

Análisis Actual de los Planes de Descarbonización, Transición y Coexistencia Energética en la
Industria de Hidrocarburos

Helian Armado Barrera Acosta, Lindys Vanesa Manjarrez Arrieta

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero de Petróleos

Director

Zuly Himelda Calderón Carrillo

PhD. Ingeniería Química

Codirector

Erik Giovany Montes Páez

MSc. Ingeniería de Hidrocarburos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Este trabajo representa el fruto de una carrera universitaria que se realizó con esfuerzo, tiempo y personas que me acompañaron durante todo este camino para poder culminar mis estudios.

A Dios, que me guio durante toda esta etapa y me dio la fortaleza y salud para poderla culminar.

A mi madre, Belkys, que fue el motor principal para poder completar satisfactoriamente esta etapa de mi vida, por su apoyo incondicional y fuerza que me brindo durante todo este proceso.

También a toda mi familia por su apoyo, consejos y constancia.

A la mejor compañera de tesis, Lin Lin, que junto con ella se pudo culminar este proyecto a pesar de todas las adversidades, también por ser una amiga incondicional, por la compañía, confianza y todos sus consejos.

A mis dos amigas de toda la vida, Angie y Julieth, por aconsejarme y ayudarme en todos los momentos y no permitir que me diera por vencido.

A todos los amigos que me acompañaron durante este proceso, por los momentos, experiencias compartidas y por su apoyo durante estos años, los quiero.

También a ACIPET UIS, por brindarme tantas experiencias personales, profesionales y la oportunidad de conocer a excelentes personas.

Gracias a cada persona que aportó su granito de arena en esta etapa importante de mi vida.

Helian Armando Barrera Acosta

Dedicatoria

A lo largo del trayecto que me ha llevado hasta este momento, he enfrentado desafíos y superados obstáculos. Sin embargo, siempre he contado con el apoyo incondicional de personas maravillosas, quienes hicieron más llevadero cada paso de este camino. A las puertas de cumplir uno de mis sueños más grandes, quiero dedicar este trabajo:

A Dios, por brindarme salud y permitirme alcanzar este logro.

A mi madre, Yorledys Arrieta, quien ha sido mi motivación, ejemplo y pilar constante; por su inagotable esfuerzo, sacrificio y amor, que me permitió alcanzar esta meta, que también es suya.

A mis abuelos, tías y mi padre, por su apoyo y aliento en cada decisión tomada, ayudándome a mejorar día a día.

A Jesús David y Daniela, por ser el hombro en el que me apoyé cuando lo necesitaba, por recordarme que siempre puedo intentarlo una vez más, y por hacer más llevadero el camino con sus consejos, risas y tiempo.

A Helian, mi querido amigo y compañero de tesis, a quien solo tengo agradecimientos por su paciencia, apoyo incondicional y disposición para cubrirme; nada de esto hubiera sido posible sin ti.

A Rocío, Valentina y Carlos, por darme un lugar en su familia y apoyarme durante todos los años que viví con ellos. Siempre estaré agradecida por hacerme la vida de foránea un poco más fácil.

Al profe Erik y a Diego, por confiar en mí y en mis capacidades, por permitirme aprender y crecer profesionalmente cada día, y por brindarme apoyo incluso cuando yo misma dudo de mis habilidades.

A todas las personas que he encontrado en mi camino laboral, siempre dispuestas a enseñar y a guiarme pacientemente cuando lo necesito.

A mis amigos, profesores y todos los que han sido parte de mi día a día en estos últimos seis años; su compañía, enseñanzas y acciones han sido una fuente de motivación para convertirme en la persona que soy hoy.

Y finalmente, a mí misma, por haber tomado la decisión de comenzar, por mantenerme en pie tras cada reto, y por estar a un paso de finalizar esta etapa.

Lindys Vanesa Manjarrez Arrieta

Agradecimientos

Se desea expresar el más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo de grado.

A las familias, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación a lo largo de este proceso, proporcionando la fuerza necesaria para superar los desafíos que se presentaron y alcanzar los objetivos.

A la directora, la PhD. Zuly Calderón y codirector MSc. Erik Montes, por su valiosa orientación, apoyo continuo y consejos durante todo el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería de Petróleos, por brindar la oportunidad de alcanzar esta meta, por las experiencias enriquecedoras y la formación profesional recibida.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	16
1. Objetivos.....	18
1.1 Objetivo General	18
1.2 Objetivos Específicos	18
2. Marco conceptual.....	19
2.1 Transición energética	19
2.1.1 Calentamiento global.....	19
2.2 Descarbonización	19
2.3 Sostenibilidad.....	21
2.3.1 Sostenibilidad energética	21
2.3.2 Eficiencia energética	21
2.3.3 Desarrollo sostenible	23
2.4 Marco legal	23
3. Análisis bibliométrico	24
3.1 Metodología	24
3.1.1 Búsqueda de información	24
3.1.2 Análisis de la información	25
3.2 Caracterización general	26
3.3 Influencia de los autores	29
3.4 Características de los documentos	30
3.4.1 Mapa temático	32

3.5 Análisis bibliométrico en Colombia.....	37
3.5.1 Caracterización general	37
3.5.2 Características de los documentos más destacados en Colombia	41
3.6 Panorama de la relación sostenibilidad – Transición energética	42
3.6.1 Panorama de investigación	43
3.6.2 Panorama socioeconómico	43
4. Estado actual de la Transición Energética, Descarbonización y Coexistencia en la industria de los hidrocarburos.....	45
4.1 Cambio climático	45
4.2 Matrices energéticas.....	46
4.2.1 Matriz energética mundial	46
4.2.2 Matriz energética colombiana.....	51
4.3 Acuerdos mundiales	55
4.3.1 Protocolo de Kioto.....	57
4.3.2 Acuerdo de París	58
4.3.3 Conferencia de las Partes 28 (COP 28): el inicio del fin de los combustibles fósiles	63
4.4 Descarbonización, Coexistencia y Transición Energética en Colombia	64
4.4.1 Colombia hacia la descarbonización y coexistencia	65
4.4.2 Estrategia hoja de ruta para 2050	66
4.4.3 Política de la Transición Energética colombiana	67
4.5 Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs)	69
4.5.1 Inserción de energías renovables.....	70
4.5.2 Transición de la industria de hidrocarburos.....	71

5. Experiencias mundiales exitosas de descarbonización, transición y coexistencia energética...	74
5.1 Potencial de energías renovables en el mundo	75
5.1.1 Aplicaciones de energías renovables en campos a nivel mundial.....	79
5.1.1.1 Campo Lost Hills.....	79
5.1.1.2 Yacimiento Midway Sunset.	79
5.1.1.3 Campo The Kern River.....	80
5.1.1.4 Campo The Beatrice.	80
5.1.1.5 Campo The Utsira Nord.....	80
5.1.1.6 The Rocky Mountain Oil Field Testing Center.....	81
5.1.1.7 Campo The Mckittrick.....	81
5.1.1.8 Campo The Suizhong 36 -1.	81
5.2 Potencial de energías renovables en Colombia.....	82
5.2.1 Aplicaciones de energías renovables en campos de Colombia.....	84
5.2.1.1 Campo Castilla.	84
5.2.1.2 Ecoparque solar San Fernando.	85
5.2.1.3 Ecoparque solar Brisas.....	87
5.2.1.4 Llanos 34.....	88
5.2.1.5 Refinería Reficar.	90
5.2.1.6 Ecoparque geotérmico La Rumba y Maracas.	91
5.2.1.7 Ecoparque geotérmico Chichimene.....	93
5.2.1.8 Parque solar Canal del Dique.	93
6. Estrategias, retos y oportunidades de la transición, descarbonización y coexistencia en la política energética del país.....	94

6.1 Desafíos del sector energético colombiano	102
6.2 Oportunidades del sector energético colombiano	104
7. Conclusiones	108
8. Recomendaciones.....	111
9. Referencias	112

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Principales normas y acuerdos mundiales para reducción de emisiones</i>	23
Tabla 2 <i>Planteamiento de los cinco artículos más citados a nivel mundial</i>	31
Tabla 3 <i>Universidades con mayor número de publicaciones.....</i>	39
Tabla 4 <i>Planteamiento de los cinco artículos más citados a nivel nacional.....</i>	41
Tabla 5 <i>Los 10 países con mayor consumo de energía primaria y sus emisiones de CO₂ 2022 ..</i>	50
Tabla 6 <i>Principales normas y acuerdos mundiales para reducción de emisiones</i>	55
Tabla 7 <i>Estado de las NAMAs por sector en Colombia.....</i>	70
Tabla 8 <i>Capacidad instalada por energía.....</i>	76
Tabla 9 <i>Escenarios prospectivos energéticos.....</i>	100
Tabla 10 <i>Escenarios de mitigación.....</i>	101
Tabla 11 <i>Desafíos del sector energético</i>	103

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Participación sectorial emisiones GEI año 2018</i>	20
Figura 2 <i>Impactos positivos de la eficiencia energética (EE)</i>	22
Figura 3 <i>Producción científica anual a nivel mundial</i>	27
Figura 4 <i>Número de documentos publicados por países en el período del 2010 al 2024</i>	28
Figura 5 <i>Los ocho países con más publicaciones en América en el período del 2010 al 2024</i> ..	29
Figura 6 <i>Autores con mayor número de documentos publicado en el período del 2010 al 2024 a nivel mundial</i>	30
Figura 7 <i>Palabras clave usadas con mayor frecuencia</i>	32
Figura 8 <i>Red de co-ocurrencia de palabras clave</i>	33
Figura 9 <i>Clústeres de temáticas representativas</i>	34
Figura 10 <i>Red de evolución temática</i>	36
Figura 11 <i>Producción científica anual a nivel nacional</i>	38
Figura 12 <i>Producción científica acumulada a nivel nacional del 2010 al 2024</i>	40
Figura 13 <i>Matriz energética mundial 2022 (%)</i>	47
Figura 14 <i>Consumo mundial de energías fósiles al 2022</i>	48
Figura 15 <i>Consumo mundial de energías fósiles al 2022 por sectores</i>	49
Figura 16 <i>Matriz energética de Colombia 2012</i>	53
Figura 17 <i>Matriz energética Colombia 2017</i>	53
Figura 18 <i>Matriz energética Colombia 2022</i>	54
Figura 19 <i>Principales cumbres climáticas y sus hitos</i>	56

Figura 20	<i>Emisiones antropogénicas totales de GEI por sectores económicos 2019 (Directas e indirectas)</i>	60
Figura 21	<i>Predicción emisiones CO₂ 2030</i>	61
Figura 22	<i>Predicción emisiones CO₂ 2050</i>	62
Figura 23	<i>Resultados consolidados de la línea base para 2030 y 2050</i>	66
Figura 24	<i>Mapa mundial de CCS</i>	71
Figura 25	<i>Porcentaje de producción mundial de energía y tasa de crecimiento promedio</i>	77
Figura 26	<i>Producción de energía por fuentes renovables a nivel mundial en TWh</i>	78
Figura 27	<i>Tendencia de producción energía en Colombia durante el periodo 2000/2022 en teravatio hora</i>	82
Figura 28	<i>Porcentajes de generación efectiva eléctrica 2021</i>	83
Figura 29	<i>Campo Solar Castilla, Meta</i>	85
Figura 30	<i>Campo Solar San Fernando, Castilla La Nueva</i>	86
Figura 31	<i>Campo Solar Brisas, Meta</i>	88
Figura 32	<i>Bloque Llanos 34, Casanare</i>	90
Figura 33	<i>Refinería de Cartagena, Reficar</i>	91
Figura 34	<i>Ecoparque geotérmico Parex, Casanare</i>	92
Figura 35	<i>Estrategia de largo plazo para la carbono neutralidad y resiliencia climática del sector minero energético</i>	97
Figura 36	<i>Pilares</i>	98
Figura 37	<i>Línea base y escenarios de mitigación del sector a 2050</i>	102

Glosario

AFOLU: Agriculture Forestry and Other Land Use

Análisis biométrico: metodología que se usa para técnicas estadísticas para analizar la producción de documentos científicos y académicos, evaluando todo tipo de publicaciones en el impacto y calidad en un área de investigación (Broadus, 1987).

Bibliometrix: es un paquete de software para el análisis bibliométrico y la visualización de datos en R, desarrollado para facilitar la evaluación y el análisis de la producción científica (Aria & Cuccurullo, 2021).

Capacidad instalada: hace referencia a la producción máxima de generación eléctrica que puede alcanzar una planta o instalación bajo parámetros normales.

Cers: el CER es la unidad correspondiente a una tonelada métrica CO₂-eq.

Energía biomasa: energía renovable obtenida a partir de materiales orgánicos provenientes de plantas, animales o desechos, este se convierte en energía a través de procesos como la combustión, fermentación o digestión anaeróbica.

Energía geotérmica: se basa en la extracción de calor del subsuelo terrestre. Es una fuente de energía renovable y prácticamente inagotable, capaz de generar electricidad y otras formas de energía. Este tipo de energía se obtiene principalmente a partir del vapor de agua generado en el interior de la Tierra debido a la actividad geotérmica. Su utilización no implica riesgos ambientales significativos, ya que es considerada una energía limpia.

Energía primaria: se considera energía primaria a todas aquellas formas de energía disponibles en la naturaleza antes de ser transformada para usar finalmente.

Escenario: posibles situaciones futuras basadas en la realidad actual.

FN CER: Fuentes No Convencionales de Energía Renovable.

PAI-PROURE: Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía, busca reducir la brecha tecnológica en el uso de la energía.

Parque eólico: generación de energía a partir del viento mediante aerogeneradores o turbinas eólicas.

Parque solar: instalación de un conjunto de paneles solares dedicada a la generación de energía eléctrica a partir de radiación solar.

Red de co – ocurrencia: es una representación gráfica y analítica que muestra la frecuencia con la que dos o más términos, conceptos o entidades aparecen juntos en un conjunto de documentos o textos (Ramos, 2021).

Resumen

Título: Análisis Actual de los Planes de Descarbonización, Transición y Coexistencia Energética en la Industria de Hidrocarburos*

Autor: Helian Armando Barrera Acosta, Lindys Vanesa Manjarrez Arrieta**

Palabras Clave: Transición energética, descarbonización, coexistencia, recursos energéticos, hidrocarburos, gases de efecto invernadero, cambio climático.

Descripción: Teniendo en cuenta las políticas energéticas mundiales y nacionales ocasionadas por el cambio climático y el calentamiento global, producto de los gases efecto invernadero, es necesario que la industria de los hidrocarburos plantee escenarios y estrategias en el corto, mediano y largo plazo, que le permitan avanzar en el proceso de descarbonización y transición con responsabilidad, para garantizar la seguridad energética.

En el documento se hace un análisis de las tendencias actuales de descarbonización, transición y coexistencia energética en la industria de los hidrocarburos. De igual manera se documenta la normatividad vigente tanto nacional como mundial y las acciones que plantea el sector, además se unifican criterios teniendo en cuenta las experiencias mundiales exitosas, con el propósito, de enumerar los desafíos a los que se expone la industria con la nueva transformación de la matriz energética que se ha desarrollado a nivel mundial.

Para alcanzar estos objetivos, la industria de los hidrocarburos debe guiarse por la legislación legal vigente, las políticas energéticas nacionales y mundiales para reducir las emisiones y fomentar prácticas más sostenibles. Estas normativas que abarcan desde requisitos de reportes ambientales y estándares de emisión hasta incentivos para adoptar tecnologías más limpias. Se logró el planteamiento de las oportunidades, desafíos y las acciones de mitigación más prometedoras en la industria de los hidrocarburos en cuanto a la transición en conjunto con la descarbonización y la apuesta a la coexistencia de energías, pero sin descuidar el llamado Trilema de la Energía: sostenibilidad ambiental, seguridad y equidad energética, para así poder generar una diversidad energética y la reducción de los gases de efecto invernadero.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería de Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Programa académico. Director: PhD. Zuly Himelda Calderón Carrillo. Codirector: MSc. Erik Giovany Montes Páez

Abstract

Title: Current Analysis of Decarbonization, Transition and Energy Coexistence Plans in the Hydrocarbon Industry*

Author(s): Helian Armando Barrera Acosta, Lindys Vanesa Manjarrez Arrieta **

Key Words: Energy transition, decarbonization, coexistence, energy resources, hydrocarbons, greenhouse gases, climate change.

Description: Considering world and national energy policies caused by climate change and global warming, a product of greenhouse gases, it is necessary for the hydrocarbon industry to propose scenarios and strategies in the short, medium, and long term that will allow it to advance in the decarbonization and transition process with responsibility, to guarantee energy security.

The document analyzes the hydrocarbon industry's current decarbonization trends, transition, and energy coexistence. It also documents the current national and global regulations and the actions proposed by the sector and unifies criteria taking into account successful global experiences, to enumerate the challenges that the industry is exposed to with the new transformation of the energy matrix that has been developed worldwide.

To achieve these objectives, the hydrocarbon industry must be guided by current legal legislation, and national and global energy policies to reduce emissions and promote more sustainable practices. These regulations range from environmental reporting requirements and emission standards to incentives to adopt cleaner technologies. The opportunities, challenges, and the most promising mitigation actions in the hydrocarbon industry were presented in terms of transition in conjunction with decarbonization and the commitment to the coexistence of energies, but without neglecting the so-called Energy Trilemma: environmental sustainability, energy security, and equity, to generate energy diversity and the reduction of greenhouse gases.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingeniería de Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Programa académico. Director: PhD. Zuly Himelda Calderón Carrillo. Codirector: MSc. Erik Giovany Montes Páez

Introducción

En las últimas décadas, el cambio climático ha emergido como uno de los desafíos más apremiantes a nivel global, impulsado en gran medida por la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la quema de combustibles fósiles.

En el documento se aborda la necesidad de que la industria de los hidrocarburos desarrolle estrategias a corto, mediano y largo plazo para avanzar en la descarbonización y la transición energética, en respuesta a las políticas globales y nacionales por el cambio climático. Se enfatiza la importancia de que los actores del sector energético comprendan los conceptos y normativas relevantes, así como las acciones que se están implementando a nivel nacional e internacional para cumplir con los estándares de descarbonización.

Se realiza un análisis bibliométrico y se enmarcan los desafíos a los que se expone la industria de hidrocarburos con la transformación de la matriz energética que se está dando a nivel mundial, a partir de conceptualización de términos, indicadores, legislación y casos de éxitos aplicados a nivel mundial y nacional en sector oil & gas.

Esta situación genera un gran desafío para la industria de los hidrocarburos, ya que es necesario empezar a cumplir con los compromisos energéticos derivados de los acuerdos tales como el Acuerdo de París, el protocolo de Kyoto, el CONPES 3918, 2018 y otra normatividad, los cuales buscan diversificar las fuentes renovables y así poder mitigar los impactos ambientales y subsecuente el cambio climático, producto de gases de efecto invernadero.

Es fundamental continuar investigando sobre la implementación de tecnologías innovadoras, la adaptación de políticas locales y la participación de las comunidades en la

transición energética. Esto asegura un enfoque integral y sostenible que fomente la aceptación social y maximice los beneficios ambientales y económicos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Efectuar un análisis actual de los planes de descarbonización, transición y coexistencia energética en la industria de hidrocarburos, para facilitar la socialización de esta información en la comunidad energética.

1.2 Objetivos Específicos

Elaborar un análisis bibliométrico de los términos de descarbonización, transición y coexistencia energética, y las oportunidades de la industria petrolera en este sentido.

Realizar una revisión del estado actual de la descarbonización, transición y coexistencia energética, además de la reglamentación vigente y cómo la industria petrolera ha avanzado en este proceso.

Documentar experiencias mundiales exitosas de la descarbonización, transición y coexistencia energética de energías limpias en campos petroleros.

Plantear estrategias, retos y oportunidades para la aplicación de la transición, descarbonización y coexistencia en la política energética del país.

2. Marco conceptual

2.1 Transición energética

La transición energética es un cambio en los patrones del sistema de provisión y uso de la energía en la sociedad, para poder brindar una ayuda a la regulación de los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. Esto refiere a un cambio del sistema de combustibles fósiles y la implementación y aprovechamiento de fuentes de energías renovables.

Sin embargo, cuando se habla de transición energética, no se hace referencia solo a una depuración en la industria de hidrocarburos, ni al uso únicamente de las energías renovables, sino a la implementación de un nuevo sistema energético que permita la coexistencia de estas dos fuentes y aporte a la descarbonización de los sectores industriales que impulsan la eficiencia energética (UPME, Plan Energético Nacional de Colombia 2050).

2.1.1 Calentamiento global

Se describe como el aumento estimado de la temperatura media global en superficie promediada durante los últimos periodos de tiempo. Este cambio de temperatura tiene un efecto directo en los fenómenos climáticos en todo el mundo. El calentamiento global, se atribuye principalmente al desarrollo a nivel industrial y de la actividad humana, que afectan la composición natural del medio ambiente y climático (J. B. Robin Matthews, 2018).

2.2 Descarbonización

La descarbonización, se define como las fases en la que los países o industrias, emprenden un proceso para lograr una existencia sostenible, basada en el no uso de carbono de origen fósil. La descarbonización generalmente hace referencia a la reducción de las emisiones de carbono asociadas a la electricidad, la industria y el transporte (J. B. Robin Matthews, 2018).

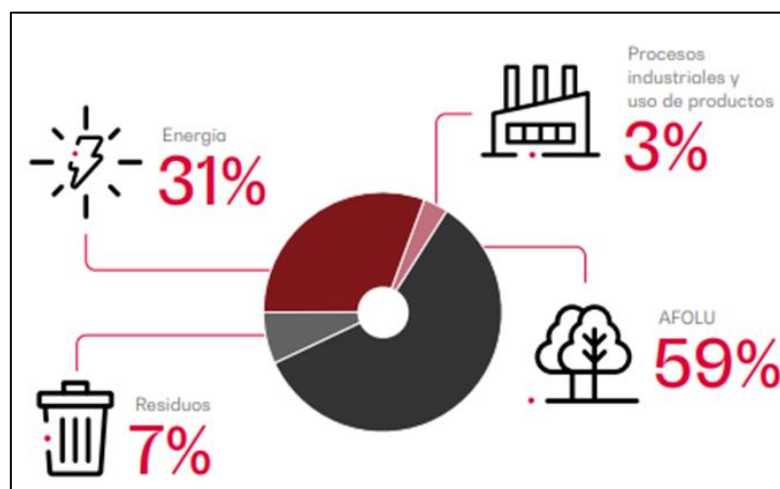
Las nuevas alternativas, que proporcionan una reducción de las emisiones de CO₂, son la implementación de fuentes de energías renovables como la energía eólica, energía solar, etc. Además, se plantea el cambio de las plantas de carbón por gas natural como principal recurso de combustible, y el progreso de la eficiencia de producción energética a base de combustibles fósiles.

Las emisiones de carbono, las cuales se buscan eliminar progresivamente en la atmósfera, son a raíz de las actividades humanas y el método por el cual se obtiene la energía, además de la alta producción de la industria ganadera y agrícola. El objetivo es la reducción de las emisiones de CO₂ y lograr alcanzar cero emisiones netas (Barraza, 2019).

En la figura 1 se presentan los porcentajes de participación de cada sector en cuanto a la generación de GEI en el año 2018, según el Tercer Informe Bienal de actualización de cambio climático en Colombia:

Figura 1

Participación sectorial emisiones GEI año 2018



Nota. Tomado de Tercer Informe Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC.

2.3 Sostenibilidad

Significa fomentar el desarrollo económico para las naciones, poblaciones y comunidades sin causar daño al medio ambiente, teniendo en cuenta que la naturaleza no es una fuente inagotable de los recursos. La sostenibilidad busca la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer los recursos, de generaciones futuras, de cumplir con sus necesidades; asegurando la igualdad entre el crecimiento económico, el medio ambiente y el bienestar social (¿Qué es la sostenibilidad?, s. f.).

2.3.1 Sostenibilidad energética

La sostenibilidad energética conceptualmente se propone como una herramienta, para industrias y ciudades, que da paso a garantizar la utilidad efectiva de los recursos energéticos como fuente primordial en el desarrollo de procesos ambientales, sociales y económicos.

Como objetivo energético, la sostenibilidad busca la manera de propiciar la inclusión de fuentes no convencionales de energías renovables e incentivar la eficiencia energética en las industrias y organizaciones, logrando una máxima progresión de los recursos. Además, se busca el mayor desarrollo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el crecimiento de la política verde en los países y en las industrias.

En la sostenibilidad energética, se trata de llevar el concepto de equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental, propuesto por desarrollo sostenible, al plano energético, reconociendo que la energía es clave y básica para el desarrollo de cualquier sociedad (CEGESTI Wang, 2015).

2.3.2 Eficiencia energética

Enlaza la energía que se puede utilizar y la totalidad de la energía aprovechada en los procesos de la cadena energética, para llegar a optimizar los procesos por medio de prácticas de

reconversión tecnológicas correctas y adopción de nuevas fuentes de energías renovables. Lograr quitar el uso innecesario de energía sin reducir la calidad de los bienes de producción o servicios se enmarca como un objetivo de la eficiencia (Art 5. Ley 1715 de 2014).

En un ámbito económico, considerando la energía como un insumo básico y primordial para el avance económico del país y buscando que las empresas respalden su gestión ambiental y satisfagan las necesidades del área, el objetivo principal de la eficiencia energética es maximizar la productividad en las empresas utilizando menos recursos energéticos y esto sin desmejorar la calidad de los productos y servicios ofrecidos (Varón, 2020).

En la figura 2, se mencionan los principales objetivos de la eficiencia energética respecto a los cambios positivos que se plantean para alcanzar un desarrollo sostenible en las distintas áreas industriales de los países:

Figura 2

Impactos positivos de la eficiencia energética (EE)



Nota. Tomado de OCE Rafael Varón, 2009.

2.3.3 Desarrollo sostenible

Orienta al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para satisfacer de sus propias necesidades, por lo menos en las mismas condiciones de las actuales (Art 5. Ley 1715 de 2014).

2.4 Marco legal

Para el proceso de transición energética y descarbonización se han planteado distintos acuerdos que enmarcan un camino con distintas políticas y lineamientos básicos para llegar a una descarbonización industrial.

Tabla 1

Principales normas y acuerdos mundiales para reducción de emisiones

Norma/acuerdo	Descripción
Acuerdo de París	Marco de las naciones que establece medidas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
Protocolo de Kioto	Acuerdo internacional que tiene el objetivo de limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)	Marca el objetivo de estabilizar las concentraciones de efecto invernadero y la lucha contra el cambio climático.
CONPES 3918/2018	Cumplimiento de objetivos de desarrollo sostenible al 2030.
Ley 1955 de 2019 - Plan Nacional de Desarrollo	Planteamiento de diferentes posibilidades de oferta y demanda que garantizan el abastecimiento confiable y sostenible de los energéticos.
Ley 1844 de 2017 – Aprobación Acuerdo de París	Implementación y aprobación del acuerdo de París en el marco colombiano.
Ley 1715 de 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Nota. Elaboración Propia

3. Análisis bibliométrico

El método de análisis bibliométrico es una técnica que se inició en España en los años sesenta. Dicho método se utiliza principalmente para medir la actividad y producción científica alrededor de una temática o área de interés.

El desarrollo bibliométrico tiene parte en la cienciometría y con base a Pritchard (1969) es un aplicativo de métodos matemáticos y estadísticos para examinar el avance de la comunicación escrita o la literatura de carácter científico, incluyendo a su origen y a quienes la desarrollan (Camps, 2008). Para establecer el proceso de la investigación sobre transición energética, coexistencia y descarbonización se hizo uso de técnicas y parámetros bibliométricos para establecer la diversidad de documentos publicados.

3.1 Metodología

Con el fin de cumplir el objetivo de la revisión literaria, el documento se desarrolla bajo dos metodologías estratégicas, en donde se busca una primera fase orientada en un análisis bibliométrico que permita incluir la búsqueda de información con base a terminología clave y el análisis mediante redes bibliométricas, además, una fase donde se exponga el análisis de la información de documentos de investigación y desarrollo que busquen exponer de manera sencilla la transición energética como punto clave en los planes de sostenibilidad.

3.1.1 Búsqueda de información

Se determinó el estado de investigación sobre descarbonización, transición y coexistencia energética mediante una revisión de literatura, utilizando técnicas bibliométricas para analizar de manera cuantitativa las publicaciones en estas áreas y su relación. Este proceso se seccionó en una primera fase donde por medio de la búsqueda de información en la base de datos de WEB OF

SCIENCE se encontraron un total de 24.491 documentos a nivel mundial entre el año 2010 al 2024. Se determinó esta búsqueda orientada en base a los tópicos anteriormente mencionados bajo la siguiente ecuación: (ALL (“*energy transition*”)) en *all fields* para garantizar la búsqueda de términos ingresados en el título, resumen, palabras claves y, además el cuerpo del documento.

Este proceso se realizó mediante el acceso al portal virtual de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, donde por medio de las credenciales se tuvo acceso a la base de información por medio del servidor de Web of Science. La cantidad de documentos encontrados que tuvieran una relación con la temática se llevó a cabo a la fecha del día 17 de enero del 2024.

En el transcurso de la búsqueda de información se realizó una limitación de datos donde solamente se tuvieron en cuenta áreas y sub-áreas relacionadas a la investigación, en este caso fueron relacionadas; la ingeniería, ciencias y economía ambiental, desarrollo sostenible y finanzas, ciencias multidisciplinarias y energías. Los documentos seleccionados en cuanto al tipo se dividieron entre artículos y proyectos universitarios.

3.1.2 Análisis de la información

El desarrollo de este objetivo de la investigación se ejecutó bajo un conjunto de análisis bibliométrico y sistemas que buscan la observación y estudio del contenido. Para buscar el impacto y generación de artículos publicados y las citas que contiene por medio de la bibliometría, se genera un estudio estadístico y un análisis de redes para exponer la relación entre los documentos encontrados y la temática de investigación, además, resalta la citación y co-citación por otras investigaciones. Este estudio se apoya en el análisis del software Bibliometrix.

En el análisis de la información de la temática del área de investigación, se tuvieron en cuenta los artículos y documentos más citados que fueron publicados durante los últimos diez años, cabe resaltar que dichos documentos se tuvieron en cuenta desde una perspectiva política,

económica y ambiental en el contexto global y también de manera específica a nivel nacional, en este caso a nivel Colombia.

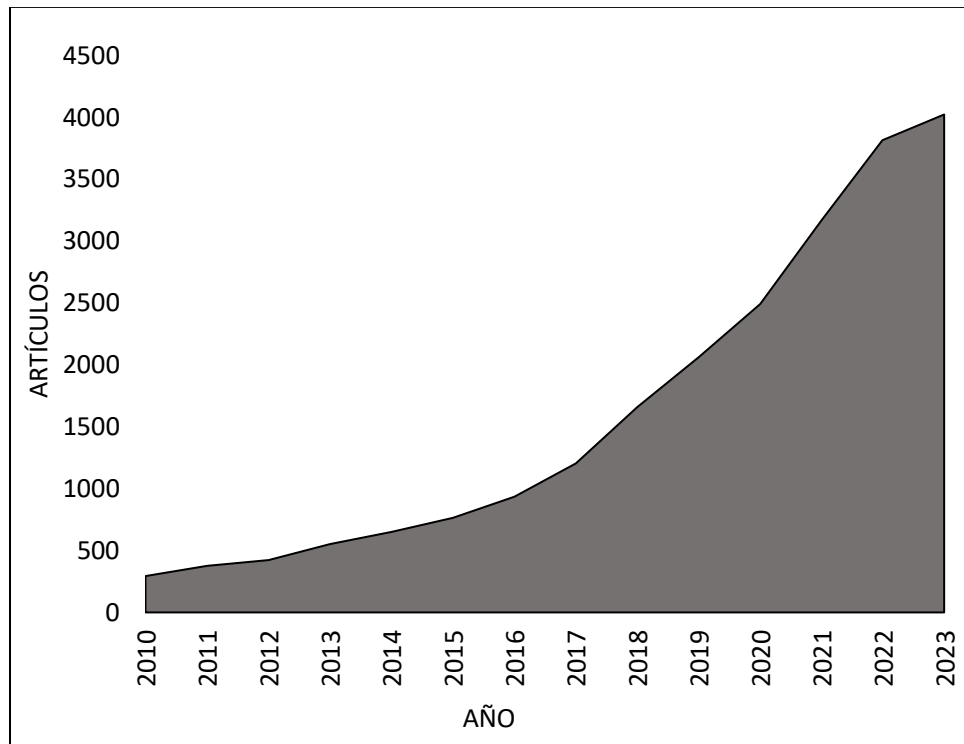
3.2 Caracterización general

Como primera parte se muestra el número de publicaciones anualmente desde el período del 2010 al 2024 a nivel mundial, además se evidencia el país o los países con mayor aporte en sus documentos a esta área de investigación.

En la Figura 3 se muestra un análisis gráfico sobre la tendencia de producciones de documentos por año en base a las áreas de sostenibilidad y transición energética, realizando un análisis se puede evidenciar que es un área de investigación reciente donde la mayoría de sus documentos se registran en los últimos cinco años. Durante este período las investigaciones muestran una tendencia ascendente, principalmente desde el 2018, considerando esto un factor en la importancia que ha alcanzado esta temática en la industria. Cabe destacar que en el año 2023 se realizaron 4.021 documentos a nivel mundial, representado 16,42 % de los archivos publicados a la fecha.

Figura 3

Producción científica anual a nivel mundial

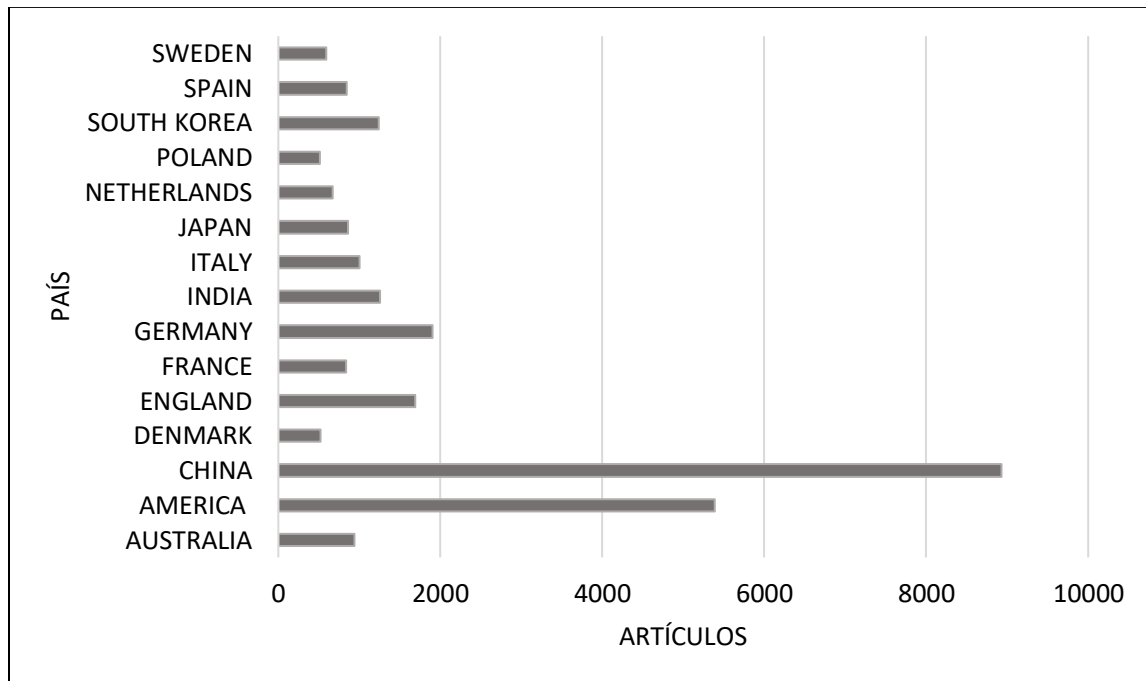


Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

Con relación al número de documentos o investigaciones por países, los cinco países más destacados son China (8.927), Estados Unidos (3.932), Alemania (1.907), Inglaterra (1.691) y por último India (1.258). En la Figura 4 se muestran los países con mayor número de documentos en el rango de la fecha de investigación. Mediante estos resultados se logra evidenciar que las investigaciones tienen una articulación con las posiciones geopolíticas, dado que la gran mayoría de documentos se centran en países europeos y asiáticos. Cabe mencionar que en el continente americano el número de documentos es del 22,29 % del total a nivel mundial.

Figura 4

Número de documentos publicados por países en el período del 2010 al 2024

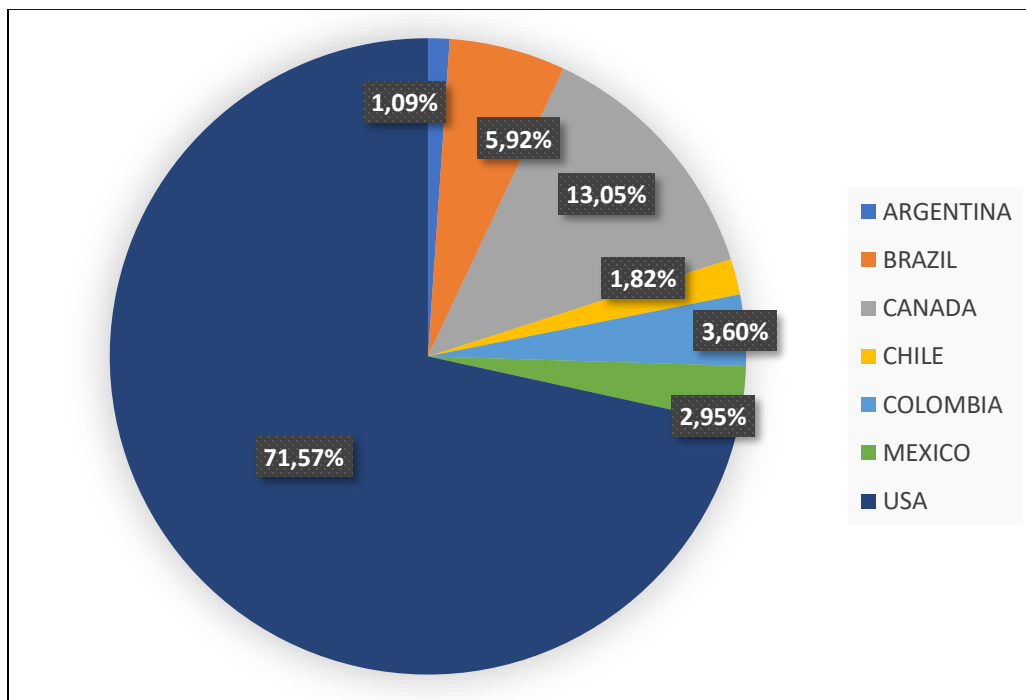


Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

En América, la mayor producción de documentos se centra en Estados Unidos (3.932), Canadá (717) Y Brasil (325). La mayor documentación sobre investigaciones en el tema de transición energética y coexistencia se queda en la parte norte del continente americano con un porcentaje del 84,54 %. El aporte que ha hecho Colombia respecto a la investigación de estos temas representa el 3,60 % correspondiente a 198 documentos encontrados en el período del 2010 al 2024.

Figura 5

Los ocho países con más publicaciones en América en el período del 2010 al 2024



Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

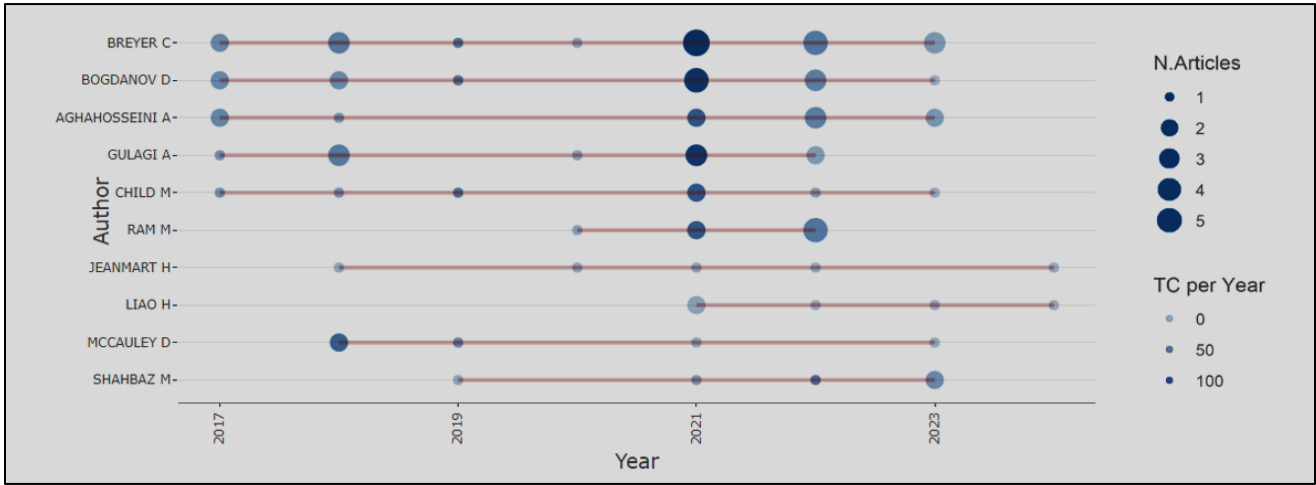
Con ayuda del análisis bibliométrico de citas se evalúa el desempeño y el lugar donde se han citado con mayor frecuencia estos documentos. En esta amplia área de transición energética se observa que la mayoría de los documentos se registran en la base de datos de Elsevier (14.312) y la revista The Royal Society of Chemistry (2.486).

3.3 Influencia de los autores

Los autores son una base importante a la hora de realizar una bibliometría, pues enmarca la cantidad de documentos que son publicados por ellos en un rango de tiempo, mostrando la frecuencia de sus publicaciones respecto a una temática, en este caso se exponen los autores más relevantes en base a la producción o publicación de artículos.

En la Figura 6 se definen los autores con mayor número de publicaciones durante el 2017 al 2023, cabe mencionar que, en la gráfica, el círculo representa el número de publicaciones hechas por los autores en el año, queriendo decir, que entre mayor sea el diámetro de este, mayores fueron sus publicaciones en ese año.

Figura 6
Autores con mayor número de documentos publicado en el período del 2010 al 2024 a nivel mundial



Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

3.4 Características de los documentos

A continuación, mediante el análisis bibliométrico, se mostrarán los artículos con mayor registro de citaciones y menciones, dado que este parámetro representa una gran importancia en la investigación en esta área. En la Tabla 2 se expondrán los cinco documentos más citados, esta información se recolecta mediante el servidor de Web of Science y las revistas relacionadas.

Tabla 2*Planteamiento de los cinco artículos más citados a nivel mundial*

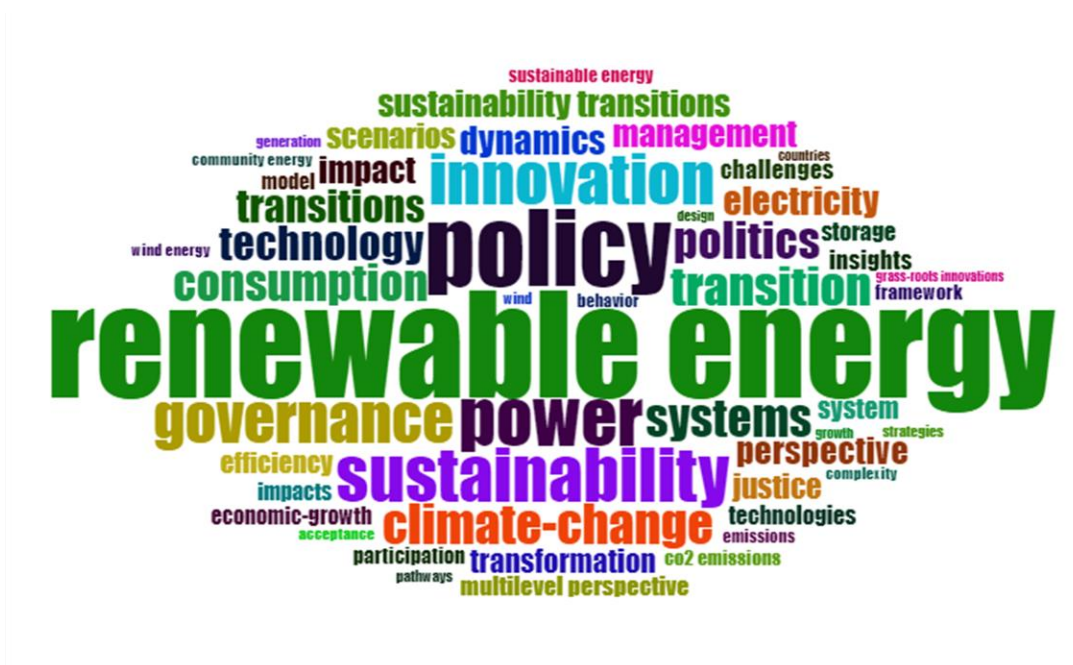
Documento	Temática del artículo
Dolf Gielen, Francisco Boshell, Deger Saygin, Morgan D. Bazilian, Nicholas Wagner, Ricardo Gorini, The role of renewable energy in the global energy transformation, Energy Strategy Reviews, Volume 24, 2019. (2003)	“Este documento explora las características técnicas y económicas de una transición energética acelerada hasta 2050, utilizando nuevos conjuntos de datos sobre energías renovables. El análisis indica que la eficiencia energética y las tecnologías de energías renovables son los elementos centrales de esa transición, y sus sinergias son igualmente importantes.”
Gavin Bridge, Stefan Bouzarovski, Michael Bradshaw, Nick Eyre, Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy, Energy Policy, Volume 53, 2013. (804)	“Este artículo aboga por examinar la transición energética como un proceso geográfico que implica la reconfiguración de las pautas y escalas actuales de la actividad económica y social. Centrándose en la política del Gobierno del Reino Unido para una transición con bajas emisiones de carbono, el documento proporciona un lenguaje conceptual con el que describir y evaluar las implicaciones geográficas de una transición hacia una energía con bajas emisiones de carbono.”
Noel Healy, John Barry, Politicizing energy justice and energy system transitions: Fossil fuel divestment and a “just transition”, Energy Policy, Volume 108, 2017. (381)	“El creciente número de estudios sobre justicia energética pone de relieve la importancia de las cuestiones de justicia y equidad en el contexto de la descarbonización mundial y la transición a una economía verde. Este documento pretende ampliar las conceptualizaciones actuales de la justicia energética a todo el ciclo de vida de la energía, desde la extracción hasta el uso final, para ofrecer una imagen analíticamente más rica y precisa de los impactos injustos de las decisiones de política energética.”
Arnulf Grubler, Energy transitions research: Insights and cautionary tales, Energy Policy, Volume 50, 2012. (291)	“En este breve ensayo se pasa revista en primer lugar a los pioneros de la investigación sobre la transición energética, tanto en términos de datos como de teorías. Se argumenta que los marcos políticos actuales no cumplen invariablemente estos criterios y deben cambiar para desencadenar con éxito una próxima transición energética hacia la sostenibilidad.”
Kenneth Hansen, Brian Vad Mathiesen, Iva Ridjan Skov, Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 102, 2019. (246)	“Alemania ha establecido políticas ambiciosas para aumentar la cuota de energías renovables y dismantelar la energía nuclear, pero existen ciertas lagunas científicas sobre cómo debe producirse esta transición, especialmente si se tienen en cuenta todos los sectores energéticos. El objetivo de este estudio es avanzar en el conocimiento de la transición del sistema energético alemán al 100% de energías renovables hacia 2050.”

Nota. Elaboración propia.

Como parte de un análisis bibliométrico se anexa, la frecuencia con la que una palabra de temática clave es usada, con base a esto los autores muestran a los lectores y comunidades académicas el eje central de la investigación, destacando así otros aspectos importantes como el margen político, social y la industria de hidrocarburos.

Figura 7

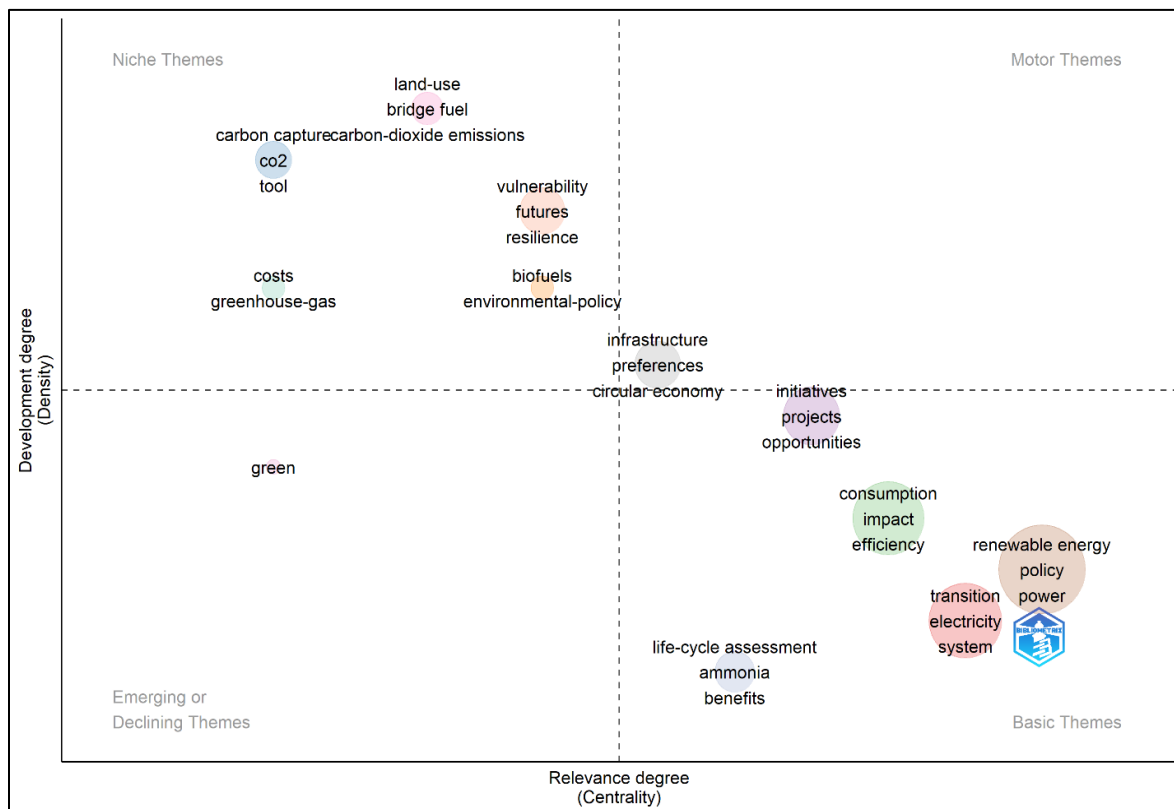
Palabras clave usadas con mayor frecuencia



Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

3.4.1 Mapa temático

En un enfoque de las palabras claves generadas por los autores de los artículos se desarrolla la Figura 8, que muestra un mapa temático basado en una red de coocurrencia. En este mapa se muestra una clasificación en diferentes grupos de desarrollo, pero que se engloban en una temática o término principal. Además, se observa la frecuencia y la relevancia de términos clave en el área de investigación, los cuales se visualizan en el diámetro de la circunferencia.

Figura 9*Clústeres de temáticas representativas*

Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

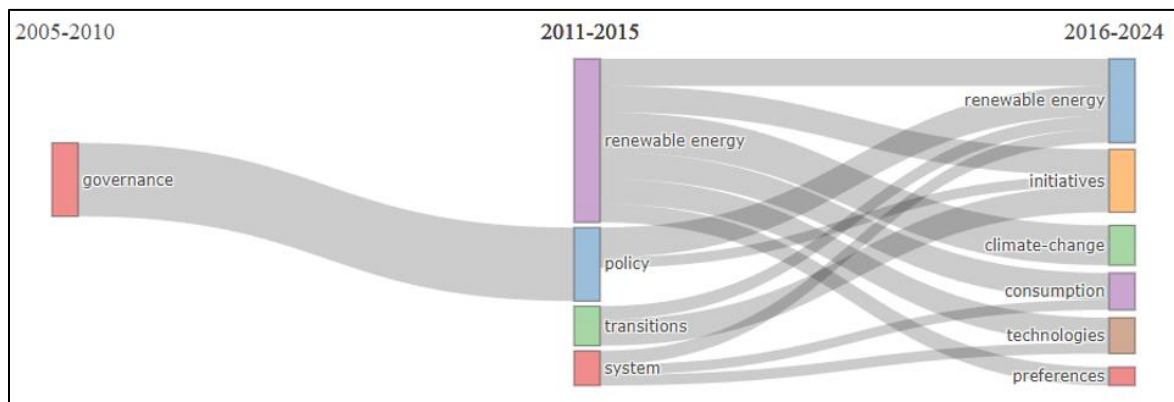
En el mapa se puede observar una división en cuatro sectores, dichos clústeres se ubican de acuerdo a su desarrollo e importancia en el tema de investigación. El primer cuadrante, nombrado *Niche Themes*, se enfoca en temas que no tiene una relación directa con el área de investigación, pero se desarrollan de manera interna en otras áreas. En este caso se puede observar temas relacionados a la captación de hidrógeno y desarrollo químico.

En el segundo cuadrante se tienen en cuenta los *Motor Themes*, que engloba todos los temas que están en mayor desarrollo a nivel de investigación, allí habla sobre infraestructura y economía en el sector de hidrocarburos.

Los *Emerging or Declining Themes*, se encuentran en el tercer cuadrante, estos hacen referencia a los temas que no tiene un gran avance en cuanto a su tema de investigación, pues son temas muy recientes o no se han podido desarrollar en un mayor alcance, como es el ejemplo de energías verdes (energías amigables con el medio ambiente) el cual es un tema reciente y con un área de investigación poco desarrollada a la fecha.

Por último, están los *Basic Themes*, que son temas de alta relevancia para abordar el desarrollo científico en todos los ámbitos políticos, económicos y ambientales, pero estos se encuentran con poco desarrollo y poca investigación, es allí donde están la mayoría de los clústeres con áreas importantes como las políticas para la transición y las energías renovables. Este último cuadrante junto con los *Motor Themes*, son los que generan un mayor desarrollo y aporte a las investigaciones por el gran contenido investigativo que puede propiciar en una temática.

En la Figura 10, se muestra un mapa de evolución temática, el cual proporciona de manera visual una panorámica y dinámica del desarrollo de un campo de investigación a lo largo de un período de tiempo. Allí se permiten observar cómo surgen, evolucionan y desaparecen ciertas áreas con el avance de los años.

Figura 10*Red de evolución temática*

Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

Para un primer desarrollo, se establecieron dos puntos de intersección que corresponden al período del 2011 al 2015, se tomaron en cuenta estos años debido a la importancia que represento a las investigaciones, pues en el año 2010 se dio inicio a la publicación de artículos con mayor frecuencia relacionados a esta área y el 2015 debido a que esta época se empezó a tratar más a fondo la transición energética y a plantearse estrategias para un plan energético sostenible para los países, además de llevarse a cabo la firma de El Acuerdo de París con el propósito de fortalecer la repuesta global al cambio climático.

En los resultados que se observan en la figura anterior, se ve un primer período comprendido entre el año 2005 al 2010 donde en un ámbito académico se aborda el tema de gobierno y todo lo que esto implica con política energética, seguidamente del año 2011 al 2015, se amplía esta rama de investigación abarcando nuevas temáticas de importancia como lo son la transición energética, las energías renovables y políticas. Finalmente, entre el año 2016 y 2024, se identifica una consolidación, con un gran número de publicaciones, los temas de energías

renovables, iniciativas para un desarrollo sostenible y cambio climático, destacando esta última, como una preocupación geopolítica.

3.5 Análisis bibliométrico en Colombia

Las últimas décadas se han visto inmersas en distintos cambios importantes y trascendentales en la matriz energética mundial, en la cual se han proporcionado nuevas formas de generar energía y nuevos modelos de negocio. Colombia, un país en desarrollo, también se ha visto envuelto en el tema de la transición energética, con el mismo objetivo de reducir sus emisiones de gases e involucrase en las nuevas energías renovables.

Con base en esto, las áreas académicas e industriales de Colombia han realizado sus proyectos y estudios enfocándolos en plantear una matriz diversa que se adapte mejor al desarrollo energético para el país teniendo en cuenta los recursos disponibles y que no afecte su economía, aunque las investigaciones no han sido en gran número, las que se han realizado logran aportar de manera positiva a los avances.

En Colombia, el número de documentos referente a investigaciones y desarrollos encontrados es de 198 realizadas entre el año 2010 al 2024, este proceso se seccionó por medio de la búsqueda de información en la base de datos de WEB OF SCIENCE. Igual que la búsqueda anterior, se realizó orientada con base en los tópicos mencionados bajo la siguiente ecuación: (ALL (“*energy transition*”)) en *all fields* para garantizar la búsqueda de términos ingresados en el título, resumen, palabras claves y en el cuerpo del documento, para este apartado también se hizo uso de Bibliometrix para el análisis de datos.

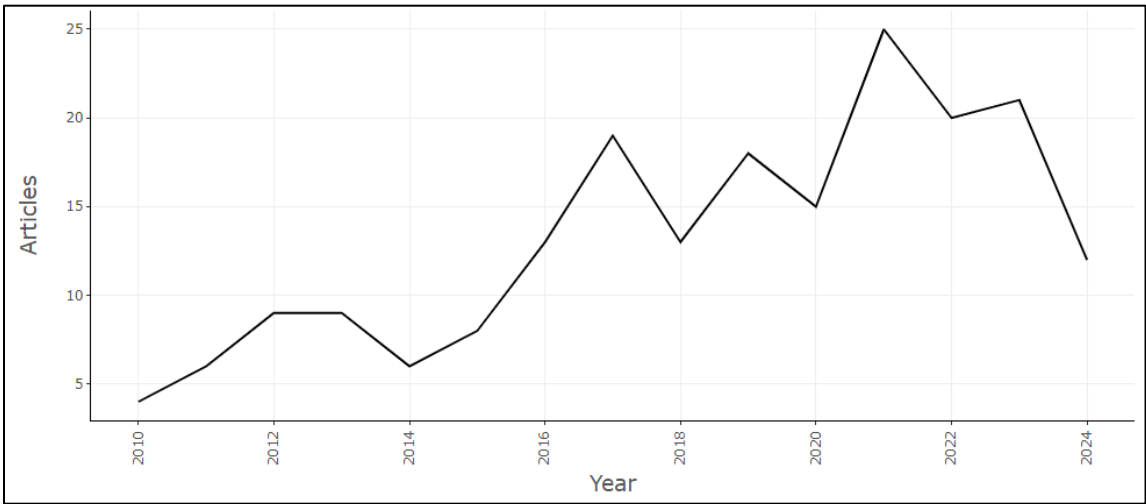
3.5.1 Caracterización general

En esta primera parte, se observa el número de documentos que fueron publicados por año durante el período que se seleccionó para hacer la investigación, en la Figura 11 se evidencia que

en Colombia esta área de desarrollo está en una etapa de crecimiento, dado que se muestra un comportamiento ascendente, además de que en el año 2021 fue el año donde más se han hecho publicaciones de trabajos de investigación referentes.

Figura 11

Producción científica anual a nivel nacional



Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

Teniendo en cuenta la producción de artículos referente a esta temática, cabe mencionar las dependencias o universidad que más han contribuido al avance científico de esta investigación. En la siguiente tabla se muestran las diez principales afiliaciones que más han realizado aportes en los últimos años.

Tabla 3*Universidades con mayor número de publicaciones*

Afiliación	Artículos
Universidad De Antioquia	62
Universidad Nacional De Colombia	60
Universidad De Los Andes	17
Universidad Industrial De Santander	16
Universidad De Medellín	16
Universidad Del Valle	15
Universidad Del Norte Colombia	9
Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia	8
Universidad De La Costa	7
Universidad Del Quindío	6

Nota. Elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

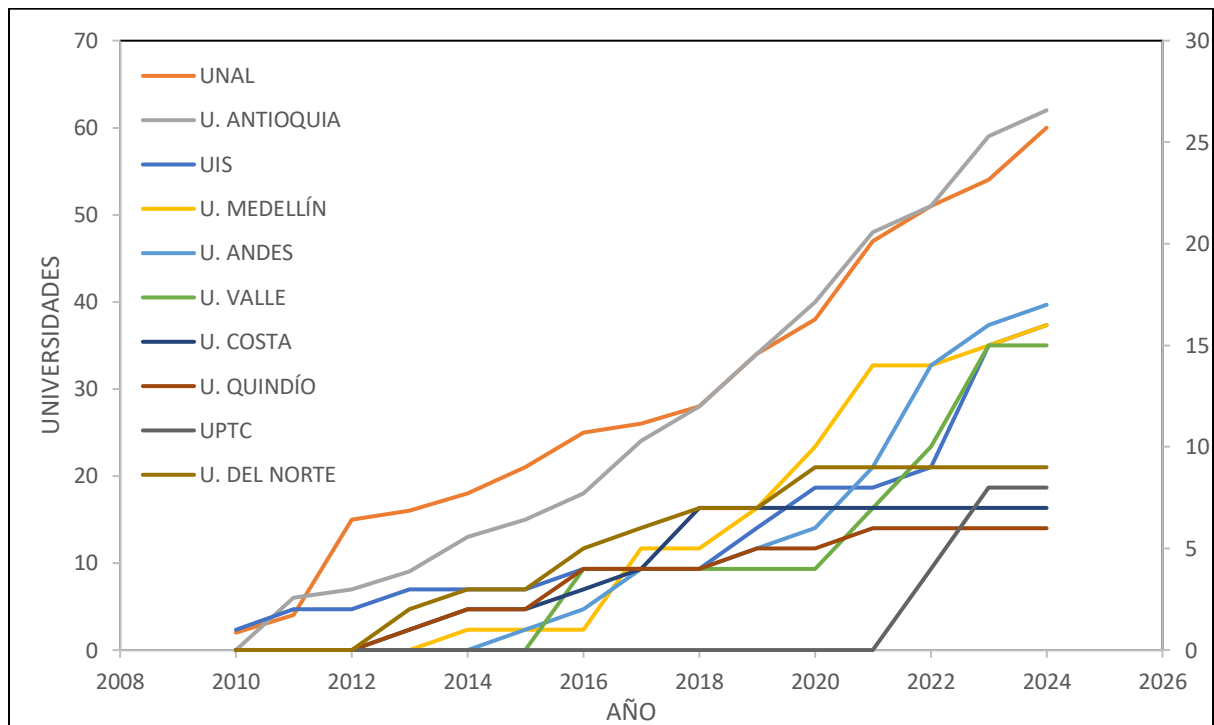
Las universidades que contiene un mayor número de documentos a la fecha son la Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional de Colombia, donde han realizado alrededor de 60 artículos cada una sobre la temática en estudio. Por otro lado, la Universidad Industrial de Santander ha producido 16 artículos relacionados con este ámbito. Es importante destacar que la contribución a la investigación no solo se limita a las universidades con un enfoque en las áreas del sector energético, distintas facultades que, desde una perspectiva económica, política, social y ambiental, han buscado dar su aporte desde su disciplina y área de estudio para proporcionar un avance a la investigación de la transición energética en el país.

En la Figura 12, se muestra la producción de documentos, publicados, de las universidades mencionadas anteriormente en la Tabla 3. La gráfica señala un período de inicio en el 2010, donde solo en tres universidades ya se tenía registro de artículos relacionadas a esta temática, las demás instituciones universitarias dieron a conocer sus primeros artículos relacionados en el año 2012.

En el año 2016 fue donde se dio un mayor despegue a las investigaciones sobre transición energética y sus temas relacionados, dado que en la gráfica se observa un comportamiento ascendente, lo que representa un mayor número de artículos con respecto a los años anteriores.

Figura 12

Producción científica acumulada a nivel nacional del 2010 al 2024



Nota. La figura represente la producción anual acumulada por universidades a nivel nacional, elaboración propia con datos tomados de Bibliometrix.

Nota: Para la investigación y análisis bibliométrico solo se tuvieron en cuenta los documentos y artículos que ya estuvieran publicados en las bases de datos. Se estima que existe un mayor número de documentos relacionados, pero que aún no se han liberados al acceso del público.

3.5.2 Características de los documentos más destacados en Colombia

A continuación, a través del análisis bibliométrico, se presentan los artículos con mayor registro de citaciones y menciones en Colombia, dado que este parámetro representa una gran importancia en la investigación en esta área. En la Tabla 4 se expondrán los cinco documentos más citados, esta información se recopila mediante el servidor de Web of Science y las revistas relacionadas.

Tabla 4

Planteamiento de los cinco artículos más citados a nivel nacional

Documento	Temática del artículo
Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética/Colombia and the Energetic transition. Ciencia política (Bogotá, Colombia: 2006).	“En el siglo XX y hasta el día de hoy el mundo utilizó como fuentes energéticas primarias (de manera prioritaria) los denominados combustibles fósiles, a saber, el petróleo, el carbón y el gas natural. Sin embargo, los efectos sobre el ambiente que han dado lugar al cambio climático han generado una tendencia cada vez más creciente a reemplazar estas energías por fuentes más limpias como la eólica, la solar o la geotérmica.”
Rua Ramirez, E. (2019). Transición Energética en Colombia, oportunidad para las energías renovables. Ingenio Magno, 10(1), 6–10.	“La generación o producción de electricidad a nivel mundial viene presentando un cambio o transición a raíz de la contaminación ambiental, las centrales termoeléctricas utilizan combustibles fósiles (Carbón, gas natural, petróleo) como fuente de energía calorífica para enviar vapor de agua a la turbinas que están conectadas a los generadores eléctricos; estos combustibles a través de los gases emitidos aumentan la temperatura sobre la superficie de la tierra por el efecto invernadero provocando así el cambio climático”
Javier Arboleda García. (2020). Colombia entró en la era de la transición energética. Revista Universidad EAFIT, 55(175), 64-.	“El exministro Cano Sanz, economista de la Universidad de los Andes, con maestría en economía de la Universidad Lancaster, de Inglaterra, e integrante del Consejo Superior de la Universidad EAFIT, plantea en esta entrevista que Colombia superará sin problema la meta trazada. A demás asegura que más rápido de lo que se cree el país tendrá las condiciones

	óptimas para desarrollar una importante industria de energías alternativas como la solar y la eólica. La meta es que en una década ellas atiendan el 10 % de la demanda.”
Benavides, J., Cabrales, S., & Delgado-Rojas, M. E. (2022). Transición energética en Colombia: política, costo del carbono - neutralidad acelerada y papel del gas natural. IDEAS Working Paper Series from RePEc.	“La transición de Colombia debe envolver tecnologías limpias rentables, aumentar el consumo de energía por habitante, adoptar una política de portafolio para desarrollar sus recursos energéticos, proclamar una política de apoyo al desarrollo del gas natural por las dos décadas siguientes, no deteriorar la capacidad productiva de las nuevas adiciones en capital en manufactura y equipos con tecnologías distantes de la frontera comercial en el lado de la demanda, no dismantelar activos que provean servicios esenciales y cuyo reemplazo sería muy costoso por unidad de GEI removida.”
CESGIR. (2023). La transición energética en Colombia. Portafolio.	“Uno de los pasos más importantes fue la aprobación del Plan Nacional de Desarrollo PND 2022-2026, que establece políticas públicas para la transformación productiva del país y la promoción de una transformación energética progresiva. Aunque falta todavía definir una hoja de ruta más detallada -estimada para febrero de 2024- el PND es un avance hacia el cumplimiento de metas de desarrollo sostenible, pues en él se establecen objetivos más específicos para la adopción de energías limpias, como el de aumentar sustancialmente la generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía renovable durante el cuatrienio hasta alcanzar 2.297 megavatios.”

Nota. Elaboración propia.

3.6 Panorama de la relación sostenibilidad – Transición energética

A continuación, se muestra esta sección donde se presentan los hallazgos derivados del análisis del fenómeno de la sostenibilidad en la transición energética, donde se aborda desde una óptica académica y geopolítica.

3.6.1 Panorama de investigación

En la transición energética se presentan muchas áreas para la investigación, su visión radica en la innovación de tecnologías que se puedan ejecutar e implementar para aprovechar los recursos renovables, no sin tener en cuenta el medioambiente, además, de analizar su sostenibilidad a mediano y largo plazo. A nivel mundial esta se ha visto implicada en desarrollarse en distintos ámbitos (cultural, social, político y económico) para satisfacer las exigencias de la humanidad. Dentro de este contexto, se proponen las temáticas de investigación sugeridas en los artículos que han sido publicados.

A lo largo de las décadas se han venido planteando proyectos técnicos de investigación con un enfoque que busca optar por una matriz energética que aporte en el aprovechamiento consciente de los recursos renovables, mitigar el daño ambiental y disminuir la huella de carbono y la producción de los gases de efecto invernadero. El sector de transporte es un claro ejemplo de esta implementación de nuevas tecnologías, dado que a nivel mundial es uno de los principales propiciadores de gases de contaminación, pues en gran parte de su consumo se utilizan fuentes de energías fósiles.

3.6.2 Panorama socioeconómico

En la investigación también se trata la influencia que tienen distintas agencias en el proceso de transición energética sobre los sectores sociales, políticos y económicos, analizando el efecto que esta genera en ellas. La respuesta a la sostenibilidad se debe analizar en conjunto con el cambio institucional y su desarrollo, además de los roles que se desempeñan por las instituciones políticas y agencias reguladoras, los compromisos políticos creados de manera coherente con la transición, el poder y la titularidad, incluidas las distintas formas de capitalismo, el impacto que genera en la

economía y el modo de actuar de una sociedad en los diferentes países, todo esto según Lockwood et al. (2016).

A nivel mundial, se han planteado diferentes acuerdos y tratados que tienen el fin de generar una seguridad energética y también social, por ende, la transición energética se ha presentado como un reto que todos los países deben asumir para poder garantizar su estabilidad económica futura.

En la última década se han generado distintos conflictos políticos, sociales y económicos entre naciones que han afectado la industria de hidrocarburos, desde la producción hasta la comercialización de petróleo y sus derivados llegando a alterar la económica de los países, dichos acontecimientos han generado que muchas naciones opten por el auto sostenimiento energético, buscando nuevas fuentes de energía. De ahí surgen los tratados y acuerdos que se establecieron para que estas energías cumplan con la reducción de las emisiones de CO₂ y la huella de carbono, además de la implementación de energías renovables.

En Colombia se han establecido distintos tratados para que en el año 2030 se logre la meta de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 51 % (DNP, 2022), implementando nuevos proyectos.

4. Estado actual de la Transición Energética, Descarbonización y Coexistencia en la industria de los hidrocarburos

4.1 Cambio climático

En 1896, Svante Arrhenius sacó a la luz un artículo en el que señalaba los riesgos asociados al aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el consecuente cambio climático, fue el primero en hablar sobre este concepto, atribuyendo el origen y la aceleración del calentamiento global a la quema de combustibles fósiles y a la actividad humana. Dada la evidencia de los impactos ambientales causados por los Gases de Efecto Invernadero (GEI), es imperativo identificar los obstáculos que dificultan la transición hacia una matriz energética descarbonizada y la colaboración entre las industrias energéticas. Esto proporcionaría una visión clara de la dirección que deben tomar los modelos de producción industrial y las políticas socioeconómicas.

El proceso hacia una matriz energética descarbonizada implica una adaptación progresiva para toda la sociedad actual, respaldada por acuerdos internacionales que delinear los escenarios a corto, mediano y largo plazo. Colombia se destaca como un referente en esta transición gracias a sus políticas actuales.

Este estudio analiza el contexto internacional y nacional respecto a la descarbonización, la transición energética y la coexistencia de las energías renovables con la industria de los hidrocarburos, siendo esta última crucial para reducir el uso de combustibles fósiles en las operaciones, permitiendo su reemplazo.

En Colombia, la falta de investigaciones exhaustivas dificulta la comprensión y superación de los desafíos que implica para la industria petrolera avanzar en la transición hacia la

descarbonización y la coexistencia. Por lo tanto, es fundamental estudiar las experiencias globales y considerar las oportunidades locales para integrar energías limpias en las actividades petroleras.

4.2 Matrices energéticas

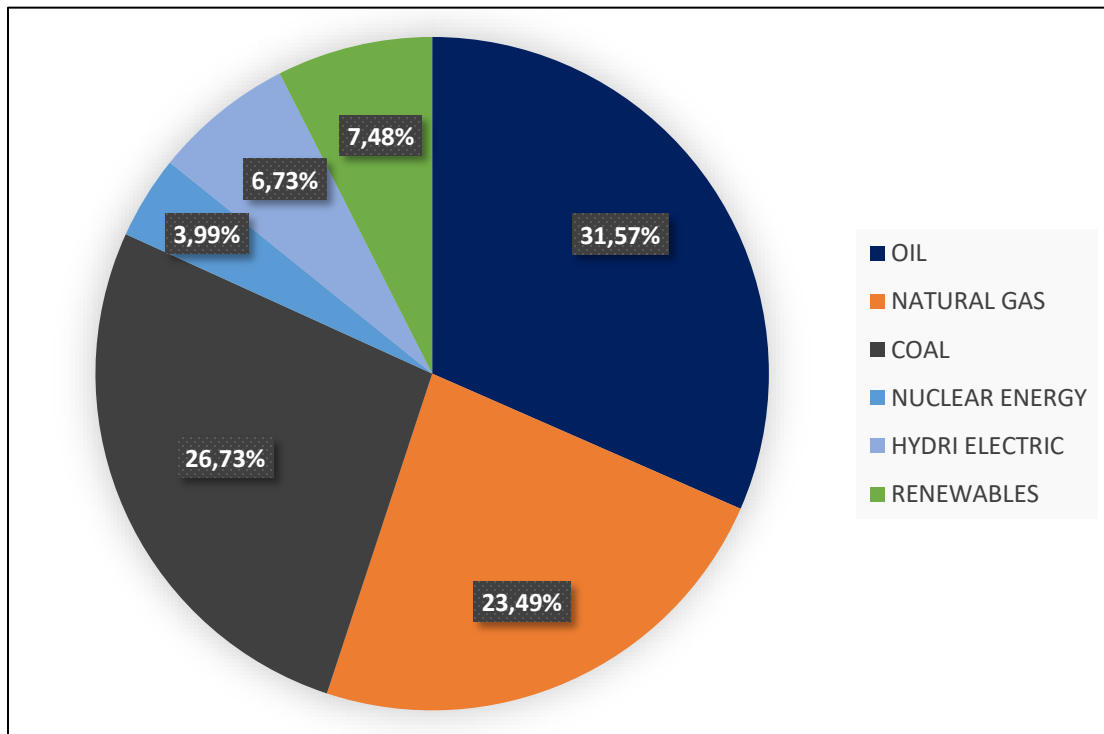
La matriz energética se refiere a la composición y la fuente de energía utilizada para satisfacer las necesidades de consumo energético de un sector geográfico determinado. Se pueden usar de manera directa las fuentes de energía primaria, pero en algunos casos y teniendo en cuenta la demanda se necesita transformarla en energía secundaria como lo es la electricidad.

Seleccionar la matriz energética de un país puede conllevar a diversos riesgos, como la vulnerabilidad a los cambios de los precios internacionales, la dependencia del suministro externo, el déficit comercial, la contribución al calentamiento global, los efectos de la sequía, apagones y otras eventualidades. Por ello, es crucial una planificación meticulosa y estratégica para disminuir estos riesgos y asegurar una transición energética justa y sostenible.

4.2.1 Matriz energética mundial

La demanda mundial de energía aumenta cada año, con ello las emisiones y el uso de fuentes de energía primaria las cuales principalmente son de origen fósil (petróleo, gas natural y carbón), en el 2022 el 81,79 % del consumo mundial se centró en estas fuentes, lo cual se ha mantenido en las últimas décadas, mientras que el 6,73 % en energía hidroeléctrica, el 3,99 % en energía nuclear y con 7,48 % en las energías renovables (ver Figura 13).

En cuanto a consumo de energías renovables esto representa un incremento del 0,79 % respecto al año 2021 y respecto a las energías de origen fósil comparado con el mismo año un decrecimiento del 0,52 % (Energy Institute, 2023).

Figura 13*Matriz energética mundial 2022 (%)*

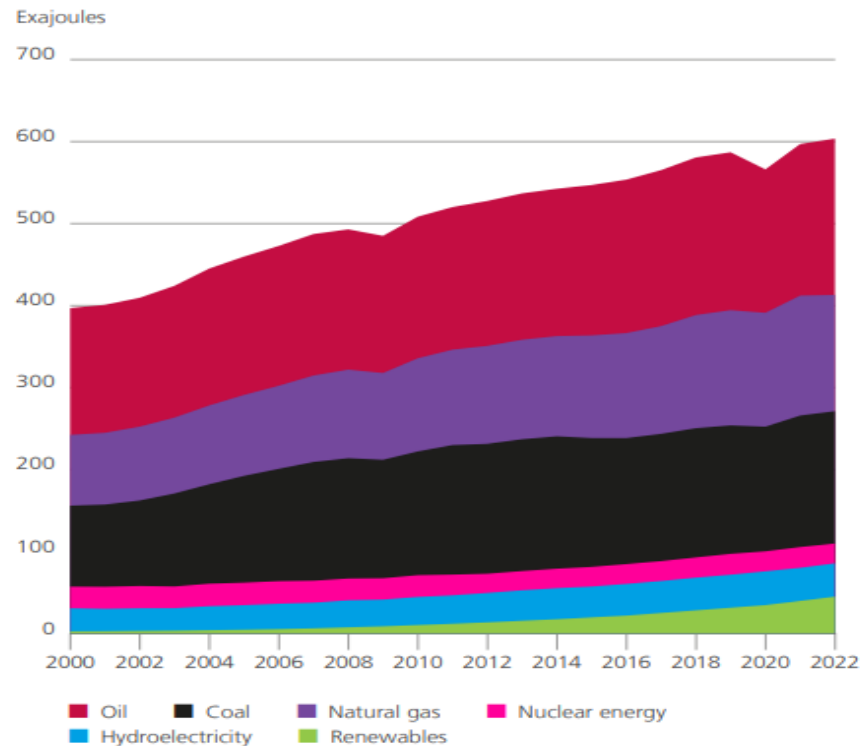
Nota. Elaboración propia con base en *Energy Institute Statistical Review of World Energy* (p. 9), 2023.

A pesar de que para el 2022 el consumo de energías fósiles ha decrecido en 0,52 %, se puede decir que en los últimos años el cambio ha sido bastante lento (ver Figura 14), esta gráfica muestra un aumento en la inserción de las energías renovables en la matriz energética mundial a partir del 2014, pero el consumo de petróleo, gas y carbón sigue siendo el más representativo.

En 2022 el aumento del consumo mundial de energía cayó respecto al 2021 (pasó de + 4,9 % a + 2,1 %), algunas de las razones es que en Europa y la CEI (comunidad de Estados Independientes) la invasión de Rusia a Ucrania generó temores de recesión y aumento de los precios en las principales fuentes de energía lo que derivó en un recorte de la demanda energética (Estadísticas de Consumo Energético Mundial | Enerdata, 2023).

Figura 14

Consumo mundial de energías fósiles al 2022



Nota. Tomado de *Energy Institute Statistical Review of World Energy* (p. 10), 2023.

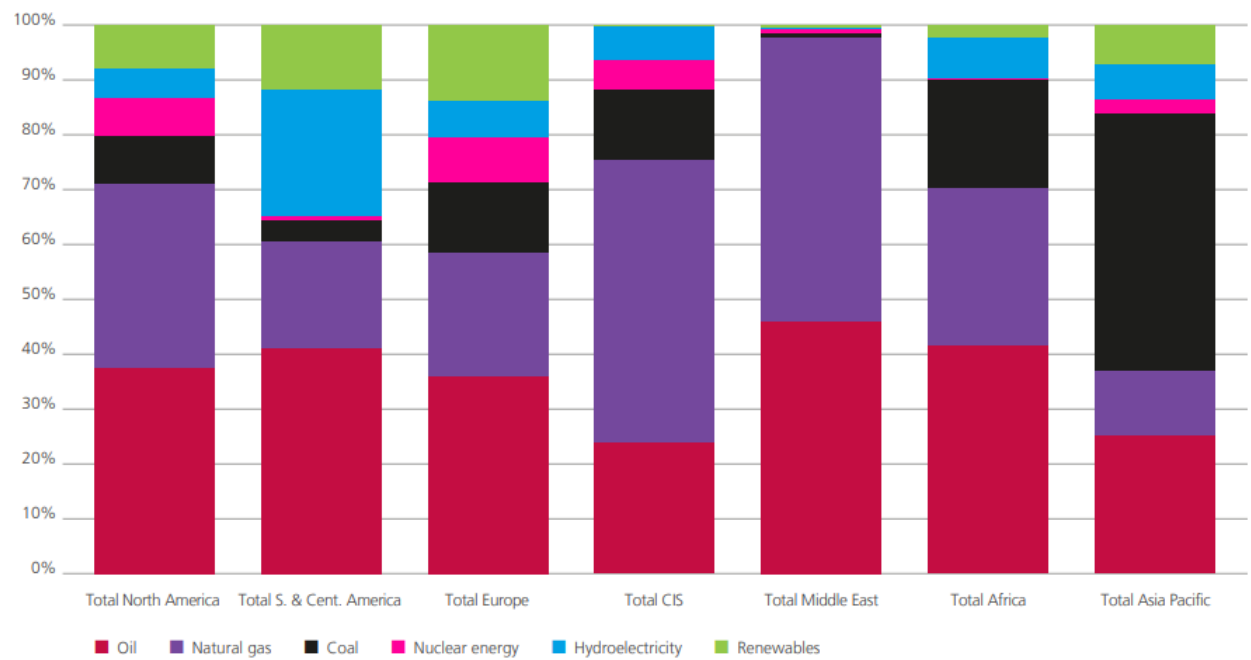
Analizando el consumo de energía por regiones (ver Figura 15) se encuentra que Sur y Centro América poseen la matriz más diversa de energías, con un poco más del 30 % de consumo no proveniente de energías tipo fósil, debido a su gran potencial hidroeléctrico que se atribuye a países como Colombia y Brasil.

En 2023, la demanda mundial de energía continuó aumentando, esto debido al crecimiento económico global y la expansión de la población. Aunque las cifras exactas pueden variar según las fuentes y los informes específicos, se espera que anualmente la demanda energética siga aumentando debido a la industrialización de países en desarrollo, el aumento del consumo per

cápita de energía en países desarrollados, y la transición hacia formas más sostenibles de energía, como las renovables.

Este crecimiento va de la mano con el aumento de las emisiones de CO₂ las cuales llegaron a las 34,4 Gt asociadas al consumo de combustibles. El consumo de energía primaria es crucial para entender la huella energética global de cada país, mientras que las emisiones de CO₂ están estrechamente relacionadas con el impacto ambiental de dichos consumos.

Figura 15
Consumo mundial de energías fósiles al 2022 por sectores



Nota. Tomado de *Energy Institute Statistical Review of World Energy* (p. 10), 2023.

Por otra parte, a continuación, se presenta la Tabla 5 que destaca los 10 países con el mayor consumo de energía primaria en el mundo, junto con sus respectivas emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

Tabla 5

Los 10 países con mayor consumo de energía primaria y sus emisiones de CO₂ 2022

País	Energía Consumida (EXJ)	Participación consumo de energía (%)	Emisiones CO ₂ (Mt CO ₂)	Participación Emisiones CO ₂ (%)
China	159,39	26,39	10550,2	30,69
USA	95,91	15,88	4825,8	14,04
India	36,44	6,03	2595,8	7,55
Rusia	28,89	4,78	1457,5	4,24
Japón	17,84	2,95	1065,7	3,10
Canadá	14,14	2,34	519,7	1,51
Brasil	13,41	2,22	443,3	1,29
Corea del Sur	12,71	2,10	592,4	1,72
Alemania	12,3	2,04	634,9	1,85
Irán	12,16	2,01	667,4	1,94
Otros Países	200,85	33,25	11021,4	32,06
TOTAL	604,04	100	34374,1	100

Nota. Elaboración propia con base en *Energy Institute Statistical Review of World Energy* (p. 8,12), 2023.

Nota: Los datos presentados están basados en el informe “Statistical Review of World Energy” del Instituto de la Energía (IE), el cual analiza los datos sobre los mercados mundiales de la energía del año anterior. Esta publicación se ofrece a la comunidad públicamente y los datos pueden variar según los informes específicos y las metodologías utilizadas para calcular las variables.

Esta tabla proporciona una visión general del impacto de los principales consumidores de energía primaria en términos de emisiones de CO₂, destacando la importancia de abordar la sostenibilidad energética y ambiental a nivel global.

4.2.2 Matriz energética colombiana

Colombia, como muchos países en desarrollo, se enfrenta a desafíos significativos en cuanto a las emisiones de CO₂ y el cambio climático. A pesar de tener una huella de carbono baja comparada con el resto de los países del mundo (0,36 % del consumo mundial de energías se le atribuye al país (Statistical Review of World Energy Data, 2023), lo que deja a Colombia como un aportante del 0,3 % de emisiones de CO₂). Sin embargo, Colombia también está haciendo esfuerzos para abordar estos problemas mediante políticas de conservación ambiental, promoción de energías renovables y programas de reforestación. Además, su biodiversidad única la pone en una posición crucial para mitigar los efectos del cambio climático a través de la protección de sus ecosistemas naturales y la implementación de prácticas sostenibles en sectores clave como la agricultura y el transporte.

La matriz energética de Colombia está predominantemente influenciada por la hidroelectricidad; sin embargo, el país muestra una alta dependencia de fuentes convencionales como el petróleo y el gas en términos de consumo total de energía. Para analizar la matriz energética colombiana, se pueden considerar varios aspectos clave:

A. Fuentes de Energía Primaria:

- **Petróleo y Gas Natural:** Colombia es conocida por ser un productor significativo de petróleo y gas natural. Estos recursos han sido históricamente importantes en la matriz energética del país.

- **Carbón:** El carbón también ha sido una fuente importante de energía en Colombia, utilizado tanto para la generación eléctrica como para la exportación.
- **Energías Renovables:** En los últimos años, ha habido un crecimiento en la participación de energías renovables, como la energía hidroeléctrica, solar y eólica.

B. Generación de Electricidad:

- **Hidroeléctrica:** Colombia cuenta con numerosas plantas hidroeléctricas que proporcionan una parte significativa de su electricidad.
- **Termoeléctrica:** Las plantas termoeléctricas, que utilizan carbón, gas natural o petróleo, también juegan un papel importante en la generación de electricidad.
- **Energías Renovables:** La capacidad instalada de energías renovables ha ido aumentando, aunque tradicionalmente ha sido dominada por la hidroelectricidad.

C. Tendencias y Desafíos:

- **Diversificación Energética:** Colombia ha estado trabajando en diversificar su matriz energética para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y aumentar el uso de energías renovables.
- **Sostenibilidad Ambiental:** Con el crecimiento de las energías renovables, hay un enfoque creciente en la sostenibilidad ambiental y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Impacto Económico:** La gestión eficiente de los recursos y la infraestructura energéticos tienen un impacto directo en la economía del país.

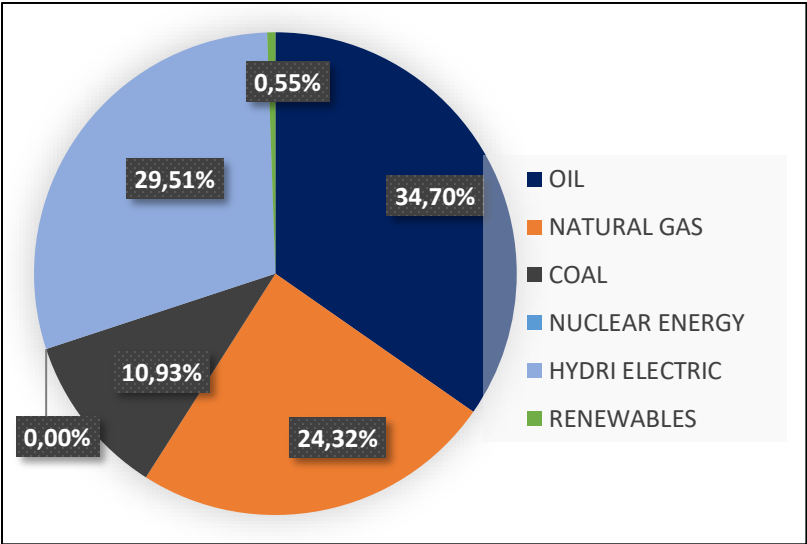
D. Políticas y Regulaciones:

- **Incentivos y Regulaciones:** Las políticas gubernamentales y las regulaciones juegan un papel crucial en la promoción de las energías renovables y la eficiencia energética.

- **Objetivos a Futuro:** Colombia ha establecido objetivos ambiciosos en términos de energías renovables y sostenibilidad, que guiarán la evolución futura de su matriz energética.

Figura 16

Matriz energética de Colombia 2012



Nota. Elaboración propia con base en *Energy Institute Statistical Review of World Energy*, 2013.

Figura 17

Matriz energética Colombia 2017

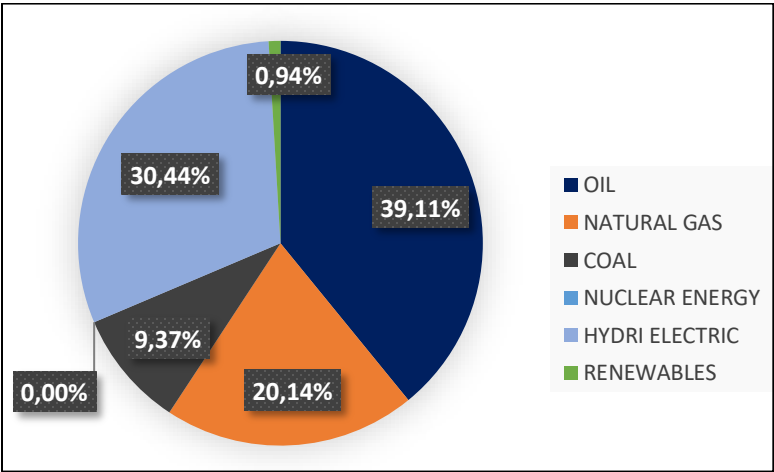
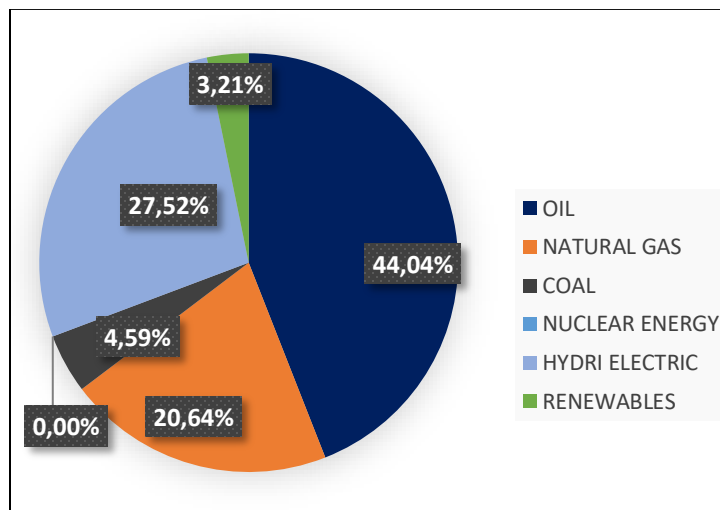


Figura 18*Matriz energética Colombia 2022*

Nota. Elaboración propia con base en *Energy Institute Statistical Review of World Energy*, 2018-2023.

Se observa que con el paso de los años el uso de energías fósiles se ha mantenido constante (69,95 % en 2012, 68,62 % en 2017 y 69,27 % en 2022), pero se ve un aumento a diferencia de lo que se cree en el uso del petróleo (34,70 % en 2012 y 44,04 % en 2022). El uso de energías renovables también se ha mantenido constante, con la variable de que respecto al 2017 disminuyó en 0,65 % y frente al 2012 aumentó 0,68 %.

En el 2018 en Colombia las emisiones de GEI para el sector energético, fueron 93 Mt CO₂-eq el 30,7 % del total de emisiones del año (302.974 Gg CO₂-eq), donde, por subsector de energía se distribuyó de la siguiente manera: 12,5 % transporte, 8,1 % industrias de la energía, 4,3 % industria manufacturera y de construcción, 3 % fabricación de combustible y 2,8 % otros sectores. Las emisiones del sector energético colombiano respecto a las mundiales, en esta misma categoría, representan el 0,28 % del total para el mismo año. (IDEAM, *Fundación Natura*, *PNUD*, *MADS*, *DNP*, *CANCILLERÍA*. 2022).

En resumen, la matriz energética de Colombia en los últimos 10 años ha mostrado una transición gradual hacia una mayor diversificación y sostenibilidad, con un énfasis creciente en las energías renovables. Sin embargo, sigue dependiendo significativamente de recursos fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón. La gestión efectiva de estos recursos y la implementación de políticas energéticas sólidas serán clave para enfrentar los desafíos futuros y alcanzar los objetivos de sostenibilidad establecidos.

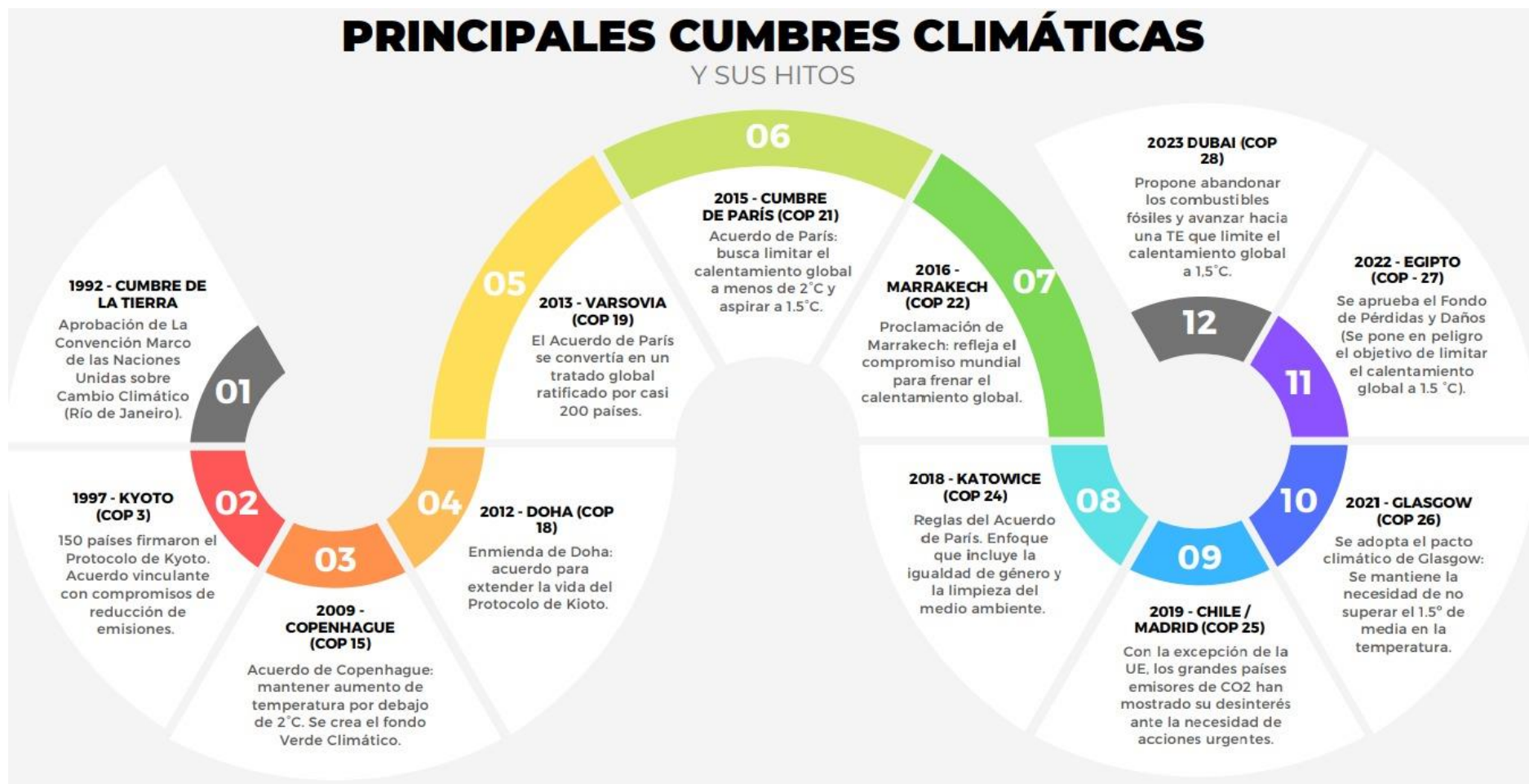
4.3 Acuerdos mundiales

Tabla 6

Principales normas y acuerdos mundiales para reducción de emisiones

Norma/acuerdo	Descripción
Acuerdo de París	Marco de las naciones que establece medidas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
Protocolo de Kioto	Acuerdo internacional que tiene el objetivo de limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)	Marca el objetivo de estabilizar las concentraciones de efecto invernadero y la lucha contra el cambio climático.
CONPES 3918/2018	Cumplimiento de objetivos de desarrollo sostenible al 2030.
Ley 1955 de 2019 - Plan Nacional de Desarrollo	Planteamiento de diferentes posibilidades de oferta y demanda que garantizan el abastecimiento confiable y sostenible de los energéticos.
Ley 1844 de 2017 – Aprobación Acuerdo de París	Implementación y aprobación del acuerdo de París en el marco colombiano.
Ley 1715 de 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Nota. Elaboración Propia.

Figura 19*Principales cumbres climáticas y sus hitos**Nota. Elaboración propia con base en Cumbres del Clima.*

4.3.1 Protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto realizado en la ciudad de Kioto, en Japón y adoptado en diciembre 11 de 1997 entró en vigor el 16 de febrero del 2005 después de un complejo proceso de ratificación. Este tratado internacional pone en funcionamiento la Convención Marco de las Naciones Unidas y comprometió a los 37 países industrializados y la Unión Europea a reducir las emisiones de gases y efecto invernadero (GEI) y combatir el cambio climático, reconociendo que los niveles más altos de emisiones en ese momento eran por causa de ellos. Es importante resaltar que solo los países de la Convención que sean también parte del Protocolo (ratifiquen, acepten y se adhieran a él) están en la obligación de cumplimiento de los compromisos de este.

El principio central del Protocolo es “responsabilidad común, pero diferenciada”, y el objetivo principal planteado fue el de reducir las emisiones de GEI al menos 5 % respecto a los niveles de 1990 en el período del 2008 al 2012. Este Protocolo es considerado el primer paso significativo global en los esfuerzos para demostrar la viabilidad de futuros acuerdos internacionales que permitan avanzar en la reducción de emisiones de GEI. Su estructura está basada en anexos, donde el Anexo I incluye a los países industrializados y economías en transición, con compromisos de reducción de emisiones cuantificables y objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

La segunda fase del protocolo inició con la Enmienda de Doha (2012) la cual buscó establecer un segundo período de compromisos del 2013 al 2020 con el fin de establecer nuevos objetivos de reducción de emisiones, pero esta no logró ser ratificada por el suficiente número de países que le permitiera entrar en vigor. En la búsqueda de facilitar el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones, el Protocolo de Kioto estableció unos mecanismos de flexibilidad basados en el comercio de permisos de emisión:

- A. Comercio de Emisiones:** permite a los países que han reducido sus emisiones por debajo de sus objetivos vender el excedente a otros países que no han logrado cumplir sus metas.
- B. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL):** permite a los países desarrollados invertir en proyectos que reducen las emisiones en países en desarrollo y recibir créditos de carbono (CERs, por sus siglas en inglés Certified Emission Reductions) a cambio.
- C. Implementación Conjunta (IC):** permite a los países desarrollados invertir en proyectos de reducción de emisiones en otros países desarrollados y recibir unidades de reducción de emisiones (ERUs, por sus siglas en inglés Emission Reduction Unit) a cambio.

4.3.2 Acuerdo de París

El Acuerdo de París, firmado y sellado por 195 países el 12 diciembre de 2015 se da dentro del escenario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) donde se establecieron medidas que permitirían la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El Acuerdo de París reconoce el cambio climático como un problema de toda la humanidad y busca la adopción de medidas que permitan hacerle frente, propone que:

Las partes involucradas deberían respetar, promover y tener en cuenta sus respectivas obligaciones relativas a los derechos y Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C (Estadísticas de Consumo Energético Mundial | Enerdata).

Estos objetivos a los que se pretende llegar representan la estrategia para mitigar los efectos del cambio climático. Otro aspecto abordado es la capacidad de adaptación a los efectos negativos del cambio climático y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero.

El Acuerdo de París propone tres áreas prioritarias (financiera, técnica-tecnológica y de desarrollo de capacidad) en las que los países desarrollados deben liderar y respaldar a los países en desarrollo. Con el objetivo de garantizar procesos transparentes, el Balance Mundial evalúa los progresos de todos los países en conjunto cada cinco años. A partir del 2024, los países participantes deben presentar planes de reducción de emisiones, informes sobre el estado de la implementación, medidas de adaptación, así como información sobre el apoyo brindado o recibido y el avance hacia el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a 2°C.

Para el año 2023 la temperatura promedio de la tierra registró un incremento de 1,48 ° C por encima de los niveles del período de 1850 a 1900, esto debido al aumento medio anual de las emisiones de GEI (El Cambio Climático, En Datos y Gráficos, 2023), es decir, el incremento respecto a los niveles preindustriales es de 0,58 ° C. En el período de 2010 a 2019 las emisiones superaron las de cualquier década anterior, para el 2019 el registro fue de 59 +/- 6,6 Gt CO₂-eq, 12 % más que en 2010 y 54 % más que en 1990 (IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. P. 6).

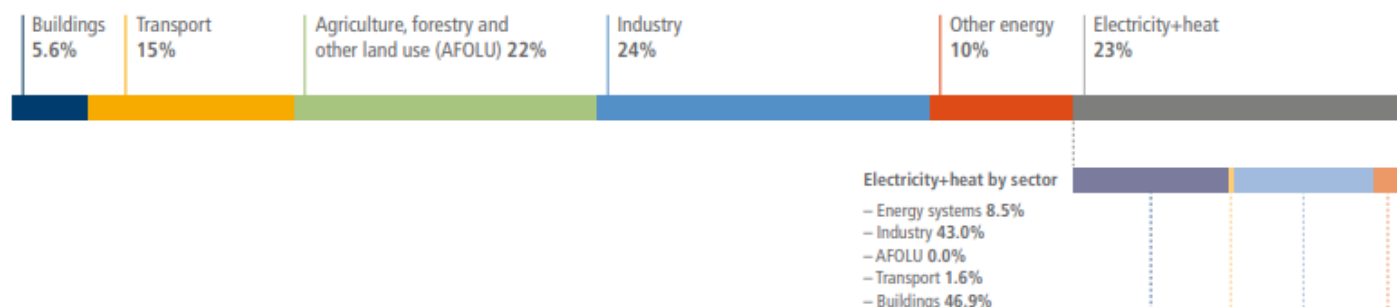
Según el Servicio Geológico Británico, se espera que si el aumento de emisiones continúa al ritmo que viene (2 a 3 ppm/año de CO₂) para el 2100 la temperatura media global de la superficie terrestre alcance hasta 4,8 ° C (British Geological Survey, 2023).

De cara a la problemática mundial, se han estudiado las principales causas de este aumento de temperatura, y, aunque existen algunas de origen natural, las antropogénicas son la principal razón, factores como: construcción, transporte, agricultura, deforestación, otros usos de la tierra (AFOLU por sus siglas en inglés), la industria y generación de energía son los principales aportantes a las emisiones ver Figura 20.

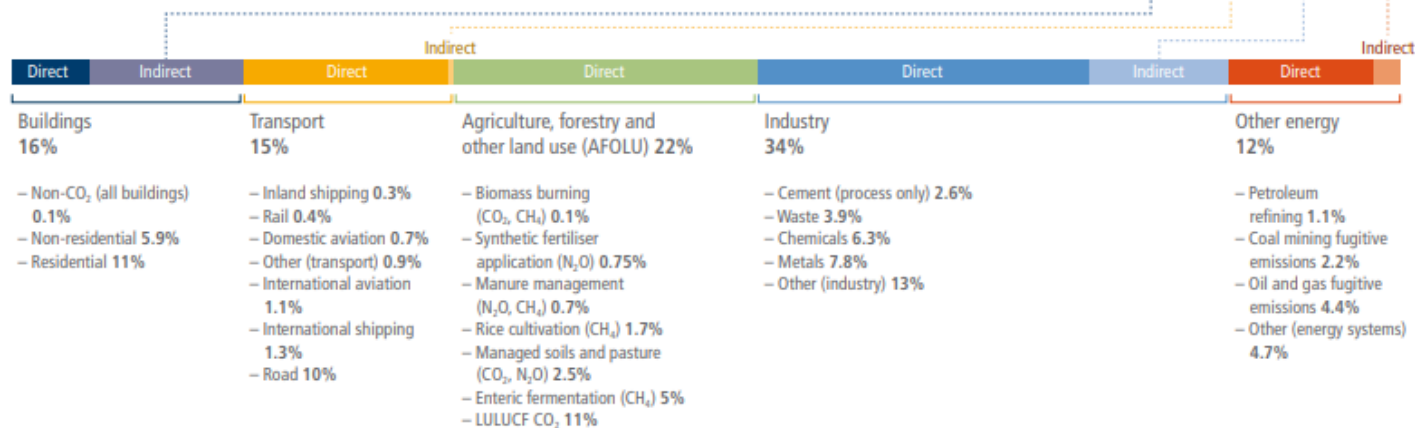
Figura 20

Emisiones antropogénicas totales de GEI por sectores económicos 2019 (Directas e indirectas)

Direct emissions by sector (59 GtCO₂-eq)



Direct+indirect emissions by sector (59 GtCO₂-eq)



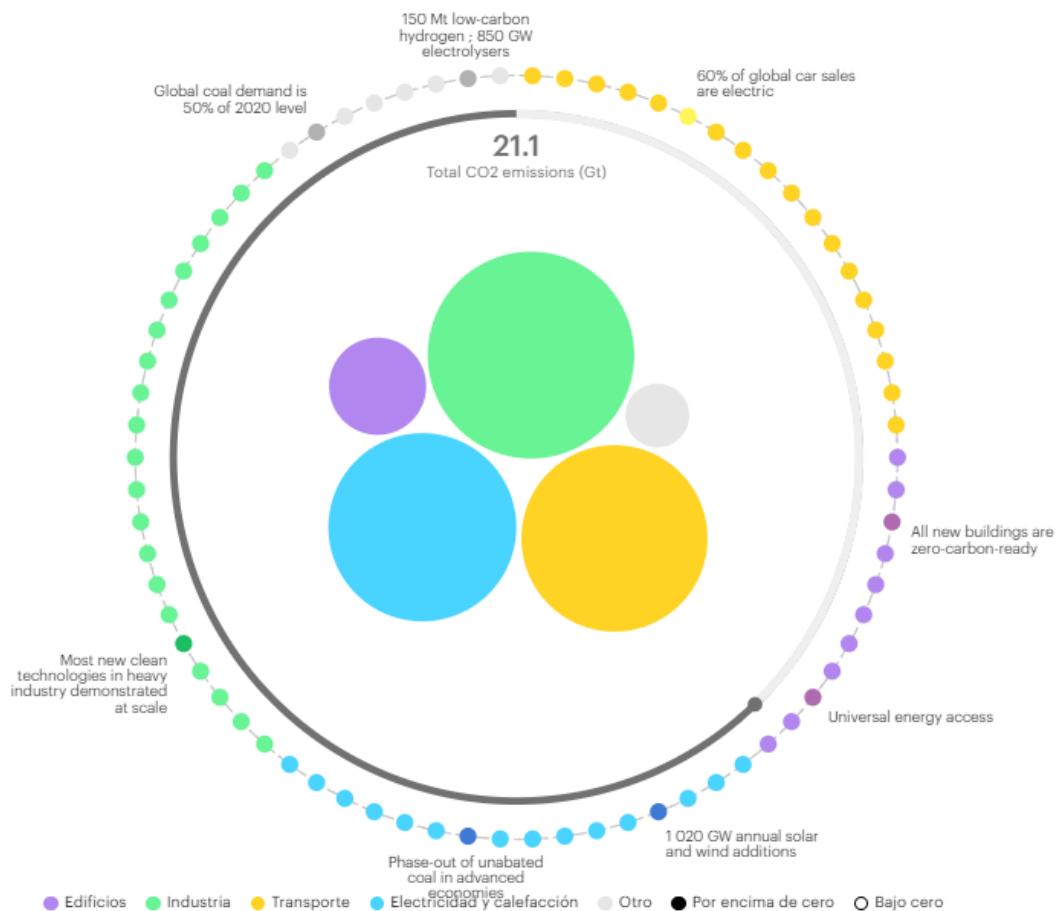
Nota. Tomado de IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change* (p. 66).

Aproximadamente el 34% [20 GtCO₂-eq] de las emisiones antropogénicas netas totales de GEI provienen del sector del suministro de energía, el 24% [14 GtCO₂-eq] de la industria, el 22% [13 GtCO₂-eq] de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU), el 15% [8,7 GtCO₂-eq] del transporte y el 6% [3,3 GtCO₂-eq] de los edificios. Aproximadamente la mitad de las emisiones netas totales de AFOLU proceden de la deforestación (IPCC AR6 Mitigación del cambio climático. Parte 1: ¿Dónde estamos y a dónde vamos?, 2022).

Teniendo en cuenta las emisiones del año 2019, se presentan las gráficas que proyectan la cantidad total de emisiones mundiales esperadas para el 2030 y 2050 ver Figura 21 y 22.

Figura 21

Predicción emisiones CO₂ 2030



Nota. Tomado de *Net Zero By 2050 – Analysis - IEA, 2021.*

Con una producción proyectada de 21,1 Gt CO₂-eq para 2030, se espera una reducción de 37,9 Gt CO₂-eq, equivalente al 64,24 % respecto a los niveles de 2019. Este objetivo se prevé alcanzar mediante el uso eficiente de tecnologías existentes e inversiones en investigación y

desarrollo de nuevas soluciones para la reducción de emisiones. Las estrategias más destacadas incluyen:

- Aumentar la capacidad de generación de energías renovables.
- Incentivar la inversión en tecnologías limpias y proyectos de energías renovables.
- Desarrollar e implementar tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS).
- Promover la transición a procesos industriales bajos en carbono.

Estas acciones son esenciales para lograr una reducción significativa de las emisiones y avanzar hacia una economía global descarbonizada.

Figura 22

Predicción emisiones CO₂ 2050



Nota. Tomado de Net Zero By 2050 – Analysis - IEA, 2021.

Para alcanzar la meta de cero emisiones netas de CO₂ equivalente para 2050, es esencial una colaboración estrecha entre países desarrollados y en desarrollo. Los países desarrollados deben facilitar el acceso a tecnologías avanzadas y sostenibles, permitiendo así que las naciones en desarrollo adopten prácticas y soluciones innovadoras para reducir sus emisiones. Esta cooperación internacional es crucial para asegurar una transición energética global efectiva y equitativa.

El documento World Energy Outlook 2023 (WEO – Prospectivas de la energía en el mundo) ofrece un análisis exhaustivo y conocimientos estratégicos sobre cada aspecto del sistema energético global (International Energy Agency - *World Energy Outlook*, 2023). El World Energy Outlook 2023 (WEO, por sus siglas en inglés) prevé que para el 2050 el consumo de gas supere al de petróleo y que el consumo de carbón se reduzca en aproximadamente un 40 %.

4.3.3 Conferencia de las Partes 28 (COP 28): el inicio del fin de los combustibles fósiles

La COP28, celebrada en Dubái (Emiratos Árabes Unidos) del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2023, reunió a 198 países los cuales firmaron el Acuerdo de Dubái. Este acuerdo ratifica la necesidad de reducir y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de manera rápida y concisa para cumplir los objetivos planteados en el Acuerdo de París.

Uno de los puntos que más resaltan de esta COP, es que por primera vez los combustibles fósiles se reconocieron oficialmente como la causa principal del cambio climático, el Acuerdo se centra en una transición justa y equitativa que permita el alejamiento de los combustibles fósiles de la matriz energética y de esta manera se llegue a la meta planteada para el 2050.

Por otro lado, se incluyó la Revisión Global del Progreso hacia el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París y se avanzó en la implementación del fondo para pérdida y daño para los países en estado de vulnerabilidad para enfrentar los efectos del cambio climático.

Por último, se evidenció por parte de las empresas del sector privado un mayor interés en apoyar proyectos de energías renovables y tecnologías en desarrollo, se resaltó la urgencia de proponer acciones de mayor impacto y de escala global para mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 1,5°C.

El Acuerdo establece que los 198 países comprometidos reportarán cada 5 años sus contribuciones para abordar el cambio climático, pero no se impondrán sanciones en caso de incumplimiento.

4.4 Descarbonización, Coexistencia y Transición Energética en Colombia

La crisis climática, impulsada por las elevadas concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), exige nuevas medidas y alternativas para alcanzar el objetivo de la sostenibilidad, reduciendo gradualmente las emisiones de; dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y de los principales grupos de GEI completamente antropogénicos: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), clorofluorocarbonos (CFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC) (a los que se denomina colectivamente halocarbonos), y las especies totalmente fluorinadas, como el hexafluoruro de azufre (SF₆).

Estas emisiones, provenientes de actividades humanas como la ganadería, agricultura, transporte y generación de energía, deben ser abordadas de manera conjunta por países, sociedad e industrias para lograr llegar al objetivo de las cero emisiones netas.

Colombia aporta 0,3 % de las emisiones mundiales, las cuales podrían aumentar al 2030, a raíz de esto, en el Acuerdo de París el país se comprometió a reducir 20 % de sus emisiones con base en el escenario proyectado a 2030, pero para el cumplimiento de la meta, todos los sectores aportantes deben estar involucrados.

4.4.1 Colombia hacia la descarbonización y coexistencia

Colombia ha adoptado diversas estrategias para avanzar hacia la descarbonización y la coexistencia de las energías renovables con la industria de los hidrocarburos. Los principales esfuerzos se centran en políticas públicas, inversiones en tecnologías limpias y marcos regulatorios que promuevan la transición energética.

Cuando se habla de descarbonización se plantean los distintos caminos que han tomado los países en busca de generar transición en sus matrices de energía, esto, con el fin de mitigar y tomar medidas frente al cambio climático, el común denominador de este tema es “transformar la manera en la que se consume energía” y el objetivo común es el expuesto en varios escenarios nacionales e internacionales “mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 1,5°C para finales de siglo”.

En Colombia, esto se pretende lograr con estrategias y compromisos a corto plazo (reducir sus emisiones en un 51 % al año 2030) que van a marcar la pauta o ruta de transición; las tendencias globales para la descarbonización, y su impacto para el país, mientras que a largo plazo el país planteó una estrategia que busca adaptar los distintos sectores económicos a los lineamientos internacionales de carbono neutro al 2050 (Estrategia presentada en la COP26 a finales del 2021).

A partir de la línea base de emisiones y basándose en la metodología del IPCC (2006) para los años hito (2030 y 2050) el ministerio de minas y energías realizó una proyección de emisiones para estos dos años, obteniendo lo siguiente:

Figura 23*Resultados consolidados de la línea base para 2030 y 2050*

Subsector	Línea base 2030		Línea base 2050	
	Emisión [Mt CO _{2eq}]	Incertidumbre	Emisión [Mt CO _{2eq}]	Incertidumbre
Generación de energía en el Sistema Interconectado Nacional	19,1	-15 % +12 %	26,0	-11 % +10 %
Generación de energía en las Zonas No Interconectadas	0,4	-62 % +75 %	0,40	-67 % +138 %
Petróleo y gas	12,5	-15 % +23 %	5,20	-11 % +43 %
Carbón	6,3	±21 %	6,6	±32 %
Ferroníquel y materiales pétreos	0,7	-12 % +13 %	0,8	-65 % +347 %
Total del sector	39,1	±10 %	40,01	±11 %

Nota. Tomado de pigccme.minenergia.gov.co, 2021, p.15.

La proyección de emisiones por subsector tiene su mayor diferencia en las actividades de petróleo y gas y generación de energía en el sistema interconectado nacional. El primero presenta una reducción de emisiones de 7,3 Mt CO₂ eq del 2030 al 2050 (pasó de 31,97 % a 13 % de todo su aporte en emisiones) y el segundo un aumento de 6,9 Mt CO₂-eq en el mismo período (pasó de 48,85 % a 64,98 % de todo su aporte en emisiones).

Las emisiones producidas por las actividades de generación de energía en las Zonas No Interconectadas (ZNI) se mantienen en el tiempo, la producción de carbón aumenta 0,3 Mt CO₂-eq desde el año 2030 al año 2050 y la actividad ferroníquel y materiales pétreos aumenta 0,1 Mt CO₂-eq.

4.4.2 Estrategia hoja de ruta para 2050

El objetivo del planteamiento de esta estrategia es revolucionar y transformar la manera en la que se produce y consume energía. En la hoja de ruta propuesta se actualizó el plan integral de

gestión de cambio climático a 2030 para poder llegar a carbono neutro a 2050, estos son hechos concretos, por lo que hay 4 ejes de trabajos importantes que se deben llevar a cabo.

A. Diversificación de las MTON CO₂-eq consumidas: busca tener una matriz energética limpia arrancando con la transición energética y así seguir incrementando las fuentes de energías renovables en la matriz convencional, se propusieron 15 granjas solares a lo largo del país para lograr este objetivo.

B. Hoja de ruta del hidrógeno (como país productor, consumidor y exportador): permitirá la descarbonización reemplazando el actual hidrógeno que se consume, por uno de 0 o bajas emisiones como el azul y verde, para lo cual, Ecopetrol hará uso de electrolizadores que permiten producir estos tipos de hidrógeno, también se plantea el transporte de gas mezclado con hidrógeno verde y por último, la hoja de ruta para las nuevas tecnologías (eólica costa afuera, geotérmica (el primer piloto se desarrolló en Casanare, donde se adaptó un pozo petrolero en el que parex está produciendo energía eléctrica a base de geotermia) y almacenamiento de energía a gran escala).

C. Producción material como acero y vidrio.

D. Sector transporte: donde Colombia es líder regional en venta de vehículos eléctricos.

4.4.3 Política de la Transición Energética colombiana

A. Ley 1715 de 2014: promueve el desarrollo y la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético colombiano. Establece incentivos fiscales y arancelarios para proyectos de energías renovables y eficiencia energética.

B. Ley de Transición Energética del 10 de julio de 2021: “por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la

reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones” (*pigccme.minenergia.gov.co*, 2021, p. 10).

C. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018-2022: Incluye metas claras para aumentar la participación de energías renovables en la matriz energética del país y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Colombia se comprometió a reducir las emisiones al 2030 en 11,4 MTON, con el aporte del sector público y privado. La empresa Cenit ya es carbono neutro, siendo el sector minero energético el primero con resolución y plan de gestión de cambio climático a 2030 con los sectores privados.

ALVARO VILLASANTE, vicepresidente de gestión, negocios e innovación del Grupo Energía Bogotá en la conferencia “¿Cómo avanza Colombia hacia la descarbonización y coexistencia?” plantea lo siguiente: “La verdadera transición energética es llevarle energía a los sectores del país que carecen de ella”. Se plantean 8 Ítems que ayudarán a lograr de manera más eficaz el desarrollo de las políticas planteadas en cualquier sector del país:

- Construir y asegurar que los proyectos de generación de energías se puedan llevar a cabo, particularmente en los sectores de interés debido a los problemas de licencia ambiental y sociales.
- Poder incorporar energéticos que generen empleo y riqueza para las comunidades de las zonas de influencia.
- Apostarle al capital humano, no solo importar tecnología, sino también conocimiento para las carreras e investigaciones.
- Transición justa.
- Trabajar sabiendo que los HC’S no van a desaparecer, va a bajar la demanda.

- Recordar que como sociedad se es más parte de la solución que del problema.
- Plantear la Ley de acción climática para el país.
- Generar educación ambiental y divulgar los avances en materia de transición, coexistencia y descarbonización, con el fin de que se puedan tomar como punto de partida para otros proyectos.

Para esto, se debe identificar los recursos y la ambición a la que se quiere llevar, establecer un escenario base, narrativa, descriptiva y objetivos que permitan identificar y diseñar acciones para modelar los escenarios y seleccionar las trayectorias que dan lugar a los protocolos de monitoreo y planes de implementación, para después revisar y actualizar los retos y oportunidades.

4.5 Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs)

Las Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMAs por su sigla en inglés) son estrategias y acciones propuestas por países en desarrollo que buscan reducir las emisiones de Gases Efecto Invernadero de sus niveles tendenciales. Las acciones no son impuestas y se pueden poner en marcha con el apoyo financiero de los grandes países. Las NAMAs fueron introducidas en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Existe una base de datos de las NAMAs, la cual permite compartir información sobre estas para cada país y cómo se llevan a cabo en todo el mundo, de modo que todos puedan aprender de estas experiencias y obtener información sobre cómo se pueden llevar a cabo las actividades de mitigación dentro del marco de las NAMAs. Existen 259 NAMAs y 35 estudios de viabilidad en 69 países para explorar.

Tabla 7*Estado de las NAMAs por sector en Colombia*

SECTOR	NOMBRE	ESTADO ACTUAL
AGROPECUARIO	Panela-reconversión tecnológica y productiva del sector panelero	En formulación
	Café de Colombia	En formulación
	Ganadería Bovina	En formulación
ENERGÍA	NAMA para el sector de Refrigeración doméstica en Colombia	Formulada
	Alumbrado Público	En formulación
	Eficiencia energética en hoteles	En formulación
	Energización con Fuentes Renovables en Zonas No Interconectada	En formulación
	Gas domésticos	En formulación
TRANSPORTE/DESARROLLO HUMANO	DOT. Desarrollo Orientado al Transporte	Finalizando formulación; seleccionando pilotos para l implementación
	Transporte de carga	En implementación
	Transporte No Motorizado	En formulación
INDUSTRIA	Metalmecánica	En formulación
	Siderurgia	En formulación
	Optimización logística y de transporte en Industria	En formulación
RESIDUOS	Gestión de Residuos Sólidos	En formulación
VIVIENDA	Hábitat Sostenible	En formulación
FORESTAL	Forestal	En formulación

Nota. Adaptado de *Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAS - 2022b)*.

4.5.1 Inserción de energías renovables

A. Proyectos Eólicos y Solares: Colombia ha desarrollado varios parques eólicos y solares, especialmente en la región de La Guajira, que es rica en recursos eólicos. Estos proyectos contribuyen significativamente a diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

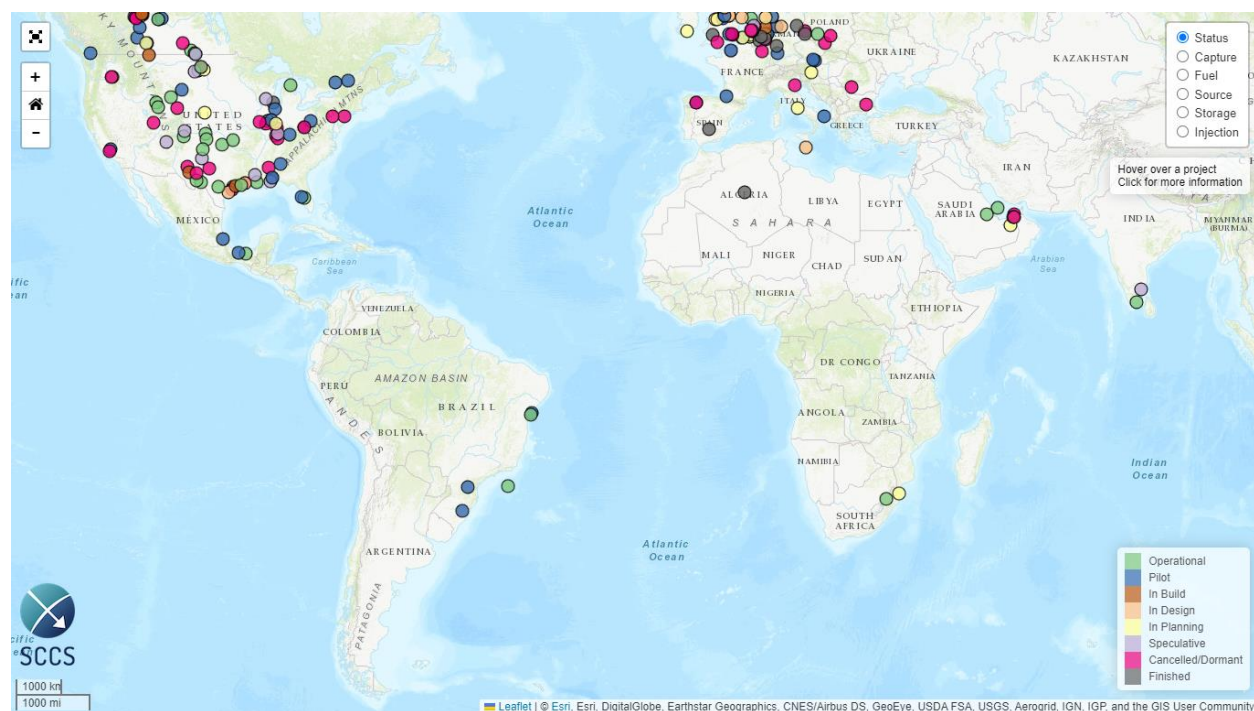
B. Subastas de Energías Renovables: El gobierno ha llevado a cabo subastas de energías renovables para fomentar la inversión en tecnologías limpias. Estas subastas han resultado en la adjudicación de varios proyectos de energía solar y eólica.

4.5.2 Transición de la industria de hidrocarburos

A. Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS): Se están explorando tecnologías de captura y almacenamiento de carbono para reducir las emisiones de CO₂ en la industria petrolera y de gas. A nivel de América del Sur, Brasil es el único país con proyectos pilotos de almacenamiento de CO₂ en desarrollo y activos operacionalmente ver Figura 24.

Figura 24

Mapa mundial de CCS



Nota. Tomado de Global CCS Map | SCCS Corporate.

B. Mejora de la Eficiencia Energética: Implementación de prácticas y tecnologías que mejoran la eficiencia energética en la extracción y procesamiento de hidrocarburos, reduciendo así las emisiones de GEI.

A continuación, se muestran unas de las empresas de HC's y sus proyectos pioneros en camino a la descarbonización en Colombia.

- **Parex resources**

En busca de promover la transición energética y la coexistencia con la industria de los hidrocarburos, el Gobierno Nacional, el Ministerio de Minas y energía autorizó a la empresa canadiense Parex Resources el primer piloto para la generación de energía eléctrica mediante geotermia (Piensa Geotermia, s.f).

El objetivo principal de este proyecto se enfoca en la coproducción de hidrocarburos y energía eléctrica limpia a partir del potencial calórico de las aguas de producción generadas en dos bloques de Parex, donde se proyecta una capacidad de generación eléctrica de entre 15 y 60 kW, además de tener la posibilidad de que esta se pueda extender a 102 kW, según los informes de Parex (País Minero, s.f).

Este proyecto se desarrolla en el departamento del Casanare, Colombia, en los campos Las Maracas y Campo Rumba. La finalidad de este piloto es el aprovechamiento de las altas temperaturas y volúmenes de agua que se producen en estos campos en la extracción de hidrocarburos, además de generar 100kW aproximadamente para satisfacer un porcentaje de energía de los equipos que se utilizarán en el campo para la producción de energía geotérmica.

- **Ecopetrol y AES Colombia**

En el año 2019 AES Colombia y Ecopetrol iniciaron la construcción del primer parque solar en el municipio de Castilla La Nueva, en el departamento del Meta. La inversión para la

ejecución de este parque fue de US\$20 millones y fue construido por AES Colombia a solicitud de Ecopetrol, además para el desarrollo de este proyecto se estableció un contrato por 15 años en los cuales la empresa estará a cargo de su operación y mantenimiento (AES, 2021).

El proyecto, Campo Solar Castilla, cuenta con una extensión de aproximadamente 18 hectáreas, en la cual fueron instalados un total de 54.500 paneles los cuales tienen una capacidad de 20 MW, que equivale a la capacidad energética para sostener una ciudad con 27.000 habitantes. El Campo Castilla es el segundo más grande del país y cuenta con una producción de alrededor de 115.000 barriles de crudo por día, el objetivo del campo solar es abastecer una parte de la energía requerida por el campo.

Otro objetivo que se tiene en mente con la producción de este campo solar es evitar la emisión de aproximadamente 154.000 toneladas de CO₂ cada año, además de disminuir los costos de energía eléctrica en el campo (Ecopetrol, 2023).

Con el fin de generar un avance hacia el proceso de transición energética, las mismas compañías desarrollaron un proyecto en paralelo el cual busca suministrar energía solar a instituciones educativas que se encuentran aledañas a la zona del campo, mediante la instalación de paneles independientes que tiene como fin generar iluminación, ventilación y agua fría. La inversión que se realizó para este proyecto fue de \$200 millones los cuales benefician a más de 90 niños de la región (Ecopetrol, 2023).

Colombia continúa su camino hacia una matriz energética más limpia y sostenible, reconociendo los desafíos, pero también las oportunidades que esta transición conlleva. El compromiso del país con la descarbonización y la coexistencia energética es un paso crucial para mitigar los efectos del cambio climático y asegurar un futuro energético resiliente y sostenible.

5. Experiencias mundiales exitosas de descarbonización, transición y coexistencia energética

Uno de los propósitos que se tiene en la industria de los hidrocarburos, con el fin de aportar a la mitigación de gases de efecto invernadero y generar un aporte hacia la diversificación de la matriz energética, es la implementación de fuentes alternas o centros de energías enfocados en la generación de esta por medios no convencionales (energías renovables no convencionales) para poder abastecer o suministrar su demanda energética en sus lugares de trabajo.

Un ejemplo a lo anteriormente mencionado es que a nivel mundial hay proyectos ya instalados donde en campos petroleros se tiene un suministro de energía alterno que provee al mismo para diversas funciones operacionales, ya sea por producción solar, eólica, geotérmica entre otros.

Cabe destacar que para realizar una implementación de este tipo de proyectos en un campo se debe tener en cuenta la disponibilidad de recursos renovables que hay en la zona y cuál sería su eficiencia, además se debe contar con las tecnologías que mejor se integren a la infraestructura energética que se encuentra en el campo y los impacto que van a generar en este.

Esta estrategia ha tomado fuerza en los últimos años, pues la implementación de energías renovables en campos petroleros para el suministro de energía muestra la combinación de la producción convencional de petróleo y gas con el uso de fuentes de energías sostenibles. Para las empresas esto plantea diversos beneficios económicos, además de generar un avance hacia el 0 % de emisiones de CO₂ y generar una imagen más limpia de la industria.

Consecuente a esto, en las últimas décadas también se han diseñado en varias regiones centros energéticos, los cuales se dedican a la generación, distribución y gestión integral de

diversos tipos de energías. Estos centros integran múltiples fuentes energéticas, tales como solar, eólica, hidroeléctrica, nuclear, gas natural, biomasa y geotérmica, además aportan un gran porcentaje a la demanda energética global, la capacidad de generación y distribución de energía a nivel mundial.

Los proyectos de coexistencia y centros de energía son un gran aporte a la diversificación y la innovación para abordar los desafíos de la transición energética y la sostenibilidad, ayudando a la disminución de las emisiones de la huella de carbono, ampliando la matriz energética y permitiendo el alcance de los objetivos energéticos propuestos.

5.1 Potencial de energías renovables en el mundo

En la economía del mundo, el sector energético representa una de las principales fuentes de ingresos desde todos los campos, hidrocarburos, minería y energía eléctrica, debido a eso es considerado el centro de desarrollo global. Aunque su papel es importante para la sociedad, también es considerado uno de los principales productores de gases de efecto invernadero, debido a eso, esta industria se ha venido desplazando y acoplándose a los nuevos criterios de descarbonización que se han impuesto a nivel mundial, esto con el fin de generar un economía verde y amigable con el medio ambiente. Con este propósito su misión es la implementación de energías renovables en sus operaciones para suplir el uso de energía proveniente de fuentes convencionales.

Alrededor del mundo se han realizado diversos proyectos con el fin de cumplir con este objetivo, aunque es proceso de implementación de estas energías en distintas operaciones de la industria ha sido un poco lento, los que se han realizado han logrado cumplir a mayor cabalidad con su función. El mayor reto ha sido la diversificación de las fuentes de energías no

convencionales, pues para hacer uso o implementación de estas, los países deben tener en cuenta su potencial y efectividad en sus territorios.

Cuando se habla potencial eléctrico se hace referencia a la capacidad global que hay para generar energía a partir de una fuente, estas pueden ser tradicionales en las cuales se conoce el carbón, el petróleo y el gas natural; también hay fuentes provenientes de un recurso como el sol, el viento, agua, etc., estas se caracterizan porque se pueden renovar ilimitadamente, algunos ejemplos podrían ser la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa.

La viabilidad económica y tecnológica de cada fuente de energía, la capacidad instalada y los recursos disponibles determinan este potencial eléctrico. La siguiente tabla muestra un valor aproximando de la capacidad instalada que hay actualmente en el mundo.

Tabla 8

Capacidad instalada por energía

Tipo de energía	Capacidad instalada
Energía biomasa	60 GW
Energía de gas natural	> 2000 GW
Energía eólica	> 800 GW
Energía geotérmica	16 GW
Energía hidroeléctrica	> 1300 GW
Energía nuclear	400 GW
Energía solar	> 1000 GW

Nota. Elaboración propia basada en información de IRENA

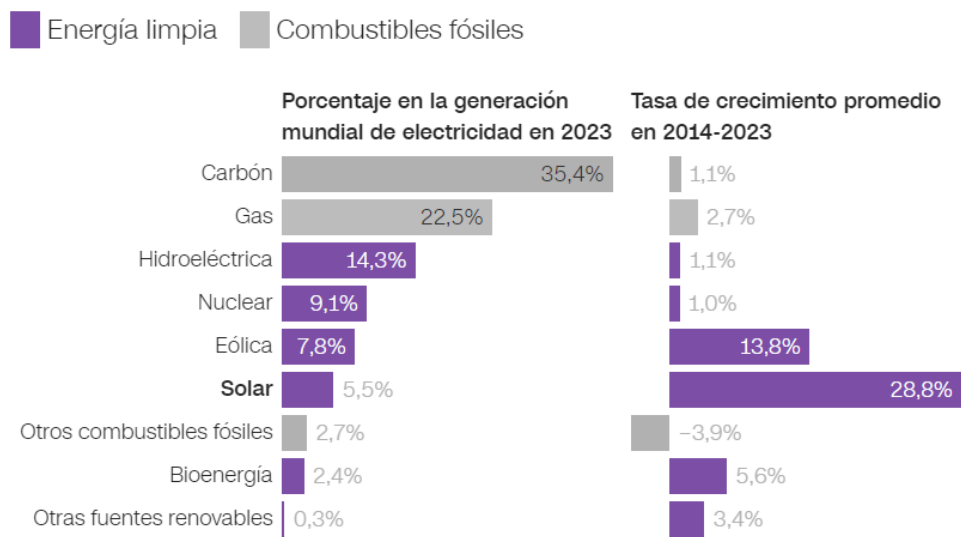
Actualmente las energías que más han alcanzado su potencial en los últimos años han sido la energía solar y eólica. Referente a la energía solar tiene un potencial alto, debido a que la radiación solar que llega a la superficie terrestre es bastante alta y no depende de otro factor

externo. En cuanto a la energía eólica, la selección de ubicación para instalar las turbinas es más complicada, dado que se debe contar con altas velocidades de vientos para tener una gran eficiencia, aun así, zonas costeras y desérticas presentan un mayor potencial para la generación de esta energía.

La generación de electricidad proveniente de energía nuclear, hidroeléctrica, biomasas, etc., también han aumentado su producción y proyectos con respecto al inicio de siglo, en la Figura 25 se puede observar dicho aumento, actualmente dichas energías representan alrededor del 40 % de generación.

Figura 25

Porcentaje de producción mundial de energía y tasa de crecimiento promedio



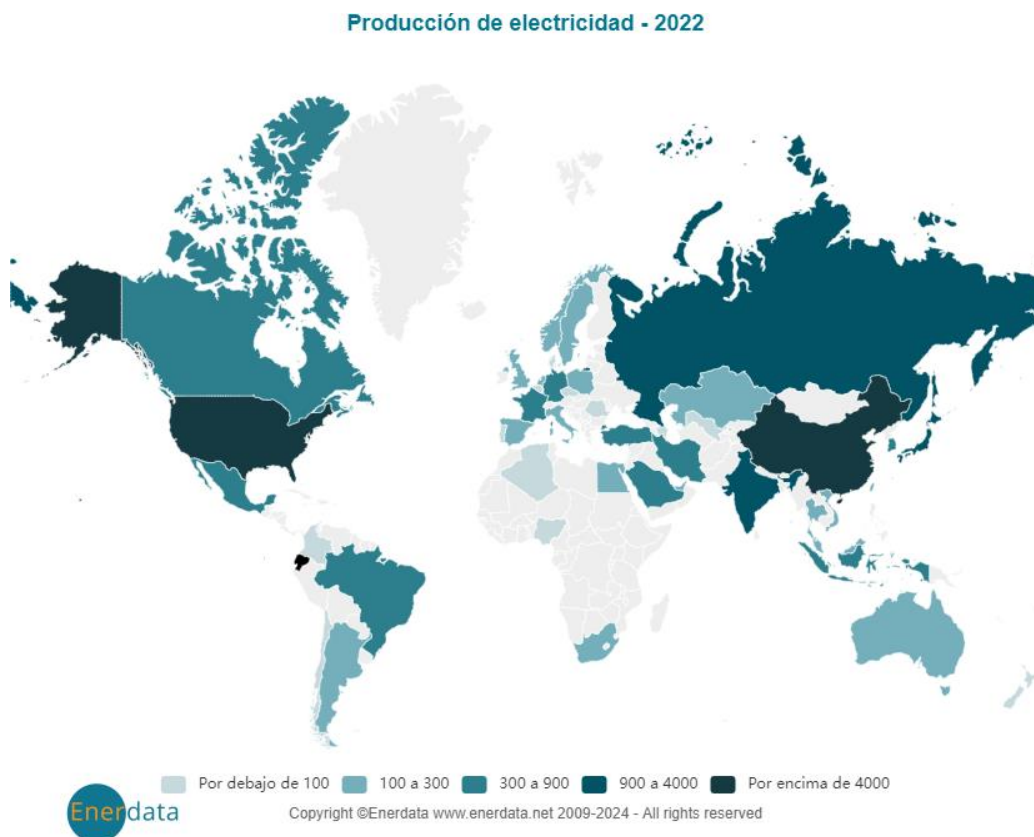
Nota. Tomado de Rachel Wilson, CNN, 2024.

En el ámbito de aportar a la transición energética y descarbonización, según un informe de la IRENE, 92 países han realizado su aporte generando nuevos proyectos de autosuficiencia energética para distintas industrias. Países europeos son los que mayor avance han logrado

conseguir pues actualmente es donde mayor capacidad instalada de energía por fuentes renovables existen, seguido de Asia y América, en la Figura 23 se pueden observar un promedio de la producción de energía por Teravatio hora (TWh) por país, rectificando lo anteriormente mencionado.

Figura 26

Producción de energía por fuentes renovables a nivel mundial en TWh



Nota. Tomado de Enerdata, 2023.

5.1.1 Aplicaciones de energías renovables en campos a nivel mundial

5.1.1.1 Campo Lost Hills. Campo petrolero ubicado en el condado de Kern, California, operado por la empresa Crimson Resource Management. En el año 2021 desarrollaron un proyecto de energía solar con el objetivo de reducir la energía eléctrica que consume el mismo campo, específicamente en equipo de producción del campo. El parque solar cuenta con una capacidad instalada de 2,2 MW, además de 1.872 módulos solares fotovoltaicos (Crimson, 2023).

5.1.1.2 Yacimiento Midway Sunset. Uno de los diez principales yacimientos de producción en Estados Unidos, operado por Crimson Resource Management, cuenta con operaciones al norte y sur del yacimiento. En este yacimiento se han realizado varios proyectos de inserción de energías renovables para sus operaciones, cuenta con un parque solar con 4.800 paneles fotovoltaicos, los cuales tiene una capacidad instalada de 500 kW y tienen como función proveer el 5 % de la demanda de energía de uno de sus campos (Crimson, s.f.).

En este yacimiento también se encuentra instalado un proyecto que según un informe de *California Air Resources Board (2023)* consiste en “la generación eléctrica por medio de energía solar, con el proyecto se entrega vapor solar al convertir la electricidad solar fotovoltaica generada en calor y almacenar ese calor dentro del acumulador de energía térmica eléctrica” el fin del proyecto es la generación de vapor que se usara para las instalaciones de producción de hidrocarburos del campo.

5.1.1.3 Campo The Kern River. En el yacimiento de Kern River, se tiene operaciones de producción de hidrocarburos por parte de la empresa Chevron, la cual aparte de mantener las operaciones del campo, tiene instalada una planta de producción solar, la cual tiene una capacidad de 750 kW. En el campo se tiene diferentes tipos de paneles fotovoltaicos los cuales se encargan de producir la energía para alimentar 40 bombas de extracción (pump jacks), actualmente cuenta con 7.700 paneles que cumplen con esta función (Choi et al., 2017).

5.1.1.4 Campo The Beatrice. Campo petrolero ubicado a 24 km de la costa noroeste de Escocia, situado en el mar del norte, consta de tres plataformas en las cuales se tienen operaciones para la producción de gas y petróleo. Es operado por diversas compañías, como lo son *Scottish and Southern Energy* y *Talisman Energy*, estas empresas además de realizar su gerencia de campo, invirtieron en un proyecto energético, basado en la instalación de un sistema de energía eólica (Choi et al., 2017).

El sistema eólico consta de dos auto generadores de 5 MW cada uno y se encargan de suministrar alrededor del 30 % de la energía que demandan las plataformas (Choi et al., 2017).

5.1.1.5 Campo The Utsira Nord. *DVN GL of Norway*, es la empresa encargada de la producción de este campo de hidrocarburos situado cerca de la región de Utsira, Noruega. La empresa cuenta con un proyecto llamado *Win - Win*, en él se busca la inyección de agua basado en un suministro de energía eólica, por medio de la construcción de una turbina eólica flotante que produzca la energía suficiente para el proceso de inyección (Choi et al., 2017).

Además de este proyecto, se busca la instalación de un parque marino en la plataforma petrolífera compuesto por 48 turbinas que cuentan con la capacidad de 288 MW, con el objetivo de suministrar la energía suficiente al lugar y a zonas residenciales costeras aledañas (D. Nilsson, 2014)

5.1.1.6 The Rocky Mountain Oil Field Testing Center. Este centro de investigación ubicado en Wyoming, Estados Unidos, es una instalación que se encarga de evaluar y comprobar nuevos proyectos para la industria de los hidrocarburos (U.S DOE, S.F.). En el 2008 se desarrolló un proyecto sobre la viabilidad del uso de agua termal de pozos en zonas petroleras para la generación de energía geotérmica.

Para la ejecución del proyecto se construyó un sistema de energía geotérmica de 217 kW mediante agua termal de pozos petroleros, en el cual se generó 1.918 MWh de electricidad a partir de 109 millones de barriles de agua termal (T. Williams, 2012).

5.1.1.7 Campo The Mckittrick. Campo petrolero, ubicado al oeste de California, Estados Unidos, actualmente operado por la empresa Berry (E. Hussain, 2017). Esta empresa desarrollo un proyecto termo solar con una tecnología de *Glass Point Solar*, para procesos de recuperación mejorada de petróleo (EOR). Su objetivo es captar y recoger luz solar por medios de captadores solares térmicos, para después producir vapor a alta presión con esta y aplicarla a técnicas EOR, además de reducir el uso de combustible (Choi et al., 2017).

5.1.1.8 Campo The Suizhong 36 -1. China National Offshore Oil Corporation (CNOOC), empresa encargada del campo The Suizhong 36 -1, ubicado en la bahía de Liaodong en el mar de Bohai. En la bahía se encuentran muchas plataformas marinas tipo camisa de acero, una de ellas fue utilizada para la construcción de una turbina eólica de 1,5 MW con el fin de producir energía para abastecer la planta de producción del mismo campo (Y. Wang, 2013). Con este proyecto, en la región se han logrado reducir cerca de 5.300 toneladas anuales de dióxido de carbono (CO₂) (Z. Hua, 2016).

5.2 Potencial de energías renovables en Colombia

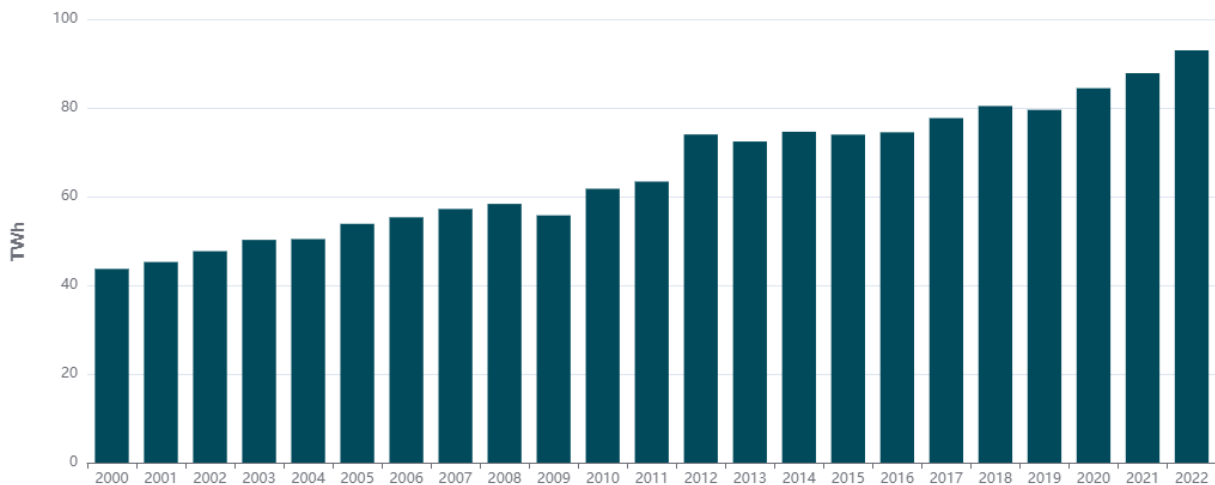
En Colombia debido a su gran biodiversidad y vastos paisajes presenta un amplio escenario al momento de fomentar la implementación de energías renovables a lo largo del país y entrar a ser líder en la transición energética de la región. Dado su matriz energética, en Colombia se observa un futuro prometedor en cuanto energías eólica y solar, además de la implementación de energías geotérmica.

En el año 2021 la capacidad efectiva de generación de energía fue de 17.761 MW, en donde la mayor generación fue por el sector hidráulico donde hubo una producción de 11.043 MW, seguido del 5.295 MW, la producción restante fue de 1.423 MW que corresponde a biomasas, plantas menores de cogeneración y autogeneración. Además, para este año la generación de energía renovable fue de 70.114 GWh (Enerdata, 2023).

Según el informe más reciente de Enerdata, en el año 2022 en Colombia se tuvo una producción de 93 TWh.

Figura 27

Tendencia de producción energía en Colombia durante el periodo 2000/2022 en teravatio hora



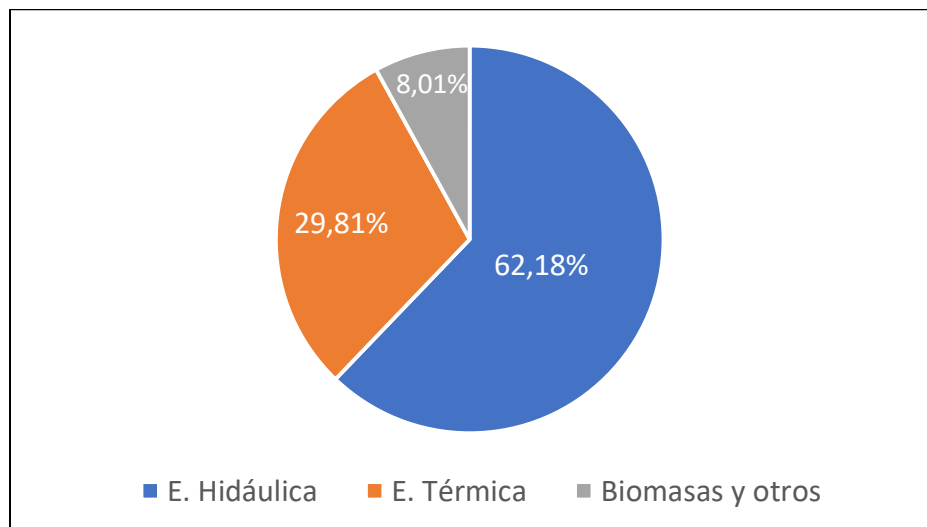
Nota. Tomado de Enerdata, 2023.

Como se mencionó anteriormente, en Colombia hay un gran potencial para aumentar el uso de energías renovables no convencionales, como es el caso de la energía solar dado que en el departamento de la Guajira se tiene un alto un alto porcentaje de irradiación solar por encima de otros países en un 60%, con cerca de 194 W/m² de media (El Tiempo, 2017).

En cuanto a la energía eólica el país tiene un potencial de más de 50 GW, además de contar con una velocidad del viento mayor a 9 m/s que corresponde al doble de la media mundial. Referente a la energía por producción hidráulica el potencial de capacidad instala circula alrededor de los 65 GW. En cuanto a la biomasas y energía geotérmica hay un potencial de cerca de 500.000 TJ al año y 1.170 MW correspondientemente (UPME, 2015).

Figura 28

Porcentajes de generación efectiva eléctrica 2021



Nota. Elaboración propia.

5.2.1 Aplicaciones de energías renovables en campos de Colombia

5.2.1.1 Campo Castilla. En el año 2019 AES Colombia y Ecopetrol iniciaron la construcción del primer parque solar en el municipio de Castilla La Nueva, en el departamento del Meta. La inversión para la ejecución de este parque fue de US\$20 millones y fue construido por AES Colombia a solicitud de Ecopetrol, además para el desarrollo de este proyecto se estableció un contrato por 15 años en los cuales la empresa estará a cargo de su operación y mantenimiento (AES, 2021).

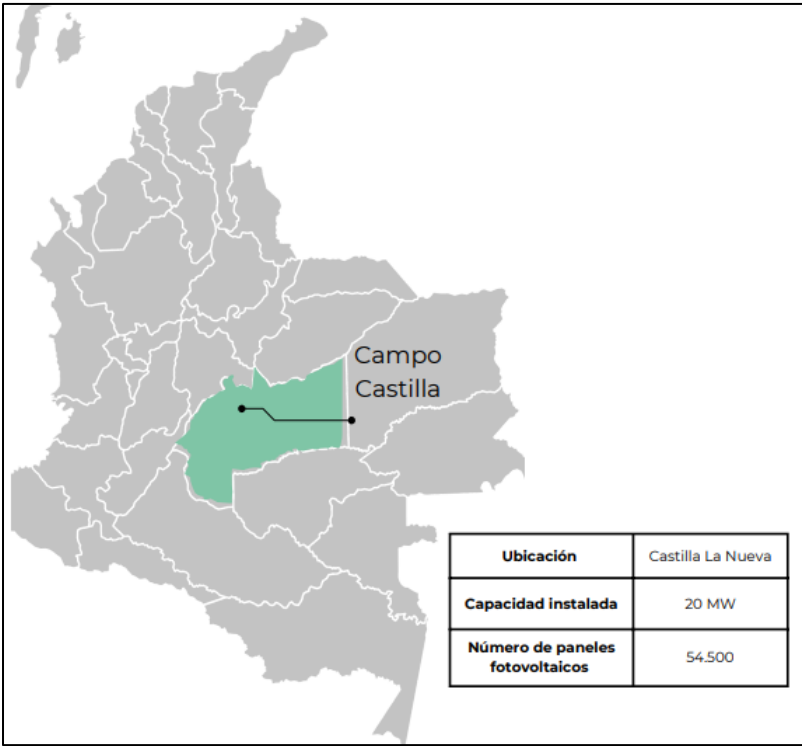
El proyecto, Campo Solar Castilla, cuenta con una extensión de aproximadamente 18 hectáreas, en la cual fueron instalados un total de 54.500 paneles los cuales tienen una capacidad de 20 MW, que equivale a la capacidad energética para sostener una ciudad con 27.000 habitantes. El Campo Castilla es el segundo más grande del país y cuenta con una producción de alrededor de 115.000 barriles de crudo por día, el objetivo del campo solar es abastecer una parte de la energía requerida por el campo.

Otro objetivo que se tiene en mente con la producción de este campo solar es evitar la emisión de aproximadamente 154.000 toneladas de CO₂ cada año, además de disminuir los costos de energía eléctrica en el campo (Ecopetrol, 2023).

Con el fin de generar un avance hacia el proceso de transición energética, las mismas compañías desarrollaron un proyecto en paralelo el cual busca suministrar energía solar a instituciones educativas que se encuentran aledañas a la zona del campo, mediante la instalación de paneles independientes que tiene como fin generar iluminación, ventilación y agua fría. La inversión que se realizó para este proyecto fue de \$200 millones los cuales benefician a más de 90 niños de la región (Ecopetrol, 2023).

Figura 29

Campo Solar Castilla, Meta



Nota. Elaboración propia basado en información de Ecopetrol.

5.2.1.2 Ecoparque solar San Fernando. El parque solar San Fernando inaugurado en el año 2021 por parte de AES Colombia junto con Cenit, filial de Ecopetrol, siendo este el mayor parque que se ha construido en el país. Se encuentra localizado en el municipio de Castilla La Nueva, en el departamento del Meta (Ecopetrol, 2022).

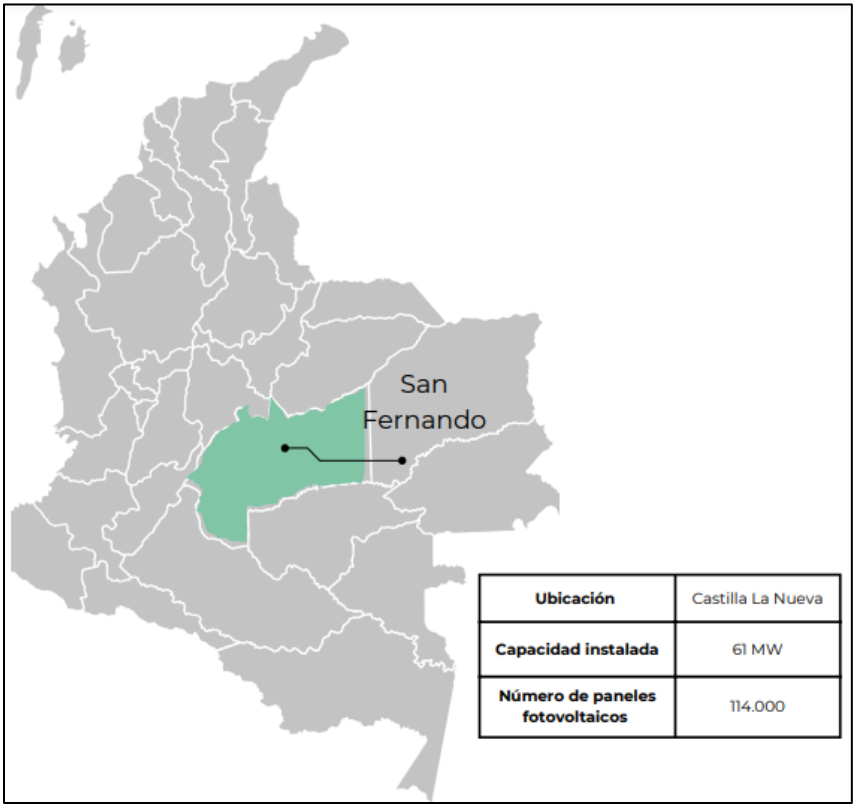
El parque cuenta con una extensión de 57 hectáreas donde hay instalados 114 mil paneles solares. Los paneles instalados son bifaciales de silicio monocristalino de 530 Wp los cuales tiene una tecnología bifacial que se basa en la absorción de luz solar por ambas caras de los paneles obteniendo una mayor eficiencia, además su tecnología les permite el seguimiento de ciclo de solar

de manera que estos impacte en todo momento perpendicularmente a los módulos fotovoltaicos (Ecopetrol, 2022).

La capacidad instalada del parque solar de es 61 MW la cual se usa para abastecer parte de la energía que demanda las operaciones de las empresas Ecopetrol y Cenit en los Llanos Orientales. La generación renovable de este proyecto evitara la emisión de 508 mil toneladas equivalentes de CO₂ a la atmósfera (Ecopetrol, 2022).

Figura 30

Campo Solar San Fernando, Castilla La Nueva



Nota. Elaboración propia basado en información de Ecopetrol.

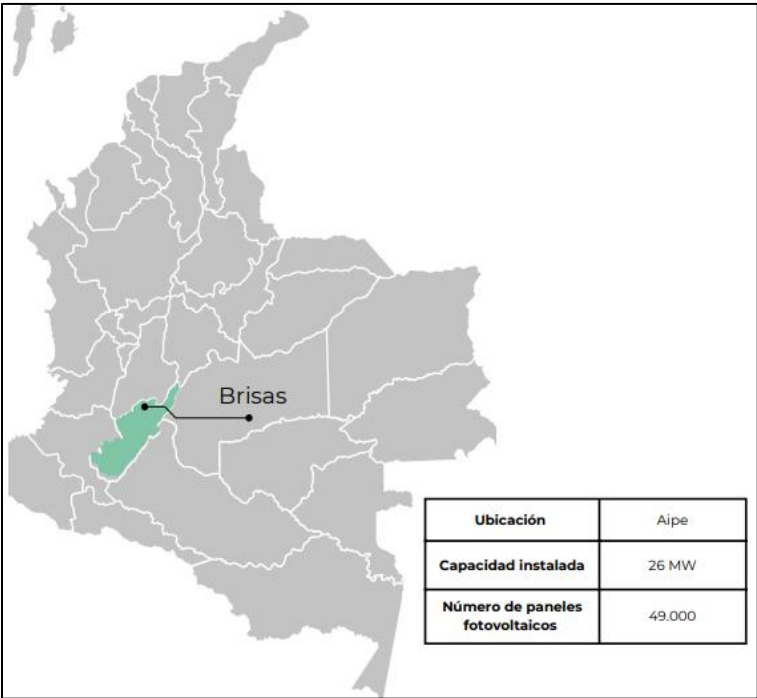
5.2.1.3 Ecoparque solar Brisas. Tercer proyecto solar dirigido por Ecopetrol junto con AES Colombia, se encuentra ubicado en la parte sur del País, en el municipio de Aipe, Huila. Dicho complejo cuenta con una extensión de 21 hectáreas y con un contrato de suministro de energía por 15 años (Ecopetrol, 2023).

Este parque solar tiene el mismo funcionamiento que el parque solar San Fernando, sus paneles tienen la capacidad de captar la energía solar por ambas caras, mejorando su eficiencia y el mayor efecto de planta, además del seguimiento del sol para que los rayos impacten de manera perpendicular en todo momento los módulos fotovoltaicos. El campo cuenta con una capacidad instalada de 26 MW y con más de 49.000 paneles de tecnología bifacial (AES, 2023).

La inversión de este proyecto busca que las emisiones de carbono se logren reducir en más de 216.000, también tiene el objetivo de generar la energía suficiente para todos los campos de la zona además de abastecer el 10% de la energía que demanda Ecopetrol en el departamento (Ecopetrol, 2023).

Figura 31

Campo Solar Brisas, Meta



Nota. Elaboración propia basado en información de Ecopetrol.

5.2.1.4 Llanos 34. GeoPark, empresa latinoamericana que se posiciona entre las mejores compañías independientes en las áreas de exploración y producción de hidrocarburos. Esta empresa tiene operación en el departamento del Casanare, Llanos 34, que a nivel de Colombia es el tercer bloque con mayor aporte a la producción de hidrocarburos.

En el compromiso mundial de las empresas de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, esta empresa en el año 2022 logro reducir los GEI en un 34,2 % con respecto al otro año en sus operaciones de este campo (GeoPark, 2023). Para alcanzar esta meta, en GeoPark se han hecho la implementación de varios proyectos que sustituyen su uso de energías fósiles por energías no convencionales renovables en varias de sus operaciones.

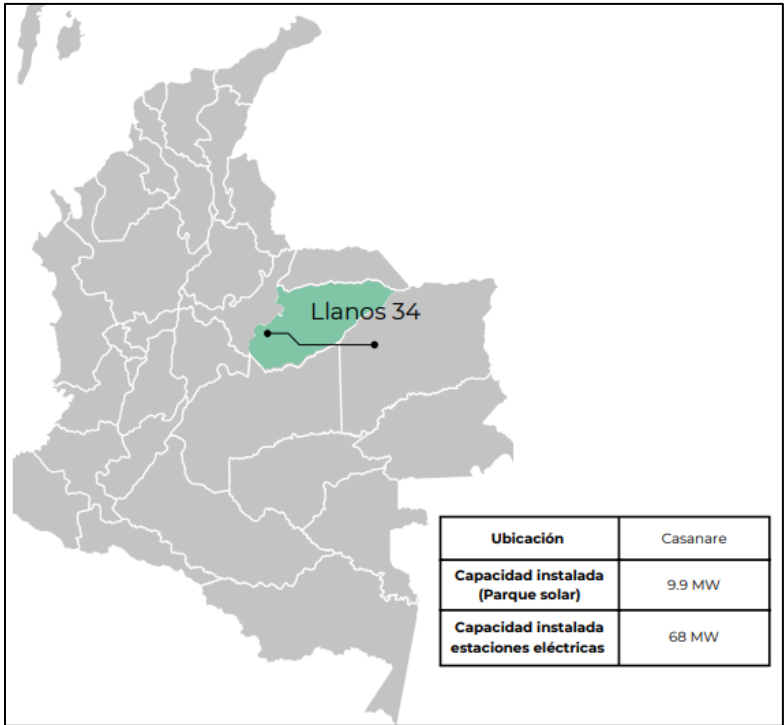
Uno de los principales proyectos es la conexión de Llanos 34, uno de los bloques con mayor producción de petróleo al Sistema Interconectado Nacional (SIN) en julio de 2022. Para esto se realizó la construcción de una línea eléctrica de 37 km a 115 Kv, además de las dos subestaciones eléctricas Tigana y Jacana. El objetivo de este proyecto es suministrar 68 MW a la central hidroeléctrica de Chivor con la que se abastece al campo con el fin de producir cerca 58.000 barriles diarios de petróleo (Min. Minas 2022).

Junto a este proyecto, está el parque solar Llanos 34, que se construyó en el último trimestre del año 2022, esta granja solar cuenta con una capacidad de 9.9 MW y aporta un suministro de energía al bloque para sus operaciones (Geopark, 2022).

La meta de Geopark, es la implementación de más proyectos que involucren el uso de fuentes de energía renovables y se complementen en todas sus operaciones, como por ejemplo en el transporte de fluidos por tubería, el uso de sistemas de levantamiento artificial por medio de estas energías y los procesos que involucran la separación de fluidos que son producidos en campo.

Figura 32

Bloque Llanos 34, Casanare



Nota. Elaboración propia basado en información de GeoPark.

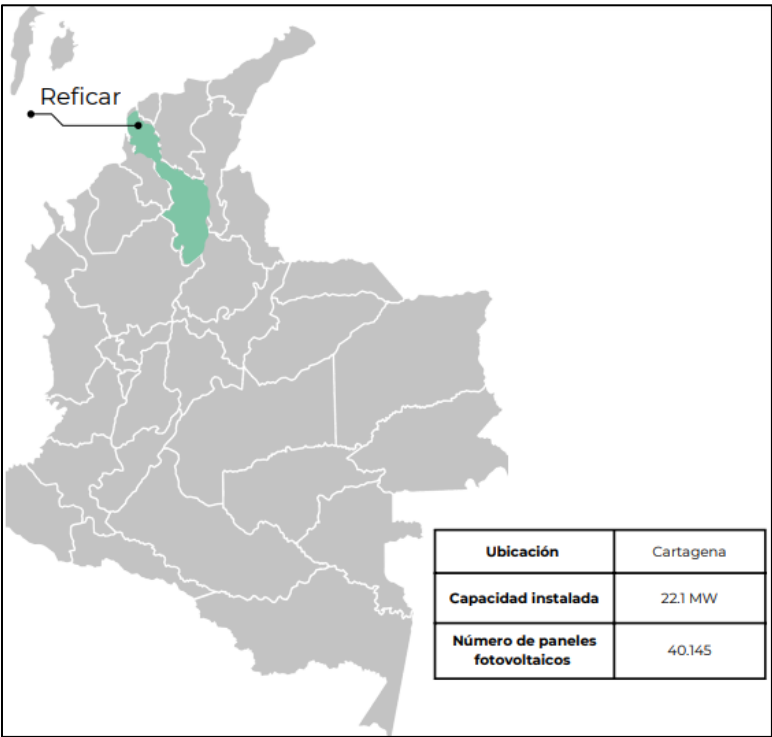
5.2.1.5 Refinería Reficar. Ecopetrol, empresa a cargo de una de las refinerías más grandes e importantes del país sigue contribuyen a la diversificación de la matriz energética y su compromiso con la descarbonización, por eso en el segundo semestre del año regente inauguro el primer parque solar dentro de una refinería en Latinoamérica, además de ser el primer proyecto que ejecuta la compañía.

El parque solar se encuentra instalado dentro del complejo y cuenta con una extensión de 19.9 hectáreas, en las que hay instalados 40.146 paneles. Esta granja solar cuenta con una capacidad de 22.1 MW y según estadísticas de la empresa se espera que entre anualmente cerca de 34,4 millones de kilovatios hora (Ecopetrol, 2024).

El objetivo de la construcción de esta granja por parte de Ecopetrol es suplir un porcentaje del uso de energía que se tiene en la refinería, dado que actualmente el suministro que se tiene es basado en gas y vapor, con este proyecto se espera suplir la autogeneración de gas por energía calórica (La República, 2024).

Figura 33

Refinería de Cartagena, Reficar



Nota. Elaboración propia basado en información de Ecopetrol.

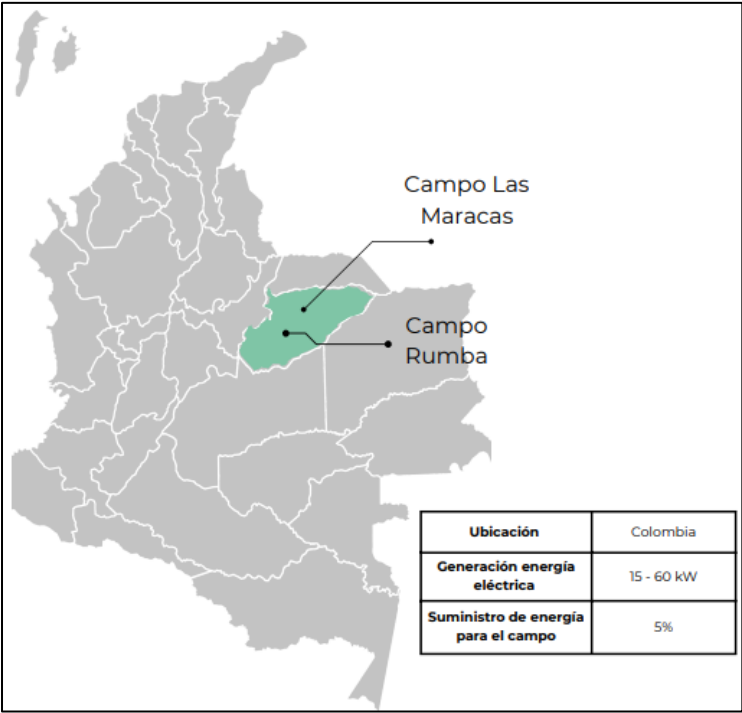
5.2.1.6 Ecoparque geotérmico La Rumba y Maracas. En busca de promover la transición energética y la coexistencia con la industria de los hidrocarburos, el Gobierno Nacional, el Ministerio de Minas y energía autorizo a la empresa canadiense Parex Resources el primer piloto para la generación de energía eléctrica mediante geotermia (Piensa Geotermia, s.f).

El objetivo principal de este proyecto se enfoca en la coproducción de hidrocarburos y energía eléctrica limpia a partir del potencial calórico de las aguas de producción generadas en dos bloques de Parex, donde se proyecta una capacidad de generación eléctrica de entre 15 y 60 kW, además de tener la posibilidad de que esta se pueda extender a 102 KW, según los informes de Parex (País Minero, s.f).

Este proyecto se desarrolla en el departamento del Casanare, Colombia, en los campos Las Maracas y Campo Rumba. La finalidad de este piloto es el aprovechamiento de las altas temperaturas y volúmenes de agua que se producen en estos campos en la extracción de hidrocarburos, además de generar 100kW aproximadamente para satisfacer un porcentaje de energía de los equipos que se utilizaran en el campo para la producción de energía geotérmica.

Figura 34

Ecoparque geotérmico Parex, Casanare



Nota. Elaboración propia basado en información de Parex.

5.2.1.7 Ecoparque geotérmico Chichimene. Para la diversificación de la matriz energética colombiana, Ecopetrol realiza su primer proyecto piloto de generación de energía geotérmica ubicado en Acacias, Meta. Este proyecto busca suministrar energía para diversas operaciones de la empresa en el área, la capacidad de este piloto es de 2 MW y se espera una generación de 38.400 kWh/día (Ecopetrol, 2021).

5.2.1.8 Parque solar Canal del Dique. Proyecto de generación solar ubicado en el departamento de Bolívar, municipio de Arjona, con una capacidad instalada de 5.6 MW y con 12.330 paneles solares instalados (Solmic, 2023).

Este proyecto dirigido por la empresa Enerland, cuenta con una producción anual de 11.420 MWh, los cuales buscan reducir la emisión de 6.600 toneladas de dióxido de carbono al año (Enerland, 2021). Su objetivo principal es suministrar energía eléctrica a las estaciones de bombeo de agua cruda de la región. Aunque este proyecto no se sitúa en el abastecimiento energético de un campo petrolero, es un claro ejemplo de que en todas las industrias se puede implementar el uso de energías renovables para su suministro de energía.

6. Estrategias, retos y oportunidades de la transición, descarbonización y coexistencia en la política energética del país

Por último, es importante destacar que la transición energética enfrenta siete retos a nivel político, económico y social en los que se destaca: primero, la descarbonización, que implica la sustitución de los combustibles fósiles por fuentes de energía renovable; segundo, la reducción de costos, ya que los precios de la energía eléctrica serán competitivos en comparación con el mercado actual; tercero, la descentralización, debido a que las nuevas fuentes de energía renovable pueden darse a pequeña escala como un sistema de autoproducción; cuarto, la flexibilidad, referida a la integración de las diferentes tecnologías solar, eólica, biomasa, mareomotriz en las que se garantice la continuidad del suministro eléctrico y se evite la interrupción en las actividades cotidianas.

Como quinto, el almacenamiento de energía, el cual permite la captura de la energía disponible y entregarla en el momento en que sea requerida por los usuarios; sexto, la digitalización, en donde se propone el desarrollo de nuevas tecnologías de la información como el internet de las cosas, el big data, y finalmente, el empoderamiento del consumidor, a través de una participación más activa que promueva la transición energética a partir de una filosofía de desarrollo sostenible, una de las mejores oportunidades que emerge en la actualidad para contar con usuarios mejor informados es la digitalización (Bejerano y Jové-Llopis, 2019).

Actualmente, es evidente que se ha iniciado una migración hacia el uso de los recursos renovables y la descarbonización de las matrices energéticas en aras de cumplir los objetivos establecidos en los distintos acuerdos climáticos internacionales que se han desarrollado a lo largo de los años. Colombia se ha sumado a esta transformación mediante la elaboración de hojas de

ruta, planes energéticos nacionales y la implementación de proyectos a gran escala, como se evidencia en el objetivo anterior, con el fin de alcanzar los objetivos climáticos comunes.

Como se mencionó anteriormente, en 2019 las emisiones de CO₂-eq aumentaron +/- 6.6 Gt respecto al 2010, pero las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles y procesos de la industria disminuyó un 0.3 % anual entre 2010 y 2019 debido al cambio del carbón por el gas y al aumento del uso de las energías renovables. A pesar de que Colombia no sea un gran aportante a las emisiones de CO₂, al ser un país en desarrollo se busca que implemente soluciones que permitan cumplir los objetivos climáticos acordados y ser eficiente energéticamente.

La eficiencia energética se define como la capacidad de reducir el consumo de energía durante la realización de una tarea o la generación de un resultado mediante el uso de tecnologías que permitan esta reducción sin comprometer la calidad o el rendimiento de los procesos, productos o servicios. La eficiencia energética garantiza que cada nación optimice su consumo de energía, tenga suficiente energía para su población y tenga seguridad al usar nuevas tecnologías.

El estudio del panorama energético mundial permite evidenciar los esfuerzos que se están llevando a cabo con el fin de satisfacer la demanda energética incluyendo cada día más el uso de energías renovables y aumentando el uso de gas natural por el carbón.

En Colombia, el ente encargado de la planeación energética, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) presentó el “Plan Energético Nacional 2020-2050: La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible.” el cual busca definir una visión a largo plazo para el sector energético colombiano e identificar las posibles vías para alcanzarla (PEN 2020-2050, 2021).

El PEN tiene como finalidad plantear opciones que permitan moldear los futuros escenarios energéticos del país mediante la implementación de estrategias basadas en tecnologías emergentes

y escenarios económicos teniendo en cuenta el diagnóstico del sector, la demanda de energía, las políticas y seguridad energética. Es importante enfatizar que el PEN actúa como punto de apoyo y no determina el camino del sector energético, pues es necesario con el avance en todos los campos y el surgimiento de nuevos retos, que se estén verificando las acciones planteadas en pro de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y cumplir con la política energética para reducir el cambio climático.

También, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Ministerio de Minas y Energía, y con el apoyo del Proyecto Materias Primas y Clima -MaPriC-, implementado por la Cooperación Alemana para el Desarrollo GIZ y financiado por el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de la República Federal de Alemania firmaron el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del sector minero energético (PIGCCmE 2050).

El PIGCCmE 2050 tiene como objetivo permitir el cumplimiento de los siguientes lineamientos: I). la articulación de política energética con la política climática nacional, II). habilitar oportunidades que faciliten el cumplimiento de las metas de cambio climático y III). crear espacios donde la academia y la sociedad sean contribuyentes al cambio, por esto, se considera como un soporte de la Ley de Transición Energética (*pigccme.minenergia.gov.co, 2021*). Con el fin de alcanzar los lineamientos anteriormente mencionados, se tienen preparadas tres fases que se desarrollarán con la temporalidad de una década, las fases se observan en la Figura 35:

Figura 35

Estrategia de largo plazo para la carbono neutralidad y resiliencia climática del sector minero energético



Nota. Tomado de *pigccme.minenergia.gov.co*, 2021, p.1

Una de las políticas acogidas en el gobierno actual es la de la Transición Energética Justa (TEJ), esta política está basada en cuatros aspectos fundamentales: I) equidad, II) gradualidad, soberanía y confiabilidad, III) participación social vinculante, y IV) conocimiento. Estos cuatro principios contribuyen al avance en la estrategia de desarrollo sostenible del país, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Estos principios dieron paso al planteamiento de los siguientes pilares que buscan una transformación energética que permita habilitar el desarrollo sostenible del país. Los pilares tienen dos objetivos; uno habilitador y el otro de resultados, los cuales dan una visión de la meta a la que se pretende llegar, a continuación, en la Figura 36 se muestran los pilares y su resultado estratégico y respectivo alcance.

Figura 36*Pilares*

Pilar 1. Seguridad y confiabilidad del abastecimiento	
Resultado estratégico:	Aprovisionamiento seguro y confiable de energéticos para la demanda nacional.
Alcance:	Contar con un sistema energético que tenga la capacidad de abastecer, transportar y distribuir los energéticos requeridos para satisfacer la demanda de manera confiable, segura y eficiente.
Pilar 2. Adaptación y mitigación del cambio climático	
Resultado estratégico:	Reducción de emisiones de GEI y gestión de riesgos asociados al cambio climático.
Alcance:	Promover cambios para que el sistema energético contribuya con la reducción de emisiones de GEI y a adaptarse a los riesgos asociados a la variabilidad climática.
Pilar 3. Competitividad y desarrollo económico	
Resultado estratégico:	Uso de la mejor tecnología disponible para el aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos.
Alcance:	Consolidar un entorno de mercado que integre nuevas tecnologías para hacer un uso eficiente de los energéticos, con miras a mejorar la competitividad y aportar al desarrollo económico del país.
Pilar 4. Conocimiento e innovación	
Resultado estratégico:	Gestión de conocimiento enfocado en la promoción de la transición energética y el desarrollo sostenible.
Alcance:	Fortalecer el capital humano, la promoción de soluciones y tecnologías innovadoras y el aumento de las inversiones en proyectos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) que potencialicen la transformación energética colombiana.

Nota. UPME, Actualización PEN 2022 – 2052, 2023.

Un objetivo del pilar 1 es fomentar la diversificación de la matriz energética del país. La transformación de la matriz energética del país será un proceso gradual y lento que requerirá la colaboración del sector privado, de las grandes empresas y de la sociedad colombiana en su conjunto. La adopción completa de nuevas tecnologías requerirá tiempo y esfuerzo. Es importante señalar, sin embargo, que estos hallazgos no significan la erradicación completa del uso de los combustibles fósiles y sus derivados, sino una reducción progresiva de la dependencia de estos.

La inserción de nuevas tecnologías generará negocios y nuevas oportunidades que permitan desarrollar posibilidades para la investigación, formación e innovación. Esto, a su vez, atraerá inversiones que contribuirán al crecimiento de la economía del país. Existen diferentes tipos de

escenarios prospectivos energéticos y de mitigación que ayudan a gobiernos y organizaciones a prever y estar preparados para diversos futuros, donde se consideran los cambios políticos, sociales, económicos y tecnológicos.

El escenario energético permite analizar, discutir y orientar sobre las decisiones y sus posibles impactos tanto en el sector público como en el privado y el escenario de mitigación se centra en la planificación de estrategias que permitan reducir o mitigar los impactos negativos del cambio climático, disminuyendo así los efectos que pudieran ser muy severos debido a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para presentar los escenarios tanto prospectivos energéticos como de mitigación se presentan las Tablas 9 y 10 donde se podrá encontrar un resumen de lo que plantea cada uno de ellos.

Tabla 9*Escenarios prospectivos energéticos*

ESCENARIO	PROYECCIÓN AL 2052
Escenario 1: actualización	Alineación con las tendencias mundiales y avance de manera significativa hacia el uso y actualización de nuevas tecnologías en el sector producción, transporte y energía. Se adoptan medidas que permiten la diversificación de la matriz, combatir el cambio climático y promover la eficiencia energética, se espera que se adopten tecnologías en el ámbito de las redes eléctricas para reducir las pérdidas técnicas y tener un mayor control.
Escenario 2: modernización	Adopción de tecnologías y energéticos con un menor impacto ambiental. Se buscan aprovechar los recursos energéticos del país gasificando los sectores que sea conveniente. Las medidas de eficiencia energética alcanzan el 80% de las metas del PAI-PROURE, mucho más que en el escenario de Actualización.
Escenario 3: inflexión	El uso de energía eléctrica aumenta exponencialmente y reduce la tendencia histórica de consumo de combustibles fósiles. Se alcanza 100 % de los potenciales identificados en el PAI-PROURE 2022-2030, y se establecen metas que se extienden hasta el final del período de análisis siendo un país exportador de energía.
Escenario 4: disrupción	Se realizan inversiones significativas en nuevas tecnologías, a pesar de encontrarse en etapas tempranas de desarrollo, con el fin de impulsar la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible. Se reduce la producción de petróleo y gas y se hace necesario tener infraestructura que permita importar gas para mantener el suministro. Se propone superar las metas establecidas en el PAI-PROURE.
Escenario 5: transición energética	Este escenario acelera el proceso de transformación del sistema energético colombiano, en su forma de producción, consumo y participación. Se apuesta por nuevas tecnologías y fuentes de energía con un nivel de madurez avanzado, junto con nuevos esquemas de mercado que garanticen seguridad energética, competitividad y protección ambiental (MME, Hoja de Ruta de la TEJ).

Nota. Elaboración propia con base en *UPME, Actualización PEN 2022 – 2052, 2023*

Tabla 10*Escenarios de mitigación*

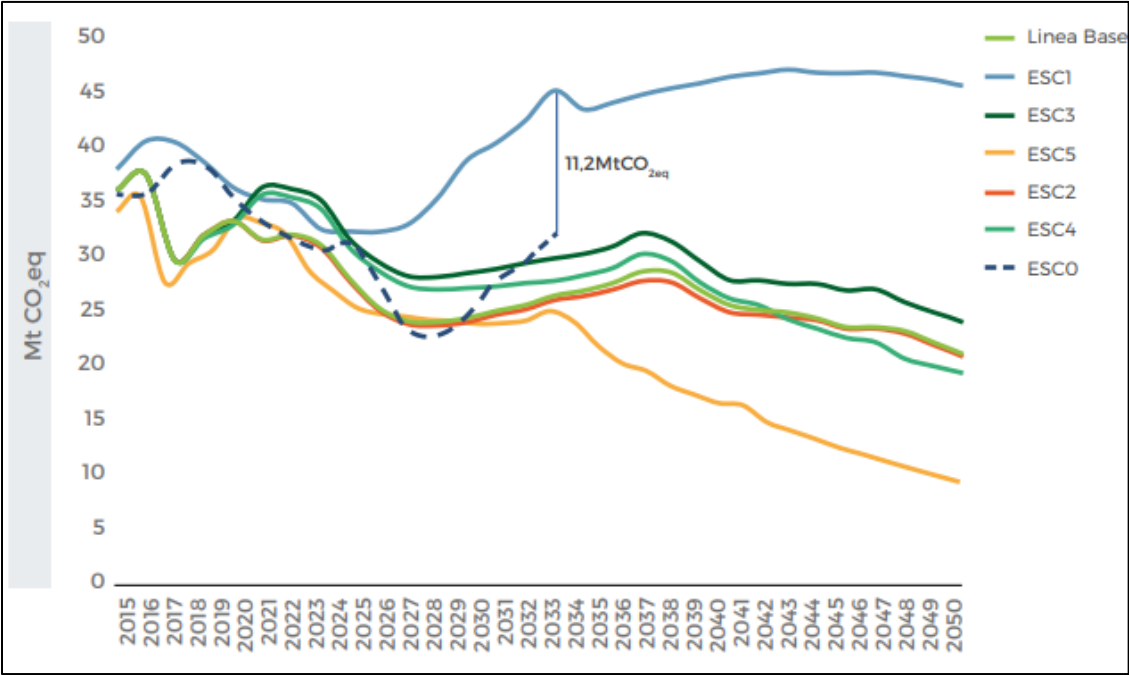
ESCENARIO	ENFOQUE
Escenario 0	Es el escenario que plantea las medidas tomadas para el año 2030, con el objetivo de hacer seguimiento a la meta de reducción de emisiones del sector a este año (11,2 Mt CO ₂). Adicionalmente, se propone el sistema que permitirá realizar la proyección de variables que están relacionadas directamente con las proyecciones realizadas por el Ministerio.
Escenario 1	Presenta las propuestas del sector energético colombiano para cumplir los objetivos climáticos. La matriz energética es definida por el escenario de actualización del PEN 2050 (UPME, 2021).
Escenario 2	Prevé la adopción de tecnologías con los mejores rendimientos energéticos del mundo para 2050. La matriz energética es definida por el escenario de modernización del PEN 2050 (UPME, 2021).
Escenario 3	Mayores ambiciones en cuanto a la electrificación de la economía, en términos de descarbonización. La matriz energética es definida por el escenario de inflexión del PEN 2050 (UPME, 2021).
Escenario 4	Destaca la entrada de hidrógeno verde como energético y como recurso de generación en la oferta de energía del país. La matriz energética es definida por el escenario de disrupción del PEN 2050 (UPME, 2021). Escenario más ambicioso del PEN.
Escenario 5	Busca contemplar todas las medidas disponibles de mitigación, incluyendo la tecnología de Captura, Uso y Almacenamiento de Carbono (CCUS) a partir del año 2040 y aumentar la autogeneración con FNCER en los sectores de hidrocarburos y minería de carbón, en busca de mejorar la eficiencia energética en los procesos de extracción.

Nota. Tomado de *pigccme.minenergia.gov.co*, 2021.

La Figura 37 muestra el comportamiento previsto de las Mt CO₂-eq para los escenarios de mitigación planteados hasta el 2050.

Figura 37

Línea base y escenarios de mitigación del sector a 2050



Nota. Tomado de pigccme.minenergia.gov.co, 2021.

6.1 Desafíos del sector energético colombiano

El PEN plantea 5 desafíos principales a los que se debe enfrentar el sector energético colombiano para llegar a cumplir con los objetivos climáticos y energéticos que tiene como meta para el 2050. Estos desafíos se encuentran resumidos en la Tabla 11.

Tabla 11*Desafíos del sector energético*

DESAFÍO	ENFOQUE
Desafío 1: Disponibilidad de recursos energéticos locales, cobertura universal y mejoras en calidad del servicio.	A lo largo de los años, Colombia, ha sido autosuficiente energéticamente, sin embargo, con las nuevas proyecciones a largo plazo se prevé que esto puede terminar. El primer reto del sector energético es aprovechar sus recursos y realizar inversiones que permitan el abastecimiento de la demanda local de energía de una manera confiable, sostenible y asequible, para de esta manera reducir la brecha de calidad en el servicio prestado y los estándares internacionales.
Desafío 2: Brecha tecnológica y uso eficiente de los recursos energéticos.	Aumentar la eficiencia energética en la sociedad implica aumentar su potencialidad, pues se reducen los costos y se aumenta la productividad, para esto es necesario disminuir la brecha tecnológica y así lograr hacer una reconversión. Los mayores retos a los que se enfrenta la reconversión es lograr el potencial de eficiencia energética, la difusión de información y la financiación de la nueva tecnología.
Desafío 3: Mitigación y adaptación al cambio climático.	El cambio climático es el mayor desafío que enfrenta la humanidad en estos tiempos, Colombia tiene compromisos de reducción de GEI que se pretenden lograra diversificando la matriz energética y mejorando la eficiencia energética, por lo que si se quiere llegar al objetivo se debe pensar en una infraestructura energética que pueda adaptarse a los cambios externos que se puedan presentar.
Desafío 4: Cambios estructurales en el sector energético asociados a la digitalización y la descentralización.	La descentralización (paso de un sistema unidireccional a uno multidireccional debido a una mayor disponibilidad de recursos) , la digitalización (uso y aplicación masivo de las tecnologías en pro de mejorar la productividad) y la descarbonización han sido calificados como las 3D (WEC, 2017), que permitirán los cambios estructurales necesarios y trabajar con más información, pero tiene como reto trabajar en estos tres frentes; desarrollo de capacidades, gobernanza y calidad de los datos, ciberseguridad para así empoderar a los consumidores.
Desafío 5: Pandemia y la toma de decisiones bajo incertidumbre.	El último reto que tiene el sector energético es superar y analizar los efectos que puedan ser generados por futuras crisis de salud (como otra pandemia), económicos, políticos y sociales, y así crear planes a corto y largo plazo que permitan atraer capital para costear futuras inversiones y tener respuestas rápidas para que la economía no se vea afectada de manera drástica.

Nota. Elaboración propia con base en UPME, *Plan Energético Nacional 2020 – 2050*, 2021.

Colombia enfrenta otros obstáculos o dificultades en su progreso hacia la transición energética, que se centran en el desarrollo humano y la posible resistencia al cambio, como los siguientes:

- **La falta de cooperación entre el gobierno nacional y local:** la falta de cooperación puede causar una fragmentación en el desarrollo de los proyectos, lo que puede llevar a que los objetivos establecidos no se alineen con las metas comunes para los sectores involucrados.
- **Poca capacitación en el personal nacional:** Al enfrentarse a nuevos desafíos con la implementación de tecnologías desconocidas, también se encuentra la falencia en la formación y el desarrollo de los trabajadores ejecutantes, esto limita la ejecución y gestión eficiente de los proyectos.
- **Capacidad financiera baja:** este obstáculo limita la inversión en nuevos proyectos, estrategias y tecnologías, lo que tiene un impacto en el progreso de estos y en el cumplimiento de los objetivos climáticos.
- **Resistencia a nuevos proyectos:** Los sectores involucrados o partes interesadas pueden oponerse a la implementación de nuevos proyectos y estrategias innovadoras, lo que puede causar dificultades o retrasos en su ejecución.

6.2 Oportunidades del sector energético colombiano

Las oportunidades de Colombia para avanzar en la transición energética son realmente significativas si se tiene en cuenta su potencial de recursos renovables, diversidad geográfica y el apoyo político que se le está brindando al logro de los objetivos climáticos. Algunas de las oportunidades principales son:

- **Desarrollo e implementación de infraestructura energética:** Con el fin de integrar de manera eficiente y sostenible las energías renovables a la red eléctrica del país,

se crea la oportunidad estratégica para invertir en la modernización de la infraestructura eléctrica existente. Esto incluye el desarrollo de redes inteligentes y sistemas que permitan un mejor almacenamiento de energía, que le darán al país una gestión más eficaz de la energía renovable optimizando su utilización y mejorando la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico nacional.

- **Recursos renovables abundantes:** Existe una oportunidad estratégica para invertir en la modernización de la infraestructura eléctrica existente con el objetivo de integrar de manera eficiente y sostenible las energías renovables a la red eléctrica del país. Esto permitirá administrar más eficientemente la energía renovable al optimizar su uso y mejorar la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico del país.
- **Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles:** Gracias al potencial de sus fuentes de energía renovable, es más sencillo aprovechar la transición para diversificar la matriz energética y lograr la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles. Esto se debe a factores como la variación continua de los precios y el objetivo de reducir las emisiones. Si Colombia aprovecha esta oportunidad, podría establecerse como un líder en la región en cuanto a la sostenibilidad.
- **Financiamiento internacional:** Colombia, al ser un país en desarrollo cuenta con oportunidades internacionales de inversión en proyectos climáticos y sostenibles, existen muchas entidades (organizaciones, bancos, países) interesadas en apoyar la transición energética con financiamiento de nuevas tecnologías e infraestructura de desarrollo.
- **Marco político:** A lo largo de los años en Colombia se han implementado diversas políticas y marcos regulatorios en pro de la inversión de energías renovables, mitigación del cambio climático y ser más eficientes energéticamente. Estas políticas le dan al país la

oportunidad de que las empresas del sector privado inicien también una inversión para cumplir lo planteado en cada ley.

- **Capacidades técnicas y educativas:** Las inversiones internacionales que puedan llegar al país no se limitan solo a lo económico, debido al innegable avance de los países desarrollados en el tema de las nuevas tecnologías, se hace necesaria también una inversión de conocimiento humano que permita fortalecer el sector de la investigación y capacitación de los profesionales en las tecnologías emergentes.
- **Potencial proyectos hidrógeno verde:** Dada la posición geográfica de Colombia y sus abundantes recursos renovables el desarrollo de proyectos de hidrogeno verde se ve como una clara oportunidad de avance en la descarbonización de diversos sectores industriales.
- **Nuevos nichos de negocio:** La diversificación de la matriz energética e inclusión de nuevas tecnologías le permitirá al país generar nuevas oportunidades de negocio con proyectos centrados en lo relacionado con la inserción de energías renovables y mitigación del cambio climático.
- **Avance en la Digitalización, comunicaciones y tecnologías de la información:** Con la inserción de nuevas tecnologías se crea la oportunidad de transformación de la sociedad, mejorando la eficiencia, creando una reducción de costos e impulsando la innovación y el desarrollo sostenible de los sectores industriales.
- **Migración hacia un esquema de planeación integral:** La oportunidad de tener un marco estratégico que le permita al país crear una guía y evaluación de los planes de acción que a largo plazo permitirán alcanzar los objetivos climáticos propuestos de una manera eficiente y alineados con una determinada visión.

En resumen, estas son algunas de las oportunidades que Colombia como país tiene, su potencial para ser líder de la transición energética es grande gracias a sus recursos, sus políticas y el acceso al financiamiento de los proyectos planteados.

7. Conclusiones

Se logró evidenciar un creciente interés en la producción de estudios sobre la transición, coexistencia y descarbonización en la industria de los hidrocarburos a nivel mundial y cómo esta debe abordar los cambios derivados de la transición energética, del 2018 al 2023 el aumento fue del 255 % en producción de documentos relacionados, pero aún es imperativo ampliar los estudios en diversos escenarios energéticos y tener en cuenta la viabilidad de su uso en diferentes operaciones con el fin reducir las emisiones de carbono y gestionar la transición hacia fuentes de energía más limpias, ya que todo el continente Americano representa tan solo el 23 % de las producciones literarias del último año.

Actualmente, los objetivos planteados en cada uno de los acuerdos no se están alcanzando en su totalidad. Los países que forman parte de los tratados (París, Kyoto o COP) como: China, USA, India, Rusia, Japón, Canadá, Brasil, Corea del Sur, Alemania e Irán (los 10 con mayor número de emisiones a nivel mundial) enfrentan dificultades para efectuar una transición efectiva en sus matrices energéticas, como reflejan los datos del (Energy Institute Statistical Review of World Energy), donde se puede evidenciar que a pesar de que el porcentaje de emisiones esté reduciendo, la matriz energética mundial depende en más del 50 % de combustibles de origen fósil.

Los países señalados anteriormente deben intensificar sus esfuerzos para cumplir los objetivos climáticos determinados los cuales buscan la mitigación de las emisiones de GEI, para esto han creado diversas alternativas que buscan permitir cumplir las metas, una de las soluciones planteadas es la implementación de proyectos de coexistencia de energías renovables en campos petroleros como los evidenciados en el capítulo 5, donde se observa la ejecución y los resultados en cuanto a reducción de emisiones.

Se deben establecer mecanismos de monitoreo y evaluación que permitan medir el avance hacia los objetivos de descarbonización de manera más minuciosa y recurrente. Esto incluye la recopilación de datos sobre emisiones, el seguimiento de proyectos de energía renovable y la evaluación de políticas implementadas.

Mientras tanto, los efectos del cambio climático continúan intensificándose y volviéndose cada vez más devastadores. Por tanto, es necesario implementar programas de educación y capacitación para preparar a la sociedad en el uso de nuevas tecnologías y prácticas sostenibles. Esto no solo ayudará a crear empleo en el sector de energías renovables, sino que también garantizará que la transición energética sea inclusiva y beneficie a todas las comunidades.

Es fundamental aumentar la inversión en proyectos de energías renovables, especialmente en granjas solares y eólicas. Esto puede lograrse a través de incentivos fiscales, subsidios y financiamiento accesible para desarrolladores de proyectos. La creación de un fondo nacional para energías renovables podría ser una estrategia efectiva para canalizar recursos hacia estas iniciativas, también se debe buscar participar activamente en iniciativas internacionales y alianzas que permitan el intercambio de conocimientos y tecnologías en el ámbito de la energía renovable y la sostenibilidad. Colombia puede beneficiarse de la experiencia de otros países que han avanzado en la transición energética y aplicar lecciones aprendidas a su propio contexto.

Incluir fuentes de energías renovables en campos petroleros representa una solución clave para la transición hacia una industria más sostenible y eficiente, en Colombia menos del 10 % de los campos productores de hidrocarburos han incluido algún tipo de fuente de energía renovable en su esquema de producción. La combinación de energías renovables con la producción de hidrocarburos no solo reduce el uso de combustibles fósiles en las operaciones, sino que también mitiga las emisiones de gases de efecto invernadero y minimiza el impacto ambiental asociado.

Como se mostró en las experiencias registradas a nivel mundial y en Colombia, se evidencia que el uso de estas fuentes de energía a largo plazo ayuda a reducir las emisiones de dióxido de carbono en campo, además de plantear escenarios donde se mejora la eficiencia general de sus instalaciones y operaciones, permitiendo la reducción de costos operativos a largo plazo.

Colombia enfrenta diversos retos y desafíos para cumplir los objetivos climáticos que se ha planteado en los últimos años. Como país en desarrollo, aún carece de una economía que le permita ser autosuficiente en términos de inversiones para proyectos de gran escala o la incorporación de tecnologías avanzadas. Sin embargo, las estrategias diseñadas por el gobierno nacional y de la mano con el sector privado ofrecen múltiples oportunidades que le dan al país la posibilidad de cumplir la meta de ser carbono neutral a 2050 y diversificar la matriz energética a una más limpia y eficiente.

8. Recomendaciones

Con el fin de continuar profundizando en esta temática, se plantean las siguientes recomendaciones:

Desarrollar un marco estratégico que permita visualizar a largo plazo cómo debería ser la inserción de una energía renovable en un campo petrolero y donde se tenga en cuenta la integración de políticas públicas, económicas, sociales, ambientales y de infraestructura del lugar en el que se desee realizar un proyecto.

Realizar un análisis de oportunidad/beneficios de casos exitosos a nivel mundial donde se muestre la efectividad del establecimiento de alianzas entre empresas del sector de hidrocarburos y desarrolladores de energía renovable, los parámetros que se tuvieron en cuenta para la ejecución y el impacto que generó en el campo o zona de implementación.

Profundizar en el potencial de energías renovables en Colombia, sus aplicaciones y eficiencia en los diferentes sectores industriales del país, además buscar nuevas tecnologías referentes a la transición energética que se puedan adaptar en la industria de los hidrocarburos.

De manera general, se recomienda que el gobierno y las instituciones académicas inviertan en investigación y desarrollo de tecnologías renovables y eficiencia energética, ya que esto ayudará no solo a acelerar la transición energética, sino también generará nuevas oportunidades económicas y laborales.

9. Referencias

(El Cambio Climático, En Datos y Gráficos, s. f.) El cambio climático, en datos y gráficos.

(s. f.). <https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447>

(S/f-a). Gov.co. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de

<https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24226685/MemoriasCongresoMME-2020.pdf>

(S/f-b). Gov.co. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de

https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVABLES_WEB.pdf

¿Colombia tiene potencial en fuentes de energía renovables? (s/f). Cocier.org. Recuperado el 24

de agosto de 2024, de <https://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/1707-colombia-tiene-potencial-en-fuentes-de-energia-renovables>

2 much. (2022b, abril 15). IPCC AR6 Mitigación del cambio climático. Parte 1: ¿Dónde estamos

y a dónde vamos? <https://es.linkedin.com/pulse/ipcc-ar6-mitigaci%C3%B3n-del-cambio-clim%C3%A1tico-parte-1-d%C3%B3nde-estamos->

2021 - Canal del Dique - Enerland Energía Renovable. (2021, noviembre 11). Enerland

Energía Renovable; Enerland Group. <https://www.enerlandgroup.com/es/project/canal-del-dique/>

Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAS) -. (2022, 18 enero).

<https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/acciones-nacionalmente-apropiadas-de-mitigacion/#tabs-3>

AES Colombia. (2021, abril). Inauguración parque Castilla Solar.

[https://www.aescol.com/sites/default/files/2021-04/CP%20-](https://www.aescol.com/sites/default/files/2021-04/CP%20-%20Inauguraci%C3%B3n%20Parque%20Castilla%20Solar%20AES%20Colombia.pdf)

[%20Inauguraci%C3%B3n%20Parque%20Castilla%20Solar%20AES%20Colombia.pdf](https://www.aescol.com/sites/default/files/2021-04/CP%20-%20Inauguraci%C3%B3n%20Parque%20Castilla%20Solar%20AES%20Colombia.pdf)

Alarcón Guevara, L. M. & Baracaldo Camacho, P. V. (2022). GUÍA DE FORMULACIÓN DE PROYECTOS EMPRESARIALES PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA.

Secretaría Distrital de Ambiente.

ANH. (2022). Datos y estadísticas: producción diaria de petróleo. Agencia Nacional de

Hidrocarburos. <https://www.anh.gov.co/es/operaciones-y-regalías/datos-y-estadisticas/>

Bermejo, R. (2013). Ciudades postcarbono y transición energética. Revista de Economía Crítica, (16), 215-243.

Bloomberg News, Chevron's solar-powered oil extraction begins in California, Available:

<http://www.mercurynews.com/2011/10/03/chevronssolar-powered-oil-extraction-begins-in-california/>, (assessed 06 Sep 2016)

Brief, S. E. I., & Marzo, M. C. (s/f). Energía solar y eólica en Colombia: panorama y resumen de políticas 2022. Sei.org. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2023/03/solar-eolica-colombia-sei2023.016.pdf>

British Geological Survey. (2023, 5 abril). The greenhouse effect - British Geological Survey.

[https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/climate-change/how-does-the-greenhouse-effect-](https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/climate-change/how-does-the-greenhouse-effect-work/#:~:text=The%20contribution%20that%20a%20greenhouse,it%20is%20in%20the%20atmosphere.)

[work/#:~:text=The%20contribution%20that%20a%20greenhouse,it%20is%20in%20the%20atmosphere.](https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/climate-change/how-does-the-greenhouse-effect-work/#:~:text=The%20contribution%20that%20a%20greenhouse,it%20is%20in%20the%20atmosphere.)

- British Petroleum. (2021). Statistical Review of World Energy. BP Energy Outlook 2021, 70, 1–72. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- Camps D. Limitaciones de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la actividad científica biomédica, Colombia Médica 2008; 39(1): 74-79.
- Catalina. (s/f). Las cuatro petroleras que apuestan por las Energías Renovables – SER COLOMBIA. Ser-colombia.org. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de <https://ser-colombia.org/2022/menciones-en-prensa/las-cuatro-petroleras-que-apuestan-por-las-energias-renovables/>
- Caviedes, M. (2017, agosto 28). La Guajira, todo un potencial energético. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/la-guajira-todo-un-potencial-energetico-123500>
- Choi, Y., Lee, C., & Song, J. (2017). Review of Renewable Energy Technologies Utilized in the Oil and Gas Industry. Int.J.Renew.Energy Research J.Renew. Energy Research, 7(2), 7.
- Choudhary y Sangwan, 2022; Maditati et al., 2018.
- Conoce algunos de los proyectos de energía solar en Colombia. (2022, agosto 1). Solmic.co. <https://www.solmic.co/panorama-de-los-proyectos-de-energia-solar-en-colombia>
- COP28: principales conclusiones | Pacto Mundial de la ONU. (2023, 19 diciembre). Pacto Mundial. <https://www.pactomundial.org/noticia/cop28-el-inicio-del-fin-de-los-combustibles-fosiles/> (The Independent) (World Economic Forum) (Carbon Brief).
- Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética. Ciencia política, 13(25), 107-125.

cumbres del clima. ()).

https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/clima_y_energia/cambio_climatico/cumbres_del_clima/

D. Nilsson, A. Westin, “Floating wind power in Norway Analysis of future opportunities and challenges”, MS Thesis, Lund University, Sweden, pp.1-153, 2014.

Datos sobre producción eléctrica. (s/f). Enerdata.net. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de <https://datos.enerdata.net/electricidad/estadisticas-mundiales-produccion-electricidad.html>

De potencia instalada, •. Con 61 M. W., & de Colombia., el P. S. F. S. se C. en la I. de A. S. M.

G. (s/f). AES Colombia inaugura el parque San Fernando Solar. Aescol.com. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de <https://www.aescol.com/sites/default/files/2021-10/AES%20Colombia%20inaugura%20el%20Parque%20San%20Fernando%20Solar%20-%202022102921.pdf>

Detalle noticia · Starter Portal. (s/f). Com.co. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de <https://www.refineriadecartagena.com.co/es-ES/Noticias/Detalle-noticia/?id=4abfbc06-33fb-ee11-a1ff-00224805c692>

Diario La República. <https://www.larepublica.co/economia/ecopetrol-entrego-ecoparque-solar-de-22-1-megavatios-construido-dentro-de-reficar-3839538>

E. Hussain, World's First Commercial Solar EOR Project begins, Available:

<http://www.arabianoilandgas.com/article-8545-worldsfirst-commercial-solar-eor-project-begins/>, (assessed 17 Dec 2016).

Ecopetrol entregó ecoparque solar de 22,1 megavatios construido dentro de Reficar. (2024, abril

Ecopetrol y AES inauguraron ecoparque solar en Huila. (s/f). Com.co. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de

<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/ecopetrol-y-aes-inauguraron-ecoparque-solar-en-huila>

El Bloque Llanos 34 operado por GeoPark se abastece con energía 100% renovable. (2022, junio

EL TIEMPO. (2021, 30 noviembre). Cómo avanza Colombia hacia la descarbonización | El Tiempo [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=JPAW8qd8bo0>

Energy Institute. (s. f.). Home. Statistical Review Of World Energy 2023. <https://www.energyinst.org/statistical-review>

Estadísticas de consumo energético mundial | Enerdata. (s. f.). <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>

Estévez-Bretón, J. B. (2011). Innovación en hidrocarburos en Colombia. Revista de Ingeniería, (34), 83-85.

Fernández-Reyes, R. (2016). El Acuerdo de París y el cambio transformacional. Papeles de relaciones ecosociales y cambio global, 132, 101-114.

GeoPark logra una reducción significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y avanza en sus metas de sostenibilidad. (2023, mayo 18). GeoPark.

<https://www.geo-park.com/es/news/geopark-logra-una-reduccion-significativa-en-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-gei-y-avanza-en-sus-metas-de-sostenibilidad/>

GeoPark. <https://www.geo-park.com/es/news/el-bloque-llanos-34-operado-por-geopark-se-abastece-con-energia-100-renovable/>

Geotermia: pilotos producirían electricidad para mil familias. (s/f). Com.co. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de

<https://www.bmcbec.com.co/publicaciones/posts/noticias/noticias/geotermia-pilotos-producirian-electricidad-para-mil-familias>

Global CCS Map | SCCS Corporate. (s. f.). <http://sccs.org.uk/resources/global-ccs-map>

Grupo Ecopetrol, Cenit y AES pusieron en operación el Parque Solar San Fernando en el Meta.

(s/f). Com.co. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de

<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2021/grupo-ecopetrol-ceni-aes-inauguraron-parque-solar-san-fernando>

IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2022.

INFORME DEL INVENTARIO NACIONAL DE GASES EFECTO INVERNADERO 1990 -

2018 Y CARBONO NEGRO 2010-2018 DE COLOMBIA . Tercer informe bienal de

actualización de cambio climático, BUR3. Dirigido a la convención Marco de las

Naciones unidas sobre Cambio Climático, IDEAM, Fundación Natura, PNUD, MADS,

DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia. Intensidad de consumo

energético del PNB. (s/f). Enerdata.net. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de

<https://datos.enerdata.net/energia-total/intensidad-energetica-pib-datos.html>

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working

Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum,

M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J.

Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

doi: 10.1017/9781009157926

- La República. (2024, 1 de agosto). Ecopetrol inaugura hoy su parque solar en Castilla la Nueva, departamento del Meta. La República. <https://www.larepublica.co/economia/ecopetrol-inaugura-hoy-su-parque-solar-en-castilla-la-nueva-departamento-del-meta-2922434>
- Las energías renovables en el mundo - Datos estadísticos. (s/f). Statista. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de <https://es.statista.com/temas/8542/las-energias-renovables-en-el-mundo/>
- López Rueda, A., Rodríguez Cárdenas, A., & Niño Santos, J. E. (2020). El rol del sector de hidrocarburos en la transición energética.
- Martínez, A., & Delgado-Rojas, ME (2021). Los retos del grupo Ecopetrol y del país frente a la transición energética.
- MATTEO, C. A. (2022). Sustentabilidad Energética: un panorama en la industria petrolera global. LOGINN Investigación Científica y Tecnológica, 6(1).
- Ministerio de Minas y Energía (2020) “La Transición Energética de Colombia, Memorias al Congreso” [en línea] disponible en:<https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24226685/MemoriasCongresoMME-2020.pdf>
- Mitigación o reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. (2021, 28 enero). Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/mitigacion>
- Mora Carvajal, O. S. Transición energética en Colombia.
- Mouthón, L. (2021, junio 17). En Colombia se desarrollan pilotos de generación de energía con geotermia. El Heraldo. <https://www.elheraldo.co/economia/comienzan-pilotos-de-geotermia-en-colombia-826348>

Naciones Unidas, Treaty Series , vol. 2303 , pág. 162 UNTC. (s. f.).

https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-a&chapter=27&clang=_en

Naciones Unidas. (2015). Acuerdo de París

https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Net Zero by 2050 – Analysis - IEA. (2021, 1 mayo). IEA. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050#downloads>

Niño Villamizar, Y. A., Nieves Plata, M. E., & Cortés Jiménez, C. A. (2023). Desafíos de la transición energética sostenible: perspectivas para la investigación y la gestión. Revista Facultad De Ciencias Económicas, 31(2), 137–158. <https://doi.org/10.18359/rfce.6423>

Ojeda, D. (2014). Descarbonización y despojo: desigualdades socioambientales y las geografías del cambio climático. Desigualdades socioambientales en América Latina, 255-290.

Páez, E. G. M. (2019). Una industria cambiante.

País Minero. (n.d.). Parex recibe autorización para proyecto de geotermia en Colombia. País Minero. https://www.paisminero.com/medioambiente/tecnologias-limpias/27276-parex-recibe-autorizacion-para-proyecto-de-geotermia-en-colombia#google_vignette

Piensa Geotermia. (n.d.). Colombia otorga primera licencia para proyecto de coproducción de hidrocarburos y geotermia. Piensa Geotermia. <https://www.piensageotermia.com/colombia-otorga-primera-licencia-para-proyecto-de-coproduccion-de-hidrocarburos-y-geotermia/>

Potencial de Energías Renovables en La Guajira: importancia y desafíos de la transición energética – Crudo Transparente. (s/f). Crudotransparente.com. Recuperado el 24 de

agosto de 2024, de <https://crudotransparente.com/2021/04/14/potencial-de-energias-renovables-en-la-guajira-importancia-y-desafios-de-la-transicion-energetica/>

Potencial de las energías renovables en Colombia según la región. (2023, octubre 26). Cambio - El Cambio Es Posible; Cambio. <https://cambio.com.co/articulo/potencial-de-las-energias-renovables-en-colombia-segun-la-region/>

Protocolo de Kioto | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

<https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/protocolo-de-kioto>

Razo, J. (2024, mayo 8). Estos 4 gráficos muestran que el mundo acaba de alcanzar un importante hito en materia de energía limpia. CNN.

<https://cnnespanol.cnn.com/2024/05/08/energia-limpia-hito-graficos-trax/>

Resumen ejecutivo – World Energy Outlook 2023 – Analysis. (s/f). IEA. Recuperado el 24 de agosto de 2024, de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary?language=es>

Roca, J. A. (2022, noviembre 8). El mundo tiene un enorme potencial de energía renovable sin explotar. El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/el-mundo-tiene-un-enorme-potencial-de-energia-renovable-sin-explotar/>

Rojas, O. G. A. (2018, agosto 17). Ecopetrol tendrá generación solar en el campo Castilla. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/economia/empresas/proyecto-de-generacion-solar-de-ecopetrol-en-el-campo-castilla-257150>

Sandoval, Y. (2024, abril 12). Refinería de Cartagena, de Ecopetrol, inauguró su granja solar. Valora Analitik. <https://www.valoraanalitik.com/refineria-de-cartagena-de-ecopetrol-inauguro-su-primera-granja-solar/>

Soler, D. M. (s/f). Ecopetrol inauguró Las Brisas, su tercer parque solar. Portafolio.co.

Recuperado el 24 de agosto de 2024, de

<https://www.portafolio.co/negocios/empresas/ecopetrol-inauguro-las-brisas-en-huila-su-tercer-parque-solar-577574>

Solmic. (n.d.). Panorama de los proyectos de energía solar en Colombia. Solmic.

<https://www.solmic.co/panorama-de-los-proyectos-de-energia-solar-en-colombia>

T. Thompson and C. Dunn, Ft. Liard Geothermal Energy Project, Available:

<http://ecologynorth.ca/wpcontent/uploads/2011/12/Ft.-Liard-GeothermalProject.pdf>,
(assessed 17 Dec 2016).

Tercer Informe Bienal de Actualización de Colombia a la Convención Marco de las Naciones

Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). IDEAM, Fundación Natura, PNUD,

MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia

UPME, Plan Energético Nacional de Colombia 2050

V. Addison, Wind-Powered Pumps Could Lower Offshore Costs, Available:

<http://www.epmag.com/wind-powered-pumps-couldlower-offshore-costs-824466#p=full>,
(assessed 17 Dec 2016).

Viviana, M., & Castillo, O. L. (2019). Colombian energy planning-Neither for energy, nor for

Colombia. *Energy Policy*, 129, 1132-1142.

Y. Wang, M. Duan, and J. Shang, “Application of an Abandoned Jacket for an Offshore

Structure Base of Wind Turbine in Bohai Heavy Ice Conditions”, *Proceedings of the*

International Offshore and Polar Engineering Conference, Japan, p. 384, 2009.

Z. Hua, “Applied research on offshore oil field wind energy”, Northeast Asia Petroleum Forum 2009, Japan, 2009. Available: <http://eneken.iej.or.jp/seminar/hokuto/2009/7-33.pdf>, (assessed 17 Dec 2016).