeneración con el 0,9% y, eólica y solar con el 0,1% para ambas fuentes de energía. Aquí se puede ver lo que se quiere precisar con respecto a la dependencia en las centrales hidroeléctricas, donde con casi un 70% de generación de energía eléctrica en Colombia dependen de plantas hidroeléctricas.

Se puede concluir respecto a los efectos ambientales y climáticos en las hidroeléctricas que estos fenómenos naturales como el del niño y la niña afectan directamente la generación de energía por centrales energéticas como las hidroeléctricas y térmicas, debido a que estos fenómenos producen periodos prolongados de bajas precipitaciones, como ocurre durante el fenómeno del niño generando por ejemplo una disminución en el caudal de ríos y embalses de las hidroeléctricas y así produciendo una baja generación eléctrica, o también en el fenómeno de la niña cuando por fuertes y prolongados periodos de lluvia se superan límites en el aumento del caudal y causa un desbordamiento de agua en los embalses de las hidroeléctricas como pasó en el proyecto hidroituango. Con respecto a los impactos ambientales que generan las centrales hidroeléctricas se puede concluir que son de gran afectación tanto en el ámbito social y económico, al modificar el caudal de los ríos, dificultando la navegación fluvial, además de modificar la calidad del agua afectando a las comunidades, como en el ámbito de biodiversidad al dañar la fauna y flora por la necesidad de espacio para la construcción y debido a las inundaciones se facilita la descomposición de los animales y plantas y esto produce metano, siendo este uno de los gases de efecto invernadero más impactante en el calentamiento global y la descomposición de la capa de ozono. El impacto también es producido a nivel geológico ya que se altera el territorio por el

sumergimiento de tierra que se puede originar en la construcción y funcionamiento de estas centrales energéticas.

Se pudo ver en el capítulo 3 de resultados e incluso en los argumentos expuestos en análisis de resultados, que las posibilidades de implementación de FNCE en Colombia son bastantes, y más habiendo analizado los países ejemplos de los casos de éxitos tanto en grandes potencias, como el caso China, EEUU y Alemania, dando un parámetro a seguir en el uso de estas fuentes de energía, como en países no desarrollados como México y Portugal, que este último construyó la central fotovoltaica más grande existente en el continente europeo y con mayor aprovechamiento del sol con una generación de 62 MW anuales. Esto lleva a concluir con respecto a lo planteado en este objetivo específico que Colombia gracias a la riqueza natural y la ubicación geográfica privilegiada tiene el potencial para ser un actor clave en la generación de energía eléctrica a partir de FNCE, destacando la energía fotovoltaica y del mar en regiones como Caribe y la Guajira, donde esta última tiene un promedio anual de radiación solar de 4,5 kWh/m², considerada una radiación medianamente alta para el aprovechamiento fotovoltaico. Del mar con energías como la mareomotriz o undimotriz principalmente, para sacar provecho de nuestros límites oceánicos.

Así pues, se puede concluir que todos los argumentos mencionados anteriormente llevan a responder así la pregunta problema de la investigación de esta investigación ¿Qué tan viable técnicamente sería la implementación de fuentes no convencionales de energía (FNCE) en aras de diversificar la matriz energética colombiana? con un es totalmente viable técnicamente la implementación de FNCE en Colombia para ampliar la matriz energética del país.

BIBLIOGRAFÍA

- Acolgen - Asociación Colombiana. (2022, February 7). Acolgen. <https://acolgen.org.co/>
- Ariza, D.E, Orjuela, Y. P., Zárate, L. F. A., & Delgado, O. E. G. (2022). Analysis of the state of the art of the implementation of non-conventional sources of renewable energy in la guajira department. Paper presented at the Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July doi:10.18687/LACCEI2022.1.1.107 Retrieved from www.scopus.com
- Barberá, D. (n.d.). Introducción a la Energía Fotovoltaica. Biblus. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>
- Borges Neto, M. R.; Carvalho, p. c. d. m. eléctrico la generación de energía: fundamentos. São Paulo: Erica, 2012
- Cámara de Comercio. (2016) El Fenómeno del Niño despertó al sector eléctrico. <http://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Energia-Electrica/Noticias/2016/Junio-2016/El-Fenomeno-del-Nino-desperto-al-sector-electrico>
- CSE. (2015). La energía nuclear. Consejo de Seguridad Nuclear. <https://www.csn.es/documents/10182/26f1078a-76da-44a1-b106-8be0159d9f41>
- Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadernos económicos de ICE. Núm. 83,2012, ISSN 0210-2633, pp. 117-140, 24 p. Madrid, España.
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). Energy Supply Situation in Colombia.
- Díez, J. C. L. (Enero-Junio de 2017). 1992: el año en que se nos fueron las luces. Revista Gestión y Región N° 23, 16.
- Energía Asequible Y No Contaminante: Por Qué Es Importante. (n.d.). Naciones Unidas. Retrieved March 1, 2023, from https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/7_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- Euscátegui, C., & Hurtado, G. (n.d.). *Análisis Del Impacto Del Fenómeno “La Niña” 2010-2011 En La Hidroclimatología Del País.* <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418818/An%C3%A1lisis+Impacto+L+a+Ni%C3%B1a.pdf/640a4a18-4a2a-4a25-b7d5-b3768e0a768a>

- EPM. (2019). Diversificación de la matriz energética en Colombia: la visión de EPM sobre la planificación del Gobierno en generación - Energía Estratégica (2019).
- Fausto, P. (2004). Estudio del desarrollo de las energías alternativas en Venezuela. In Fundación Dialnet (p. 18). Fundación Dialnet.
- Farret, f. a. uso de fuentes de energía pequeñas. Santa María: Ed. de la UFSM, 2014.
- Fedesarrollo. (2013). Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia.
- Fenómeno Niño y Niña - IDEAM. (n.d.). Gov.co. Retrieved March 9, 2023, from <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ninoyniña>
- Fernández, L. (2023, March 15). Clean energy - global investment 2022. Statista. <https://www.statista.com/statistics/186807/worldwide-investment-in-sustainable-energy-since-2004/>
- García, A. C. (2018, March). Eventos intensos “El Niño” en Colombia: características de su dinámica atmosférica e impactos en la producción energética de una hidroeléctrica. ResearchGate, 77.
- Garrón, M. (2017). Panorama Energético de Colombia. Banco de desarrollo de américa latina. https://www.as-coa.org/sites/default/files/Garron_Mauricio_CAF.pdf
- Gómez, H. Y. S., & Rodríguez, O. L. L. (2020). *Sostenibilidad De Mediano Y Largo Plazo De Las Fuentes No Convencionales De Energía Renovable -Fncer*.
- Guerra Sanchez, M., Montañó Assaf, J. C., & Ascanio Mantilla, N. J. (2021). Implementación de energías renovables como garantía al derecho fundamental a un ambiente sano en Colombia. CES Derecho, 12(2), 87–106. <https://doi.org/10.21615/cesder.6163>
- Herrera, O. I. G., Mancera, C. T., & Camargo, J. F. Q. (n.d.). Invierta y Gane con Energía, Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.
- Ley 1715 del 2014. (2014). http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley_1715_2014.pdf
- Lopez, A. R., Krumm, A., Schattenhofer, L., Burandt, T., Montoya, F. C., Oberlander, N., & Oei, P.-Y. (2019, December 10). Solar PV generation in Colombia - A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market. Renewable Energy, 14.
- Mateus, A. C. (2016). Crisis energética en Colombia. TIA, 4(2), pp. 74-81.

- Mapas de recursos solares de Portugal. (2023). Solargis.com. Retrieved August 11, 2023, from <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/portugal>
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia.
- Paz Jose Antonio. (2018). Hidroituango: la angustia y la incertidumbre persisten en Colombia. <https://es.mongabay.com/2018/06/riesgo-por-hidroituango-preocupa-en-colombia/>
- Ramírez Del Río, J. (2022). Comparación de las tecnologías fotovoltaica e hidroeléctrica en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- RISE. (2023). RISE. <https://rise.esmap.org/>
- Robayo, N., & Morales, J. J. (2020). *Revisión Del Panorama Energético En Colombia, Su Dependencia En Las Hidroeléctricas Y La Ampliación De La Matriz Energética A Través De Fnce*. Youtube.
- Romero Pereira, M. C., & Higinio Pulido, A. M. (2021). Energías renovables no convencionales para satisfacer la demanda energética: análisis de tendencias entre 1990 y 2018. Revista EIA, 18(36). <https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1513>
- Sectorial, E., Yesid, H., Gómez, S., Liliana, O., Rodríguez, L., & Millán Hernández, M. (n.d.). *Sostenibilidad De Mediano Y Largo Plazo De Las Fuentes No Convencionales De Energía Renovable -Fncer-*. Gov.Co. Retrieved March 10, 2023, from <https://observatoriofiscal.contraloria.gov.co/Publicaciones/Estudio%20sectorial%20FNCER.pdf>
- UPME. (2019). *Plan Energético Nacional 2020 - 2050*.
- UPME. (2023). Mapas de Radiación Solar Global Sobre una Superficie Plana. http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf
- XM. (2019a). Capacidad efectiva por tipo de generación. Recuperado a partir de <http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad>