

Análisis de los combustibles sintéticos como alternativa para la reducción de Gases Efecto
Invernadero en Colombia

Edwar Yarith Sequeda Ballesteros y Silvia Slendy Rueda Rueda

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero de Petróleos

Director

Harving Díaz Consuegra

Ingeniero de Petróleos y Especialista en Ingeniería Ambiental

MSc. Ingeniería de Petróleo y Gas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Quiero dedicarle este trabajo de grado y toda mi carrera principalmente a Dios, quien me ilumino con sabiduría e inteligencia para superar todas las dificultades y me trajo hasta donde estoy.

A mis padres quienes me apoyaron infinitamente desde el momento en que decidí estudiar esta carrera y con mucho esfuerzo me ayudaron a cumplir mi sueño.

A mis hermanos que han sido mi motivación a seguir adelante y cumplir mis metas.

A mi madre en especial por todo su apoyo y confianza, por siempre animarme cuando no tenía ánimos.

A los amigos que me ha dejado esta etapa universitaria, por todas las aventuras y momentos lindos.

Silvia Slendy Rueda Rueda

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico primeramente a Dios, ya que él es que me dio dicha sabiduría para poder sacar adelante este trabajo, me dio la paciencia, tiempo, dedicación, bendiciones y amor por esta carrera para poder lograr mi meta de poder terminarla.

A mi familia, especialmente a mis padres, ya que ellos han sido un pilar para mi vida dando y guiándome con sus consejos y apoyo en toda mi carrera universitaria.

A mis amigos Gean Franco, Nicolas Rodríguez, Sebastián Gonzales, Carlos Archila, Ian Díaz, Santiago Espíndola, Sebastián Mesa y Miguel Amaya que hicieron de mi vida universitaria un mejor recorrido donde quedaron grandes recuerdos y los llevare con mucho cariño.

A mi compañera Silvia por su dedicación, orientación y ayuda para culminar este trabajo y concretar este proyecto.

A nuestro director Harving por su dedicación e interés en sacar este proyecto adelante.

Y a la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería de Petróleos donde adquirí estos conocimientos y abrieron sus puertas para dar mi formación y preparación para la vida.

Edwar Yarith Sequeda Ballesteros

Agradecimientos

Los autores expresan sus más grandes agradecimientos a:

A Dios por ser nuestro guía a través de todos estos años.

A nuestras familias por dar su amor y apoyo incondicional.

A nuestro director, el ingeniero Harving Díaz Consuegra por darnos la confianza y dedicación para la elaboración de este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería de Petróleos por abrirnos sus puertas y formarnos y prepararnos en esta carrera.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Generalidades.....	15
1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.2 Alcance	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 Justificación	17
2. Marcos de referencia.....	18
2.1 Marco Teórico.....	18
2.1.1 Transición Energética	18
2.1.2 Efuel o Combustibles Sintéticos	18
2.1.3 Hidrógeno	19
2.1.4 Energías Renovables.....	19
2.1.5 Cambio Climático	20
2.1.6 Gases de efecto invernadero	20
2.1.7 GEI Directos	20
2.1.8 GEI Indirectos.....	20
2.1.9 Metano (CH ₄).....	21
2.1.10 Dióxido de carbono (CO ₂).....	21
2.1.11 Óxido Nitroso (N ₂ O)	21
2.1.12 Electrolisis.....	21
2.1.13 Descarbonización.....	22
2.1.14 Acuerdo de París	22

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO	
2.1.15 IPCC.....	22
2.1.16 Mitigación.....	23
2.1.17 Hidrocarburos	23
2.1.18 Inventario de emisiones	23
3. Panorama de los Combustibles sintéticos a nivel mundial.....	24
3.1 Panorama internacional.....	24
3.1.1 España.....	25
3.1.2 Alemania.....	27
3.1.3 Chile.....	30
3.1.3.1 Funcionamiento de todo el proceso para la generación de Efuel en el proyecto Haru Oni.	31
3.1.3.1.1 Energía renovable utilizada.....	31
3.1.3.1.2 Sistema de electrolisis.....	32
3.1.3.1.3 Proceso de Obtención de CO ₂ (Haru Oni)	33
3.1.3.1.4 Análisis de la reacción generada por H ₂ y CO ₂	34
3.1.3.1.5 Conversión de Metanol a Gasolina (Haru Oni)	35
3.1.3.1.6 Propiedades de la gasolina sintética resultante con tecnología MTG.....	36
3.1.3.1.7 Planta De (Haru Oni)	37
3.1.4 Canadá.....	38
4. Maneras de obtención de los combustibles sintéticos y su materia prima.....	39
4.1 Combustibles sintéticos a partir de vectores energéticos químicos basados en el carbono	39
4.2 Combustibles sintéticos a partir de carbón.	41
4.2.1 Tecnología de licuefacción directa (DCL).....	41
4.2.2 Tecnología de licuefacción indirecta (ICL):	41
4.2.3 Ventajas de obtener combustible sintético a partir de carbón.....	44
4.2.4 Desventajas de obtener combustible sintético a partir de carbón.	45
4.3 Combustibles sintéticos a partir de gas natural.....	46
4.4 Obtención de gasolina a partir del metanol.....	48
4.5 Generación de combustibles sintéticos a partir de Hidrogeno verde y captura de CO ₂	50
5. Ventajas del uso de los combustibles sintéticos en Colombia	55
5.1 Fortalezas de Colombia en materia prima.....	56

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

5.1.1 Análisis de ventajas de Colombia en disposición de recursos naturales.....	56
5.2 Capacidad instalada en Colombia.....	59
5.3 Reducción huella de carbono.....	60
5.4 Marco legal y financiamiento.....	61
6. Análisis del potencial de los combustibles sintéticos sobre la reducción de los gases efecto invernadero en Colombia.....	61
6.1 Inventario y proyecciones de emisiones CO2 por Ministerio de Ambiente.....	61
6.2 Potencial del Efuel para la reducción de los gases de efecto invernadero.....	65
6.2.1 Sector transporte.....	65
6.2.2 Sector industria petrolera.....	69
6.3 Análisis de proyecciones.....	71
7. Conclusiones.....	74
8. Recomendaciones.....	76
Referencias Bibliográficas.....	77

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Propiedades de la gasolina sintética resultante con tecnología MTG.....	37
Tabla 2. Características de las tecnologías de licuefacción directa e indirecta	42
Tabla 3. Comparación de la calidad de los productos DCL e ICL.	43
Tabla 4. Comparación del diésel convencional y el sintético.....	54
Tabla 5. Fuentes y su capacidad instalada en Colombia.....	60
Tabla 6. Emisiones CO2 en el sector de transporte, panorama actual	66
Tabla 7. Emisiones CO2 en el sector de transporte, panorama combustible sintéticos	67
Tabla 8. Emisiones CO2 en el sector de industria energética, panorama actual	69
Tabla 9. Emisiones CO2 en el sector de industria energética, panoramas combustibles sintéticos	70

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Funcionamiento planta de combustibles sintéticos cero emisiones	26
Figura 2. Proceso de electrolisis (AUDI).....	27
Figura 3. Producción de e-diésel en la planta piloto de Audi en Laufenburg.....	29
Figura 4. Turbina eólica de Siemens-Gamesa	31
Figura 5. Sistema de Electrolisis PEM de Siemens Sylicer.....	32
Figura 6. Torre de absorción de CO ₂ de Global Thermostats.....	33
Figura 7. Reacción generada por CO ₂ y H ₂	34
Figura 8. Sistema de funcionamiento del reactor MTG.....	35
Figura 9. Esquema de reacciones químicas del proceso MTG.	36
Figura 10. Esquema planta de producción Efuel sintético.....	37
Figura 11. Alternativas de obtención de combustibles sintéticos	40
Figura 12. Reacciones durante la síntesis de F-T:	42
Figura 13. Emisiones de CO ₂ en el ciclo de vida completo de los combustibles sintéticos a partir de Carbón.....	45
Figura 14. Distribución de reservas (probadas, probables y posibles) de gas en Colombia por cuena.	47
Figura 15. Curva de Producción de reservas.	47
Figura 16. Reacción metanol para obtener gasolina	49
Figura 17. Separación de Colombia por zonas de recursos renovables	57
Figura 18. Capacidad Instalada en Colombia	59
Figura 19. Emisiones por categorías de IPCC	62

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Figura 20. Emisiones por sector.....	63
Figura 21. Proyección de emisiones de CO2 en sector de transporte, panorama actual.....	67
Figura 22. Proyección de emisiones de CO2 en sector de transporte, panoramas combustibles sintéticos	68
Figura 23. Proyección de emisiones de CO2 sector industria energética, panorama actual.....	69
Figura 24. Proyección de emisiones de CO2 sector industria energética, panoramas combustibles sintéticos.	70
Figura 25. Proyección comparativa de emisiones de CO2, sector transporte.....	72
Figura 26. Proyección comparativa de emisiones de CO2, sector industria petrolera	72

Resumen

Título: Análisis de los combustibles sintéticos como alternativa para la reducción de gases efecto invernadero en Colombia. *

Autor: Edwar Yarith Sequeda Ballesteros y Silvia Slendy Rueda Rueda**

Palabras Clave: Combustibles sintéticos, Gases de Efecto Invernadero, Acuerdo de París, Mitigación, Transición Energética.

Descripción

Los Gases de Efecto Invernadero tienen una gran relevancia a nivel mundial ya que esto tiene un gran impacto sobre la crisis del cambio climático. Dado esto, se acordó en el año 2015 el tratado del Acuerdo de París para poder limitar el calentamiento global y poder reducir esos gases lo más bajo posible. Colombia está comprometida a reducir el 20% de sus emisiones para el año de 2030 pero dando como un nuevo proyecto interno del país por parte del Ministerio de Ambiente de disminuir el 50% de sus emisiones.

Una acción para la mitigación son los combustibles sintéticos, que han dado muy buenos resultados a nivel mundial con una probabilidad de reducción de hasta el 90% de emisiones implementándolos especialmente en el sector de transporte y petrolero. Así, podemos ver el estudio y la aplicación de estos combustibles en el territorio colombiano para contribuir con la reducción de estos gases y poder cumplir con el compromiso y la meta trazada.

* Proyecto de grado

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Harving Díaz Consuegra.

Abstract

Title: Analysis of synthetic fuels as an alternative for the reduction of greenhouse gases in Colombia. *

Author: Edwar Yarith Sequeda Ballesteros and Silvia Slendy Rueda Rueda**

Keywords: Synthetic fuels, Greenhouse effect gases, Paris Agreement, Mitigation, Energy Transition.

Description:

Greenhouse gases are one of the most relevant factors that impact on our current climate change crisis. Due to this, in 2015, in order to limit the global warming and to reduce greenhouse gases as much as possible, the Paris Agreement was signed. Colombia is committed to reduce its emissions by 20% by the year 2030, also it has started a new project internal of the country by the Environment Ministry that consists of reducing the emissions by 50% in total.

Synthetic fuels are an option for the mitigation, they've been giving very good results worldwide with a reduction rate up to 90% of emissions, being implemented especially in oil and transport industry. In this way, we're able to follow this study and the application of this fuels in Colombian territory to contribute with the gas reduction and to fulfill the commitment and the established goal.

* Degree Project

** Industrial University of Santander. Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: Harving Díaz Consuegra.

Introducción

En Colombia y a nivel mundial se evidencia una crisis climática la cual es la mayor amenaza que enfrenta la humanidad, sus efectos van desde patrones climáticos alterados que amenazan la producción de alimentos, hasta niveles del mar que continúan aumentando y causando inundaciones devastadoras. Una situación que, si no tomamos medidas drásticas hoy, los costos de cualquier remediación serán severos en el futuro.

Según las Naciones Unidas, las tormentas, los incendios forestales, las sequías y otros fenómenos climáticos extremos alimentados por el cambio climático han afectado a 4.500 millones de personas en los últimos 20 años. Limitar el efecto invernadero es ahora el principal impulsor de la política energética mundial. En 2015, el Acuerdo de París negociado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) acordó que, para limitar el calentamiento global se debe lograr mantener el aumento de temperatura por debajo de los 2°C, el mundo necesitaba lograr cero emisiones netas para 2045 a 2060. Una de las principales áreas bajo el foco de atención fue el sector del transporte que actualmente es el contribuyente de más rápido crecimiento a las emisiones climáticas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el transporte representó alrededor del 23% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono en 2010 y el 27% de las emisiones de energía de uso final, y el transporte urbano representó alrededor del 40% del consumo de energía de uso final. El 50% de la energía consumida en el sector del transporte es de camiones pesados y de larga distancia, marinos y aviación. Los combustibles sintéticos producidos a partir de energía renovable a través de la electrólisis y la síntesis de combustibles de hidrocarburos pueden ofrecer una solución neutral en carbono que aproveche la infraestructura existente y, además, aborde y descarbonice la flota operativa de todos los vehículos. Estos combustibles sintéticos de hidrocarburos se sintetizan a partir de e-hidrógeno con electricidad de las energías renovables de menor costo, como la energía eólica, con CO₂ de varias fuentes, incluido el dióxido de carbono del aire a metanol, gasolina o metano.

Así concorde al Acuerdo de París, Colombia se comprometió a reducir el 20% de sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para 2030 y aumentar esta reducción de sus emisiones a un 30% si recibe un apoyo internacional, teniendo como punto de partida el inventario de emisiones nacionales de 2010. Con base a lo anterior, esta investigación se centrará

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

en el estudio de los combustibles sintéticos como uno de tantos mecanismos que se encuentran para la reducción de los Gases de Efecto Invernadero, teniendo como primordial el compromiso adquirido en el Acuerdo de París con Colombia.

1. Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

Teniendo en cuenta que el sector de transporte y energía emiten el 12% y 8% respectivamente de los GEI en Colombia, se deja claro que, aunque no son los mayores responsables de las emisiones, si son un factor importante sobre el que se deben tomar medidas inmediatas para la reducción de estos gases para el año 2030, evitando así que el porcentaje de emisiones de gases siga aumentando drásticamente, y genere un incumpliendo no solo con el acuerdo de París, sino también con la humanidad y el ambiente.

1.2 Alcance

Identificar el impacto de los combustibles sintéticos sobre las emisiones de GEI para su reducción, en el marco del Acuerdo de París. Con base en las acciones realizadas con el implemento de estos combustibles a nivel nacional e internacional, determinando la efectividad de mitigación de emisiones GEI en el sector de transporte y petrolero en Colombia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar los combustibles sintéticos como alternativa para la reducción de gases efecto invernadero en Colombia, con base en el acuerdo de París.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre combustibles sintéticos a nivel mundial.
- Clasificar los diferentes tipos de obtención de combustibles sintéticos.
- Identificar las ventajas relacionadas con el uso de los combustibles sintéticos en Colombia.
- Analizar el potencial de los combustibles sintéticos en la reducción de gases efecto invernadero en Colombia.

1.4 Justificación

La humanidad ha dependido esencialmente de recursos energéticos de origen biológico a lo largo de su historia, como lo muestra el empleo de la madera como combustible, o el uso de energía humana y animal. Habría que añadir, no obstante, el aprovechamiento del viento a través de los molinos y su uso en el transporte fluvial y marítimo, así como el empleo de la energía potencial de las corrientes de agua.

No es difícil señalar, como lo vienen haciendo distintas voces desde hace ya algunas décadas, que nos acercamos a lo que sin duda se puede calificar de crisis energética a escala planetaria, a cuyo origen contribuyen varios factores. Teniendo en cuenta el agotamiento de los combustibles fósiles, entre los que se cuentan el petróleo, el carbón y el gas natural. Con un aumento continuo de tanto de la población como del consumo por habitante de esos combustibles, nos hemos visto obligados a tomar conciencia que el incremento del consumo de estas energías primarias propiciado por un desarrollo económico desigual pero continuo, nos sitúa en un escenario dominado, por diferentes factores, uno, la escasez creciente de los combustibles fósiles, el consecuente e imparable incremento de precios y otra es el aumento de los gases efecto invernadero.

No obstante, en el año 2015, La Organización de Naciones Unidas (ONU) estableció el Acuerdo de París donde Colombia al firmar este acuerdo se comprometió a reducir el 20% de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para 2030. Desde entonces se ha tratado de implementar nuevas técnicas para descubrir que tipos de energías, combustibles u otras, están más adecuadas para el reemplazo de estas energías primarias, evaluando el consumo, la obtención y el efecto de estas, las cuales pueden provocar algunas limitaciones para poder desarrollarlas y

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO
obtenerlas.

Finalmente, reconociendo las problemáticas que generan el alto consumo de estos combustibles fósiles, la escasez de estas energías primarias y el aumento de los gases efecto invernadero se propone realizar una investigación sobre el impacto en Colombia a la implementación de los combustibles sintéticos como reductor de estos gases, analizando principalmente, la reacción del uso de estos combustibles sintéticos en el país como solución al Acuerdo de París. Todo esto con el fin de proporcionar información de relevancia para la industria que ayude a la situación actual del País.

2. Marcos de referencia

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Transición Energética

La Transición Energética es un cambio estructural a largo plazo de los sistemas energéticos o las fuentes de energía que el mundo utiliza para su desarrollo (MINENERGIA,2020).

2.1.2 Efuel o Combustibles Sintéticos

El combustible sintético es un carburante líquido similar al que usamos en la actualidad. La gasolina proviene de una fuente de energía fósil, que ha tardado millones de años en formarse, sin embargo, el carburante sintético cobra vida con relativa rapidez gracias a un proceso químico a partir de hidrógeno. En el caso del combustible sintético, para que sea considerado verde, la energía utilizada para su fabricación ha de ser renovable. La electricidad de fuente renovable es necesaria para la separación del hidrógeno y el oxígeno mediante electrólisis. En el mismo proceso, el dióxido de carbono se filtraría del aire o se captaría de algunas industrias. El hidrógeno y el dióxido de carbono se combinarían entonces para formar metanol,

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

que a su vez se reformularía como un sustituto de la gasolina, es decir, una gasolina sintética. El uso de energía renovable y la captura de dióxido de carbono de la atmósfera lo convierte en un combustible neutro en carbono cuando se quema, es decir, no produciría nuevas emisiones de gases de efecto invernadero, pues devolvería el CO₂ captado para su fabricación (REPSOL, 2020).

2.1.3 Hidrógeno

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica. Es el elemento más ligero que existe, su átomo está formado por un protón y un electrón y es estable en forma de molécula diatómica (H₂). En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, y es insípido, incoloro e inodoro. En la Tierra es muy abundante, constituye aproximadamente el 75% de la materia del Universo, pero se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno formando moléculas de agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos. Por tanto, no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, sino que es un vector energético (como la electricidad) y por ello se tiene que “fabricar” (CNH2, 2007).

2.1.4 Energías Renovables

Las energías renovables son fuentes de energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero –causantes del cambio climático- ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural (ACCIONA, 2020).

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

2.1.5 Cambio Climático

De acuerdo con la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas (IDEAM, 2007, p.32).

2.1.6 Gases de efecto invernadero

Son compuestos químicos en estado gaseoso como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera. Los gases efecto invernadero (GEI) contribuyen al efecto invernadero intensificando sus efectos sobre el clima en la medida que aumentan. El vapor de agua es simplemente H_2O en estado gaseoso (MINAMBIENTE, 2021).

2.1.7 GEI Directos

“Son gases que contribuyen al efecto invernadero tal como son emitidos a la atmósfera. En este grupo se encuentran: el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y los compuestos halogenados” (IDEAM, 2007, p.39).

2.1.8 GEI Indirectos

Son precursores de ozono troposférico, además de contaminantes del aire ambiente de carácter local y en la atmósfera se transforman a gases de efecto invernadero directo. En este grupo se encuentran: los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles diferentes del

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

metano y el monóxido de carbono (IDEAM, 2007, p.39).

2.1.9 Metano (CH₄)

Es un fuerte GEI y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. La carga atmosférica de metano a finales de la década de los 90's era de 4800 x 10¹² gramos, más de dos veces la cantidad presente durante la era preindustrial. Esta duplicación en la carga atmosférica del metano ha contribuido en aproximadamente un 20% del forzamiento radiactivo directo debido a emisiones antropogénicas de GEI directos. El metano es removido de la atmósfera por reacción con radicales hidroxilos (OH) convirtiéndose finalmente en CO₂ (IDEAM,2007, p.40).

2.1.10 Dióxido de carbono (CO₂)

Es un gas que se produce de forma natural y también como subproducto de la combustión de la biomasa, cambios en el uso de las tierras y procesos industriales mediante el uso de combustibles fósiles. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al equilibrio de radiación del planeta, y es el gas de referencia a partir del cual se miden otros gases de efecto invernadero según el IPCC (MINAMBIENTE, 2021)

2.1.11 Óxido Nitroso (N₂O)

El óxido nitroso, cuyas fuentes son de carácter natural y antropogénico, contribuye con cerca del 6% del forzamiento del efecto invernadero. Sus fuentes incluyen los océanos, la quema de combustibles fósiles y biomasa y la agricultura. El óxido nitroso es inerte en la troposfera. Su principal sumidero es a través de las reacciones fotoquímicas en la estratosfera que afectan la abundancia de ozono estratosférico (IDEAM, 2007, p.42).

2.1.12 Electrolisis

La Electrólisis consiste en la descomposición mediante una corriente eléctrica de

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

sustancias ionizadas denominadas electrolitos. La palabra electrólisis procede de dos radicales, electro que hace referencia a electricidad y lisis que quiere decir ruptura. En el proceso se desprenden el oxígeno (O) y el hidrógeno (H). (QUÍMICA.ES, 1997).

2.1.13 Descarbonización

Son todas aquellas acciones y tecnologías para la mitigación de las emisiones de dióxido de carbono, con el objetivo de migrar hacia un sistema energético limpio con el uso de energías limpias en la producción de energía eléctrica, particularmente en la generación distribuida y en la electrificación de usos finales de la energía y del sector de la movilidad. Se espera que la energía renovable se expanda en un 50% entre 2019 y 2024, especialmente por la energía solar fotovoltaica y liderado por China que representará el 40% de la expansión global de la capacidad renovable durante el período de pronóstico. Por otro lado, se plantea al hidrógeno como un nuevo energético que ayudará mucho en la limpieza de la matriz energética de cada uno de los países, que tendrá grandes impactos en la descarbonización del transporte, la industria y calefacción residencial (EnergyColombia, 2021).

2.1.14 Acuerdo de París

El Acuerdo de París es un nuevo tratado internacional que se adoptó en 2015 durante la COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Es un acuerdo universal y vinculante que busca mejorar la aplicación de la Convención. Su objetivo es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza (MINAMBIENTE, 2012).

2.1.15 IPCC

En 1988 se creó el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés), cuya función es dar información fiable a los países miembros de la

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Convención para que puedan tomar decisiones políticas con un soporte científico (MINAMBIENTE, 2012).

2.1.16 Mitigación

Cualquier tipo de actividad que reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero o a través de la captura de carbono que llevan a cabo los sumideros como los bosques (MINAMBIENTE, 2012).

2.1.17 Hidrocarburos

Un compuesto orgánico natural, que comprende el hidrógeno y el carbono. Los hidrocarburos pueden ser tan simples como el metano (CH_4), pero en muchos casos corresponden a moléculas altamente complejas y pueden presentarse como gases, líquidos o sólidos. Las moléculas pueden tener forma de cadenas, cadenas ramificadas, anillos u otras estructuras. El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos. Los hidrocarburos más comunes son el gas natural, el petróleo y el carbón (Schlumberger, s.f.).

2.1.18 Inventario de emisiones

Un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero es una actividad que se desarrolla actualmente en varios países y se lleva a cabo para tener un reporte sobre la cantidad de Gases de Efecto Invernadero emitidos y absorbidos hacia la atmósfera como resultado de actividades humanas, para un período de tiempo estipulado (Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC], s.f.):

- Metano (CH_4)
- Dióxido de carbono (CO_2)

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Óxido nitroso (N)

3. Panorama de los Combustibles sintéticos a nivel mundial

3.1 Panorama internacional

La lucha existente contra el calentamiento global causado por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se ha convertido en una prioridad internacional, por la cual muchos países se han involucrado en desarrollar nuevas alternativas o tecnologías en pro a la descarbonización, ya que el gas CO₂ es el mayor contribuyente en los GEI, y se tiene como propósito abatir este problema que perjudica a todo el planeta.

Para alcanzar los objetivos climáticos, las emisiones de CO₂ del tráfico en todo el mundo deberán reducirse en un 50 % durante las próximas cuatro décadas, y en al menos un 85 % en las economías avanzadas.

Después de todo, incluso si algún día todos los automóviles funcionan eléctricamente, los aviones, los barcos e incluso los camiones seguirán funcionando principalmente con combustible. Los motores de combustión neutros en carbono que funcionan con combustibles sintéticos son, por lo tanto, un camino muy prometedor para explorar, también para los automóviles de pasajeros. (BOSCH, 2022).

Por lo tanto, a continuación, se presentan algunas experiencias de países potencia que han implementado o buscan implementar los combustibles sintéticos como un proyecto futuro

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

amigable ambientalmente, que podría ser la solución a la contaminación por CO₂.

3.1.1 España

Repsol, la multinacional energética y petroquímica española, que en 2020 fue la empresa que emitió más toneladas de CO₂ en España, siendo responsable del 0.33% de emisiones de gases efecto invernadero a nivel mundial entre 1988 y 2015, se ha pronunciado con una alternativa para descarbonizar la movilidad, en la que invertirá alrededor de 60 millones de euros, donde se planea la construcción de una planta de producción de un combustible sintético de huella cero de carbono, producidos con agua y CO₂ como única materia prima, en donde con la implementación de la tecnología de captación de CO₂ de la refinería cercana Petronor y la ayuda de las energías renovables para la obtención del hidrógeno a partir de las moléculas del agua con el proceso llamado electrólisis, se podría llevar a cabo un combustible sintético apto para los vehículos actuales, como automóviles, aviones, y camiones de combustión interna, que no necesitan cambios en la infraestructura ya existente de estaciones de servicio, logrando así una mejor adaptación de esta alternativa en la sociedad.

El desarrollo de la alternativa ambiental de los combustibles sintéticos estaría liderado por el grupode investigación Repsol Technology Lab, que se encuentra en Móstoles.

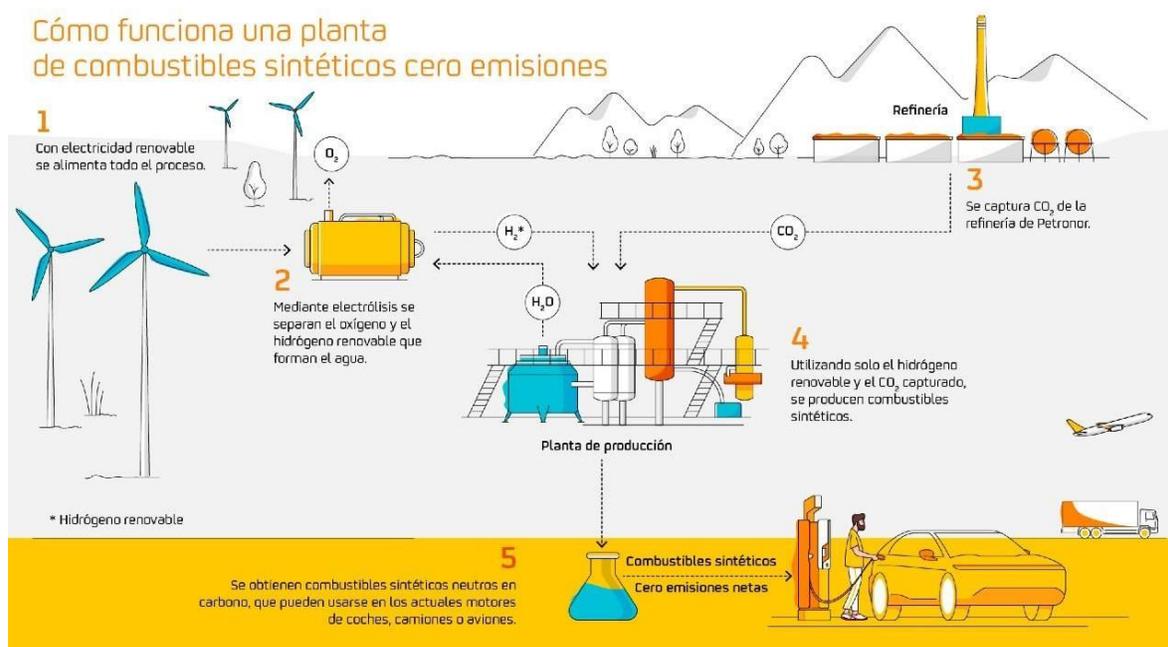
La multinacional está comprometida a alcanzar cero emisiones netas en 2050, y por esto está interesada en implementar su tecnología denominada captura, almacenamiento y uso del carbono (CCUS), en la cual se llevaría a cabo la captura del dióxido de carbono (CO₂), su transporte sería por medio de tuberías o buques y su uso sería implicado a la fabricación de productos que impulsen la iniciativa de descarbonizar el ambiente.

COMBUSTIBLES SINTÉTICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

A continuación, con la figura 1. La multinacional ilustra cómo funcionará la planta destinada para la fabricación de carburantes sintéticos con cero emisiones netas.

Figura 1.

Funcionamiento planta de combustibles sintéticos cero emisiones



Fuente: REPSOL, Combustibles sintéticos. Una alternativa para descarbonizar la movilidad – (2021)

Se habla que la planta en una primera fase tendría la capacidad de producir 50 barriles al día de combustible sintético con cero emisiones netas de CO_2 en todo su ciclo productivo. También se hará provecho de Petronor, la única refinería de la península ibérica y una de las pocas de Europa con la tecnología de captura, almacenamiento y uso de CO_2 , con la cual se planea abastecer de una de las materias primas para la generación exitosa del efuel sintético.

"España debe basar su estrategia de descarbonización en sus capacidades tecnológicas e industriales. La producción de hidrógeno verde y su combinación con la captura y uso de CO_2 para

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

producir combustibles con cero emisiones netas forma parte de la estrategia industrial de descarbonización de Repsol. Con este proyecto, la industria española se convierte en un actor relevante en la reducción de emisiones en Europa", dijo Jon Imaz, (2020) CEO de Repsol.

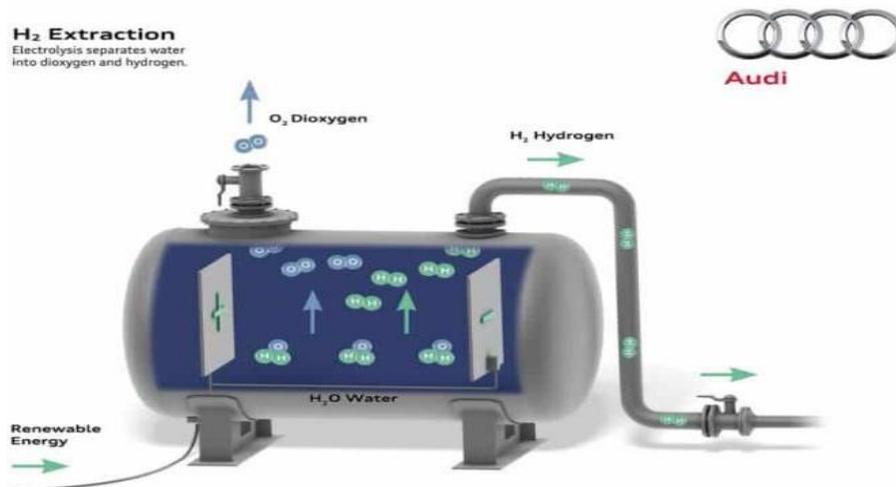
3.1.2 Alemania

A finales del 2014 Audi, multinacional alemana fabricante de automóviles de gama alta, se aliaba con la empresa Sunfire para empezar a producir e-diésel, un combustible “ecológico” el cual proviene de la utilización de elementos neutros, tales como agua y aire, siendo esta una alternativa al combustible fósil utilizado en la mayoría de los automóviles hoy en día.

e-diésel se trata básicamente de un combustible que genera emisiones de CO_2 neutras pero que de igual manera sigue siendo un diésel, por lo que sería adecuado para los motores convencionales. La producción de este diésel sintético sería posible mediante la captura de CO_2 existente en la atmósfera y el hidrógeno captado a partir del agua mediante un proceso llamado “electrólisis”.

Figura 2.

Proceso de electrolisis (AUDI)



Fuente: AUDI, MediaInfo- El Audi e-diesel se obtiene a partir de energía renovable, agua y

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO
CO₂ (2015).

En el proceso de electrólisis se lleva el agua por encima de los 800°C para lograr la separación de las moléculas de hidrogeno y oxígeno, luego el CO₂ capturado de forma directa del aire se incorpora a la reacción y se lleva a temperatura y presión elevada para conseguir una mezcla líquida, que sería conocida como el e-diésel o “crudo azul”.

Es decir que, es de vital importancia para llevar a cabo este combustible sintético tres elementos principalmente, hidrógeno, dióxido de carbono y una fuente de energía eléctrica, donde el hidrógeno se obtiene del agua, el dióxido de carbono es capturado del aire mediante filtros y la energía eléctrica sería producida a partir de fuentes renovables como solar o eólica.

Una de las ventajas más importantes de este combustible e-diésel es que su materia prima es altamente abundante en la naturaleza y casi podría decirse con una existencia ilimitada, al contrario de los combustibles fósiles que su existencia es limitada y escasa.

Otra ventaja de este combustible es que es una tecnología que se adapta fácilmente a los motores usados hoy en día, por lo cual no habría necesidad de implementar nuevas infraestructuras de estación de servicio, ni realizar modificaciones en los vehículos como sí pasa con otras alternativas como automóviles a gas o eléctricos.

Por otro lado, lo que hace aún más atractivo a este combustible es su amabilidad con el ambiente, pues contribuye a la reducción de CO₂ el cual es el más abundante de los gases efecto invernadero, responsable del cambio climático que se presenta hoy en día a nivel mundial.

Principalmente por estas ventajas la empresa Audi en 2014 se ve interesada en este e-diésel y junto a la empresa Sunfire inician su producción mediante un proyecto piloto llevado a cabo en la planta Dresden, y un año después en 2015, la ministra federal de Educación e

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

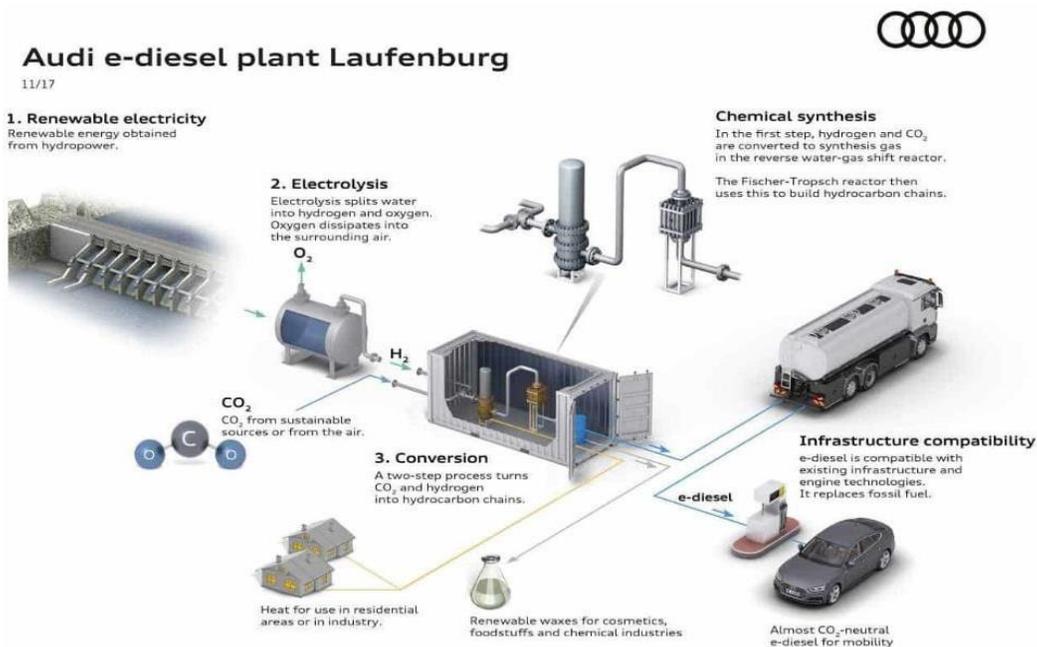
Investigación, Johanna Wanka, utilizó los primeros cinco litros en su coche oficial, un Audi A8 3.0 TDI clean diésel quattro. "Este diésel sintético, elaborado utilizando CO₂, es un enorme éxito para nuestras investigaciones sobre sostenibilidad. Si podemos hacer un uso generalizado del CO₂ como materia prima, haremos una contribución crucial para la protección climática y el uso eficiente de los recursos, además de poner los fundamentos de la 'economía verde' en el lugar que corresponde", declaraba Wanka. Gracias a su éxito deciden en 2018 expandir su producción a través de un acuerdo con las productoras eléctricas Ineratec GmbH y Energiedienst Holding AG, creando una nueva planta en Laufenburg, en Canton Aargau (Suiza) para la producción de este combustible sintético, la cual tiene una capacidad de generación de alrededor de 400.000 litros por año, una cantidad que supera a la del piloto inicial.

“La eficiencia del proceso global, desde la energía renovable hasta el hidrocarburo líquido, es muy alta, alrededor de un 70%. De forma similar al petróleo, el crudo azul se puede refinar para obtener el producto final, el Audi e-diésel”. (Audi, MediaInfo, 2015)

Figura 3.

Producción de e-diésel en la planta piloto de Audi en Laufenburg

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO



Fuente: AUDI, MediaInfo- El Audi e-diesel se obtiene a partir de energía renovable, agua y CO₂ (2015).

Según datos de Bosch. Se podría dar una reducción de 2,8 gigatoneladas de CO₂ en Europa de cara a 2050, cifra que representa tres veces las emisiones de Alemania en 2016. Lo mejor de todo es que los e-Fuels pueden utilizarse en múltiples aplicaciones, no solo para los automóviles.

3.1.3 Chile

Multinacionales se han aliado para que se haga realidad la producción de combustibles sintéticos en un país que tiene los recursos necesarios y básicos que son: aire y agua. El proyecto llamado “Haru Oni” se ha materializado en los primeros trabajos sobre el terreno de hoy en día. En el marco de su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, Chile tendrá 5 GW de potencia de electrolizadores en 2025, y en otros cinco años la habrá multiplicado por cinco, 25 GW.

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

3.1.3.1 Funcionamiento de todo el proceso para la generación de Efuel en el proyecto Haru Oni.

3.1.3.1.1 Energía renovable utilizada

El plan piloto contará con un generador eólico proporcionado por Siemens-Gamesa, de 3,4MW de potencia y con la idea de que en 2026 se llegue a instalar uno de 2,5 GW, el cual alimentará a un electrolizador que mediante energía eléctrica romperá el agua a nivel molecular, dando como resultado la separación del hidrógeno y el oxígeno, que al capturar CO₂ del aire y combinarlo con el hidrógeno, se tendrá como resultado un hidrocarburo básico y esencial que es el metanol sintético, siendo portador de energía líquida que emite alrededor de un 90 % menos de CO₂ que su homólogo fósil.

Figura 4.

Turbina eólica de Siemens-Gamesa



Fuente: SIEMENS-ENERGY, Haru Oni: A new age of discovery (2021)

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

3.1.3.1.2 Sistema de electrolisis

Los electrolizadores usados para la generación de hidrógeno trabajan de forma similar a la de una pila de combustible, basados en la tecnología de membrana de protones o PEM. Haru Oni, está empezando a trabajar con un electrolizador como el de la figura 5, que es capaz de producir 20 kilos de hidrógeno por hora de consumo eléctrico de 1,25 MW y una eficiencia del 65%.

Figura 5.

Sistema de Electrolisis PEM de Siemens Sylicer



Fuente: SIEMENS-ENERGY, Haru Oni: A new age of discovery (2021)

3.1.3.1.3 Proceso de Obtención de CO₂ (Haru Oni)

El siguiente paso para culminar con la obtención de materia prima del Efuel, es la captura de CO₂ de la atmósfera, donde la única manera rentable de extraer CO₂ es utilizando sustancias en las que este gas se pueda disolver de buena manera, como por ejemplo las soluciones alcalinas, como el hidróxido cálcico. El funcionamiento de esta tecnología de captura se llevaría a cabo mediante la implementación de una torre de absorción por la que fluye el aire, y con el compuesto elegido para disolverlo funcionaría como una especie de esponja de dióxido de carbono.

Figura 6.

Torre de absorción de CO₂ de Global Thermostats

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO



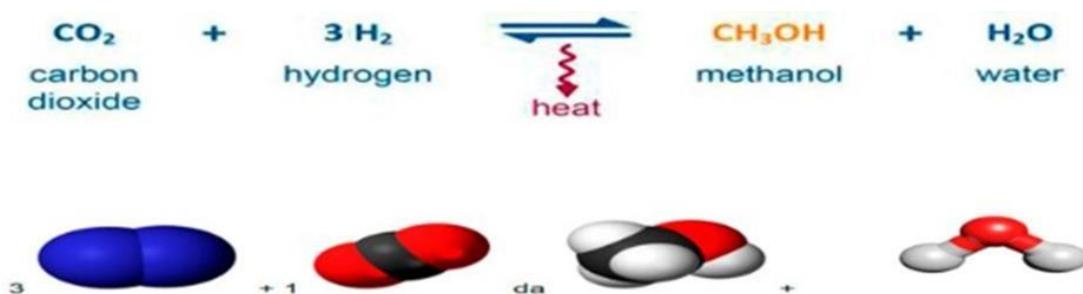
Fuente: SIEMENS-ENERGY, Haru Oni: A new age of discovery (2021)

En el caso del proyecto Haru Oni, se planea utilizar la torre de absorción fabricada por Global Thermostasts, la cual está compuesta por catalizadores similares a los de coche, embebidos en un compuesto basado en una amina del grupo de tipo NH₂.

3.1.3.1.4 Análisis de la reacción generada por H₂ y CO₂.

Figura 7.

Reacción generada por CO₂ y H₂



Fuente: SIEMENS-ENERGY, Haru Oni: A new age of discovery (2021)

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Una vez se obtienen los compuestos esenciales para la generación del Efuel, se procede a la combinación de dichos compuestos, que se da mediante la actuación de una torre de reacción fabricada por Man Energy Services, que da como resultado metanol (el alcohol más básico cuya fórmula corresponde a CH_3OH), agua y calor que posteriormente este se refrigera y se reutiliza, por ejemplo, en la torre de absorción de CO_2 .

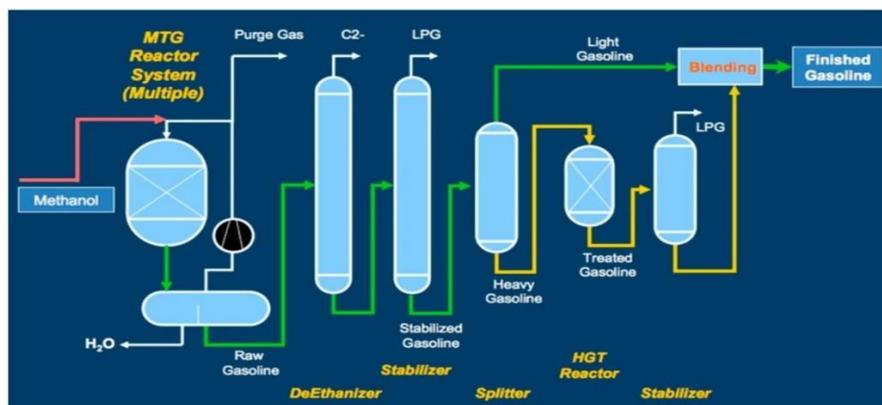
Al final de esta reacción se tiene una sustancia que es líquida a temperatura ambiente. No obstante, aún falta un proceso para llegar a tener gasolina.

3.1.3.1.5 Conversión de Metanol a Gasolina (Haru Oni)

La última fase del proceso está ligada al reactor MTG (*methanol-to-gasoline*) de Exxon Mobil, el cual funciona mediante la alimentación de metanol casi puro, que a medida del proceso se va formando en un compuesto orgánico con mayor número de carbonos, hasta llegar a una cadena de alrededor de 11 carbonos, que es una composición bastante similar a la gasolina conocida hoy en día.

Figura 8.

Sistema de funcionamiento del reactor MTG.



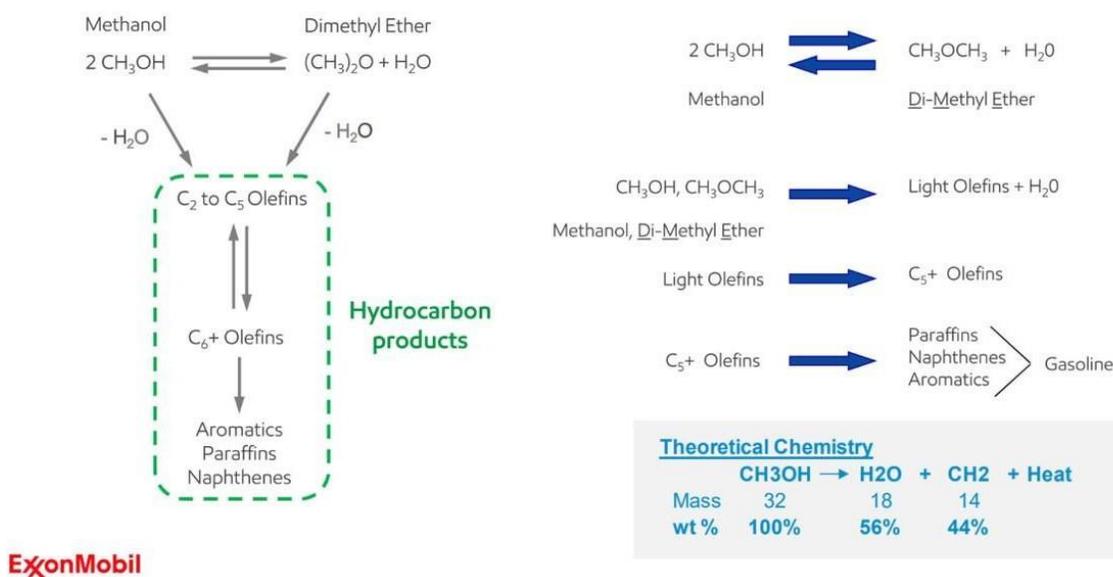
Fuente: SIEMENS-ENERGY, Haru Oni: A new age of discovery (2021)

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Figura 9.

Esquema de reacciones químicas del proceso MTG.

MTG chemistry



Fuente: SIEMENS-ENERGY, Haru Oni: A new age of discovery (2021)

Como se puede observar en la figura 8, durante el proceso se generan muchos otros compuestos ligeros como lo es el etano, el propano o el butano y otros un poco más densos como el durenio, que componen lo que se denomina gasolina pesada, que luego se debe reprocessar para simplificarlo.

Esta tecnología ofrece confianza ya que Exxon Mobil lo lleva empleando desde mediados de 1970, por lo que actualmente se puede considerar un proceso industrialmente maduro.

3.1.3.1.6 Propiedades de la gasolina sintética resultante con tecnología MTG

La gasolina resultante de la tecnología MTG presenta un gran número de octanaje y bajo en azufre, lo cual lo hace un combustible más atractivo hacia el ambiente comparándose con los

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

combustibles fósiles que generan un gran porcentaje de azufre y aromáticos.

Tabla 1.

Propiedades de la gasolina sintética resultante con tecnología MTG.

Property of MTG Gasoline	Typical Values
Octane Number, RON	92-95
Octane Number, MON	82-85
Aromatics, vol %	25-35
Olefins, Vol %	oct-14
Benzene, Vol%	<0,3
Durene, Wt%	<2
Sulfur, Mg/Kg	<10
Final Boiling point (FPB), deg C	200-210

Fuente: Elaborado por Siemens-Energy (2021)

3.1.3.1.7 Planta De (Haru Oni)

A continuación, se observa un diseño de como estaría distribuida la planta de producción de todo el ciclo de los combustibles sintéticos, presentado por la empresa Siemens Energy.

Figura 10.

Esquema planta de producción Efuel sintético.



Fuente: SIEMENS-ENERGY, Haru Oni: A new age of discovery (2021)

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

La producción de este combustible sintético comenzará a un ritmo modesto, que tiene una producción prevista de 130.000 litros durante el año próximo, una vez empiece a operar la planta. En 2025 la producción se habrá multiplicado por más de 420, generando cerca de 55 millones de litros, y a los dos años siguientes se habrá multiplicado hasta por 10 veces su cantidad, logrando hasta 550 millones de litros en 2026. Es la primera planta del mundo con vocación comercial y que es a gran escala de combustibles sintéticos libres de carbono. (Siemens-Energy (2021))

Los beneficios para el medio ambiente son claros, las emisiones del pozo al tanque son menores respecto a la gasolina fósil, la reducción de emisiones de CO₂ se estiman en un 90%, no será una solución totalmente ecológica ya que algunos motores de combustión interna siempre tienen unas mínimas emisiones nocivas asociadas al consumo de aceite, pero desde luego es preferible a utilizar el petróleo fósil de origen.

El fabricante de autos deportivos comenzará con una inversión inicial de aproximadamente 20 millones de euros. Como pionero del combustible, Porsche planea en la primera fase utilizar estos combustibles en la flota de deportes de motor de Porsche, en los Porsche Experience Centers y, más tarde, en autos deportivos de producción en serie.

Crean que los combustibles sintéticos tienen mucho potencial y permiten mantener el tacto sin perder la noción de los motores convencionales. Debido a sus excelentes condiciones de viento y los bajos costos de electricidad, Chile tiene un potencial muy alto para la producción, exportación y uso local de hidrógeno verde en comparación internacional.

3.1.4 Canadá

Carbon Engineering es una empresa conformada en Canadá, que afirma que es capaz de producir combustible limpio, que también depurará el aire que nos rodea. Ha estado trabajando en

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

ella desde el año 2015 y actualmente está dando forma a una serie de plantas en las que se podría capturar un millón de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) al año para fabricar el combustible alternativo. El proceso propuesto por Carbon Engineering partiría de la captura directa del dióxido de carbono presente en el aire. Por otro lado, en el caso de la electricidad limpia, se realizará un proceso de electrólisis en el que se separa el hidrógeno del oxígeno.

Con los elementos disponibles, se produce una reacción entre el dióxido de carbono y el hidrógeno: el resultado es un hidrocarburo que produce combustible sintético. De esta manera, puede producir combustible sin emitir carbono mientras purifica el aire que respiramos. Carbon Engineering también agregó que su fórmula podría aprovechar la infraestructura existente y proporcionar combustible electrónico a Porsche. Esto significa que la red de distribución y el vehículo se pueden adaptar con el mínimo esfuerzo para utilizar este eco-combustible.

Estos combustibles no solo pueden ser más limpios, sino que también pueden mejorar el rendimiento del motor. Lotus realizó pruebas en 2008 con el Lotus Exige270 Trifuel, que puede funcionar con hasta tres combustibles diferentes: gasolina convencional, etanol y metanol. Los dos últimos mejoran las prestaciones del coche, al igual que el aumento de potencia del deportivo británico de 240 a 270 CV. De ser así, eliminaría cualquier reticencia hacia los combustibles sintéticos, y apostar por ellos para que funcionen con autos de combustión pintaría un escenario favorable para todos.

4. Maneras de obtención de los combustibles sintéticos y su materia prima.

4.1 Combustibles sintéticos a partir de vectores energéticos químicos basados en el carbono

Para la sustitución de los combustibles utilizados en el sector del transporte, pero sin dejar de utilizar los motores de combustión interna, se necesita clasificar y sintetizar los tipos de

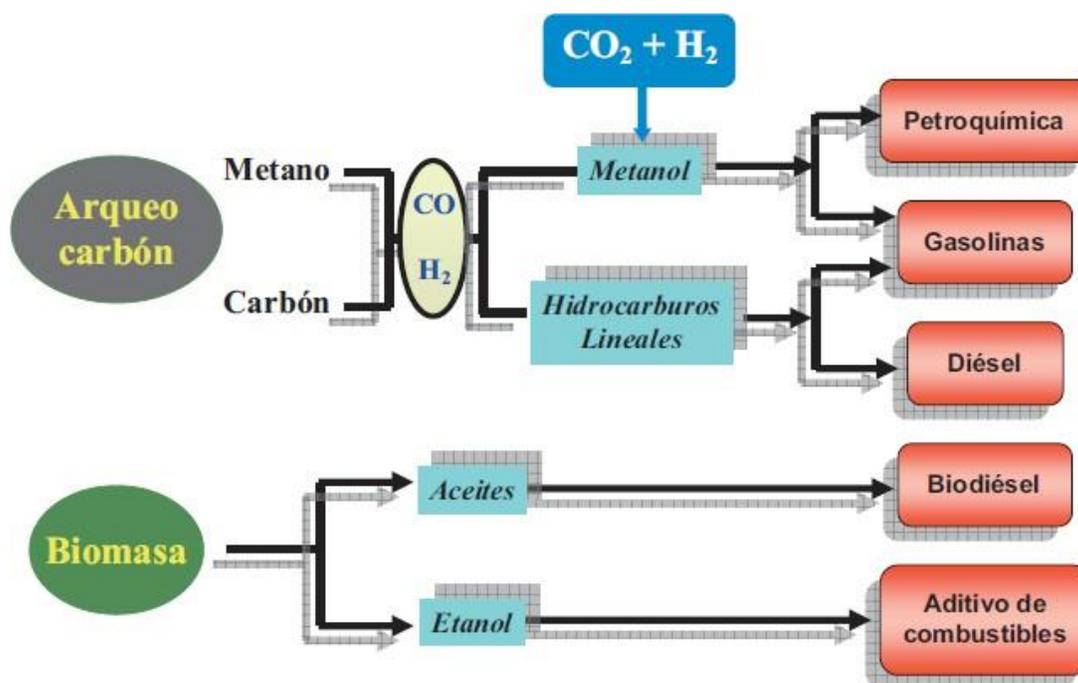
COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

hidrocarburos que contengan las mismas propiedades y características de las gasolinas utilizadas hoy en día en el subsector del transporte que ya hayan sido procesados en refinerías, teniendo también en cuenta el punto de vista ambiental para poder mejorar su calidad. Así, estos nuevos combustibles procesados tendrán menos emisiones que los anteriores.

El esquema a continuación muestra las diferentes alternativas de forma general que se han propuesto en obtener combustibles basados en fuentes primarias distintas del petróleo.

Figura 11.

Alternativas de obtención de combustibles sintéticos



Fuente: Tomado de *Biocombustibles* (p.331), por P.P. Joaquín, 2017, Fondoculturaeconomica

Dos de las rutas requieren el empleo de fuentes de carbono fósil, el gas natural y el carbón; y las otras dos emplean las fuentes de carbono existentes actualmente en la biosfera, una de ellas utiliza el carbono fijado en la biomasa, y la otra parte del CO₂ presente en la atmósfera. Las dos primeras suponen continuar con las emisiones de CO₂ a la atmósfera, pero emplean

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

tecnologías relativamente bien conocidas que pueden implementarse de manera masiva en poco tiempo, y además tienen un rendimiento energético positivo, es decir, el combustible final produce más energía que la utilizada en su elaboración industrial, por lo que podemos considerarlas como fuentes de energía primaria. (Biocombustibles, 2017, p. 331)

4.2 Combustibles sintéticos a partir de carbón.

La producción de combustibles líquidos a partir del carbón se puede realizar por hidrogenación directa (Direct Coal Liquefaction –DCL); licuefacción vía gasificación, purificación del gas, ajuste de la relación H₂/CO y síntesis Fischer-Tropsch (FT) para la obtención de combustibles tipo diésel y gasolina (Indirect Coal Liquefaction –ICL). (UPME-ANH-Unión Temporal CTL).

4.2.1 Tecnología de licuefacción directa (DCL).

consiste en someter el carbón a rompimiento térmico o pirólisis de sus enlaces más débiles seguido de hidrogenación inmediata de los fragmentos resultantes, con el propósito de incrementar la relación H/C de 0.8 (en el carbón) a 1.2 -1.8, relación estimada para el petróleo.

4.2.2 Tecnología de licuefacción indirecta (ICL):

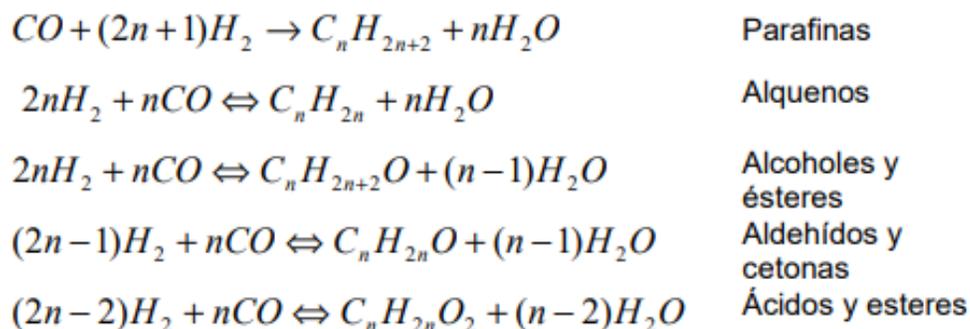
consiste en romper la estructura del carbón por medio de gasificación con vapor ($C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$), para luego llevar este de gas de síntesis a reaccionar en el reactor de Fischer-Tropsch a bajas presiones y temperaturas.

“La reacción de síntesis permite obtener un amplio espectro de hidrocarburos, entre los que se encuentran olefinas, gasolinas, diésel y ceras. La obtención selectiva de productos puede ser orientada mediante la selección del catalizador y las condiciones de operación. Las reacciones más importantes que ocurren durante la síntesis FT son”:

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Figura 12.

Reacciones durante la síntesis de F-T:



Fuente: Tomado de UPME-ANH-Unión CTL. Análisis y evaluación técnica y económica de la producción de combustibles líquidos a partir del carbón para el caso colombiano. (p.51). 2007

Tabla 2.

Características de las tecnologías de licuefacción directa e indirecta

Aspecto	DCL	ICL
Calidad de carbón	Se utilizan carbones de bajo rango, bituminosos altos volátiles y subbituminosos de bajo contenido de cenizas. Porcentaje óptimo de C, 77% – 80 %.	Cualquier material carbonáceo. Se prefieren carbones pobres o de bajo precio
Reservas de carbón necesarias	Reservas para 20- 40 años. 200 millones de toneladas, con un rendimiento de 3-4 BPD.	Reservas para mínimo 40 años. 400 millones de toneladas, con un rendimiento de 2 BPD.
Minería	La contaminación con la materia mineral tiene efecto negativo. La minería subterránea debe ser industrializada para obtener de 4-5 millones de toneladas anuales en un radio de influencia de la planta máxima de 30 kilómetros.	La contaminación por cenizas afecta el rendimiento en base ROM, pero la calidad del gas de síntesis es la misma, lo cual no afecta fuertemente la reacción FT.

COMBUSTIBLES SINTÉTICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Experiencia comercial	Durante la Segunda Guerra Mundial. Shenhua en China: primera planta comercial, iniciará producción al final del presente año. La planta tendrá tres trenes similares y una producción de 50000 BPD	Tecnología madura. Hay varios procesos y plantas de gasificación para obtener gas de síntesis. Planta comercial Sasol 145000 BPD.
Tamaño de planta	El tamaño de la planta es importante para la economía del proceso, tamaño mínimo de diseño 50000 BPD.	Se diseñan plantas desde 2000 BPD integradas con producción de químicos y/o generación eléctrica hasta 150000 BPD (SASOL).
Inversión	Alta, Shenhua primera planta comercial que se construye tiene un costo de 3.500-4.500 millones de dólares.	Permite plantas pequeñas y/o modulares. Inversión de US\$57000-75000 por barril/día producido.
Calidad del producto.	Mayor porcentaje de aromáticos (potencialmente cancerígenos) y mayor contenido de heteroátomos (S,N).	Alto contenido de parafinas y olefinas, combustible ultra bajo en heteroátomos (S, N).
Cantidad de carbón utilizado.	23000 t/d como llega de la mina (subbituminoso planta de 50000 BPD).	32000 t/d como llega de la mina (subbituminoso planta de 50000 BPD)
Eficiencia térmica	Alta (del orden de 70%). Emisiones de CO₂ bajas.	Baja (del orden de 55%). Altas emisiones de CO₂.

Fuente: Elaborado por la Unión Temporal CTL (pág., 3)

A continuación, en la tabla 3 se presentan las características del combustible resultante a partir del uso de las tecnologías DCL e ICL.

Tabla 3.

Comparación de la calidad de los productos DCL e ICL.

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Producto destilado	DCL	ICL
Productos en la mezcla	diésel 65%, nafta 35%	diésel 80%, nafta 20%
Índice de cetano en el diésel	42-47	70-75
Azufre en diésel	<5ppm	<1ppm
Aromáticos en diésel	4.8%	<4 %
Densidad en diésel	0.865	0.780
Octano en nafta (RON)	>100	45-75
Azufre en nafta	<0.5ppm	nulo
Aromáticos en nafta	5%	2%
Densidad en nafta	0.764	0.673

Fuente: Elaborado por la Unión Temporal CTL (pág. 3)

Analizando las dos tecnologías existentes para originar combustibles sintéticos a partir del carbón, y teniendo en cuenta las condiciones establecidas por normatividad colombiana en la calidad de las gasolinas, se puede deducir que, aunque con DCL se obtiene una gasolina de alto octanaje siendo > 100 asemejándose a la gasolina extra en Colombia con un número de octano de 94, no presenta un alto índice en cetano, el cual hace que la tecnología ICL sea más atractiva por la mayor generación de cetano y por su baja concentración de azufre, que le da un valor agregado para su uso en ciudades con altura como Bogotá. (UPME-ANH-Unión Temporal CTL, pg 5).

4.2.3 Ventajas de obtener combustible sintético a partir de carbón.

- Reducción de emisiones por el uso del combustible:
 - ✓ Azufre cercano al 100%
 - ✓ Reducción de contaminantes como mercurio y aromáticos.
- El gasificador se puede alimentar además de carbón con otros materiales como basuras orgánicas de las ciudades, biomasa de las producciones agrícolas y fondos de refinería, entre otros.

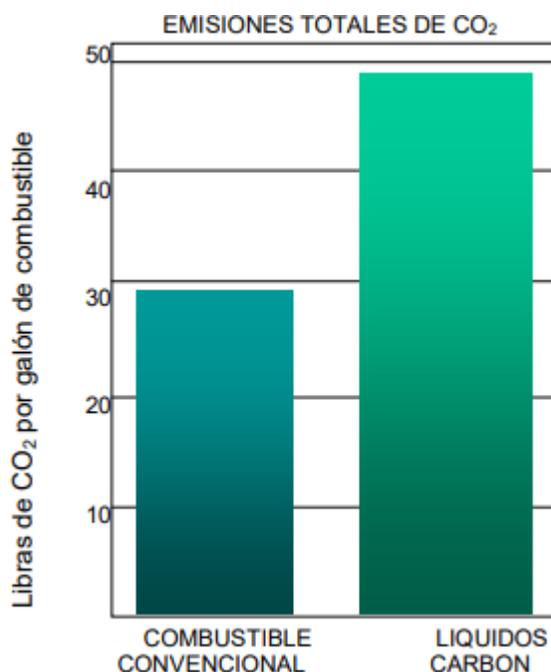
COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

4.2.4 Desventajas de obtener combustible sintético a partir de carbón.

Como punto de partida se analiza el impacto de las emisiones de CO₂ y éstas se comparan con las emitidas en la obtención de combustibles derivados del petróleo. Los resultados presentados en la figura 13 muestran que, para el ciclo de vida completo de los combustibles sintéticos a partir de carbón, las emisiones son mayores, de 1.5 a 1.9 veces, que las de los combustibles derivados del petróleo.

Figura 13.

Emisiones de CO₂ en el ciclo de vida completo de los combustibles sintéticos a partir de Carbón.



Fuente: Tomado de UPME-ANH-Unión CTL. Análisis y evaluación técnica y económica de la producción de combustibles líquidos a partir del carbón para el caso colombiano. (p.9), 2007.

Ante esta situación, se propone la idea de aplicar la tecnología de captura y secuestro de carbono (CCS) en los procesos de obtención para así lograr que las emisiones de CO₂ se

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

reduzcan a valores cercanos a los de la industria convencional de combustibles.

Es importante resaltar que la práctica de CCS es viable de manera especial para la tecnología ICL puesto que, como se dijo, durante el proceso de F-T se genera una corriente de CO₂ fácilmente capturable, lo que ocurre en mucho menor escala en el proceso DCL (en la generación de hidrógeno) y es prácticamente imposible en los procesos actuales de combustión donde el CO₂ se encuentra diluido por el nitrógeno del aire empleado como fuente de oxígeno. (UPME-ANH-Unión Temporal CTL, pág. 9).

4.3 Combustibles sintéticos a partir de gas natural.

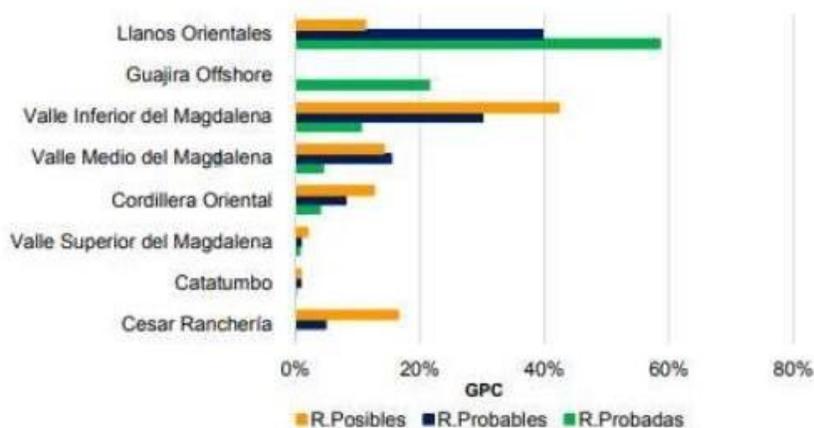
Para la transformación de gas natural a combustible sintético se tiene que pasar por varias etapas, en la primera etapa se lleva a cabo reformado de gas, en donde el gas natural se combina con oxígeno para formar un gas de síntesis que luego se somete a conversión en la síntesis F-T de baja temperatura para la producción de hidrocarburos (Sasol, 2016). Finalmente, este producto se rompe y se refina para producir los subproductos finales sintéticos tales como Diésel GTL, Nafta GTL y GLP (Sasol, 2016).

Debido a que para la producción de combustible sintético se necesitan grandes cantidades de CO₂ como materia prima, se recurre entonces a la producción de gas natural y, por lo tanto, se analizan las reservas de gas natural del país, para verificar el potencial que tendría el país para generar estos combustibles a partir de gas natural.

“Según la UPME Colombia cuenta con un volumen de 4.02 TPC de reservas de gas probadas, 0.77 TPC de reservas probables y 0.52 TPC de reservas posibles” (UPME, 2017, pág. 7).

Figura 14.

Distribución de reservas (probadas, probables y posibles) de gas en Colombia por cuenca.



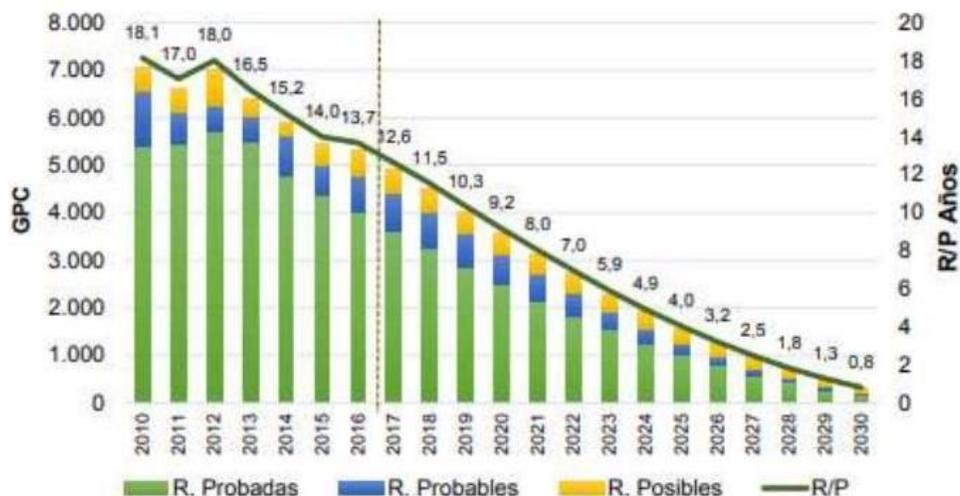
Fuentes: Tomado de UPME-ANH-Unión CTL. Análisis y evaluación técnica y económica de la producción de combustibles líquidos a partir del carbón para el caso colombiano. (p.9), 2007

“Por otro lado, la Figura 14 corresponde a la información reportada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) de las empresas operadoras, para el 31 de diciembre de 2016” (UPME, 2017, pág.9). Esta figura ilustra cómo ha sido la reducción de las reservas de gas natural del país a lo largo de los años, y reporta que, con las reservas descubiertas hasta el momento, el país dispondrá de gas natural hasta el año 2030. Por lo tanto, basado en esta proyección se analiza que Colombia a largo plazo no tendría como generar combustibles sintéticos a partir de gas natural, lo cual no lo hace un proyecto autosostenible energéticamente, creando desventaja en esta manera de obtención.

Figura 15.

Curva de Producción de reservas.

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO



Fuente: Tomado de UPME-ANH-Unión CTL. Análisis y evaluación técnica y económica de la producción de combustibles líquidos a partir del carbón para el caso colombiano. (p.10), 2007.

4.4 Obtención de gasolina a partir del metanol

La reacción de metanol a gasolina (MTG) se descubrió en la década de 1970 en la empresa Mobil Central Research Laboratories. Debido a este descubrimiento, Mobil empezó con su máxima producción en el año de 1986 de aproximadamente 600.000 toneladas de gasolina por año, posterior a esto y con el tiempo la planta cerró por cuestiones donde la gasolina disminuyó el precio y eventualmente el metanol aumentó. Esto mantuvo la sección de la producción del metanol donde hoy en día sigue en funcionamiento.

La tecnología MTG involucra la conversión del metanol a dimetil éter a 300°C sobre un catalizador activado de alúmina, seguido de la reacción sobre un catalizador de zeolita de lecho fijo llamado ZSM-5. Estas reacciones son fuertemente exotérmicas. La corriente de alimentación entra a 360°C y sale a 415°C, la presión del reactor es 22 atm. Una serie de reacciones convierte el metanol y el dimetileter a olefinas e hidrocarburos saturados. La producción del material en el rango de gasolina es 80% del total del hidrocarburo producido. En la planta de Nueva Zelanda, con

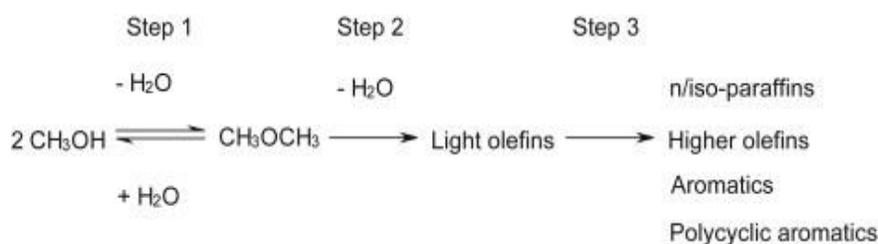
COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

la alquilación de los subproductos propano y butano se obtienen producciones totales de gasolina del 90% y 93.7 RON (Research octane number) (UPME-ANH-Unión Temporal CTL pag,57).

Simplificando el proceso, se muestra en el esquema el proceso de la reacción y teniendo 3 pasos consecuentes:

Figura 16.

Reacción metanol para obtener gasolina



Fuente: Tomado de France, L. J., Edwards, P. P., Kuznetsov, V. L., & Almegren, H. (2015). *The Indirect and Direct Conversion of CO₂ into Higher Carbon Fuels. Carbon Dioxide Utilisation*, (p.175). doi:10.1016/b978-0-444-62746-9.00010-4

- “El metanol se deshidrata inicialmente a dimetil éter (DME). Esto da como resultado una mezcla en equilibrio de metanol, DME y H₂O” (The indirect and direct conversion of CO₂ into higher carbon fuels, 2015, p.175).
- “Esta mezcla en equilibrio se convierte en olefinas ligeras en el rango C₂ -C₄” (The indirect and direct conversion of CO₂ into higher carbon fuels, 2015, p.175).
- “La mezcla de olefinas ligeras se convierte en parafinas, aromáticos, aromáticos policíclicos y olefinas superiores (>C₄)” (The indirect and direct conversion of CO₂ into higher carbon fuels, 2015, p.175).

4.5 Generación de combustibles sintéticos a partir de Hidrogeno verde y captura de CO₂

- **Captura de CO₂**

Para la captura de CO₂ se plantea que se puede obtener de diferentes maneras y diferentes corrientes, la más relevante por su facilidad de captura y rentabilidad, es a partir de corrientes de gas, en la actualidad existen bastantes tecnologías para la separación de CO₂ de una corriente de gas natural, la tecnología más importante y usada es la absorción química con alcanolaminas (Songolzadeh, Soleimani, Ravanchi, & Songolzadeh, 2014). Uno de los mejores solventes (alcanolaminas) es la MEA (mono-etanol-amina) debido a que su reacción con el CO₂ es rápida (Songolzadeh et al., 2014).

El proceso de la separación de CO₂ se describe a continuación (Songolzadeh et al., 2014): la corriente de gas natural (que contiene CO₂) debe estar a una temperatura entre 45 °C y 50 °C, y presión atmosférica; esta corriente alimenta a una columna de absorción (scrubber) donde la alcanolamina absorbe el CO₂. “Las corrientes se alimentan en contracorriente, el solvente ingresa con una baja concentración de CO₂ (0.1 – 0.2 mol CO₂/mol MEA) y sale con una alta concentración de CO₂ (0.4 – 0.5 mol CO₂/mol MEA). La temperatura dentro del scrubber se encuentra en un rango de 40 °C a 60 °C. Luego, la solución rica en CO₂ entra a una columna de extracción (stripper) para liberar el CO₂ del solvente. La regeneración de CO₂ ocurre a temperaturas más altas (100 °C – 120 °C) y presiones bajas (0.15 MPa – 0.2 MPa)”. (Wang et al., 2011).

Por último, la corriente de CO₂ se comprime para seguir en el proceso hacia la reacción inversa de desplazamiento de agua a gas (RWGS), mientras que el solvente (MEA) se recicla a la columna de absorción.

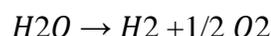
Otro proceso para la obtención de CO₂ es mediante la captura directa de la atmosfera

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

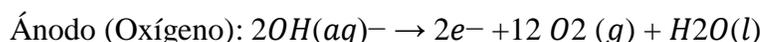
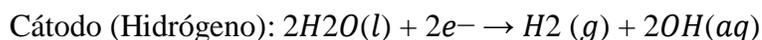
mediante filtros, esta tecnología ha sido implementada por Audi en su proyecto de generación de combustible sintético, en “el cual se extrae CO₂ como una captura directa del aire del ambiente, mediante una tecnología de Climeworks, el socio tecnológico de Audi con sede en Zúrich”. (Audi,2015)

- **Electrólisis**

“La electrólisis consiste en disociar agua en hidrógeno y oxígeno sin ningún tipo de partes móviles” (Graves et al., 2011) a través de la siguiente reacción:



Cada producto se separa en compartimientos asociados a cada electrodo según las siguientes semi- reacciones:



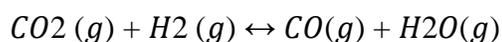
Existen diferentes tipos de electrólisis, entre los principales se encuentra la electrólisis a alta temperatura (~850 °C), la cual se enmarca en un ambiente académico (investigación y desarrollo), y la electrólisis a baja temperatura (70°C – 100 °C), que es comercialmente usada (Graves et al., 2011). “La electrólisis a baja temperatura considera celdas de ambiente alcalino, las cuales son usadas ampliamente en la actualidad” (Ivy, 2004; Swalla, 2008). Por esta razón y considerando que el consumo energético se disminuye al preferir calentar el hidrógeno obtenido, en lugar de calentar el agua, se selecciona este tipo de electrólisis.

“En la electrólisis alcalina de baja temperatura típicamente se usa como electrolito una solución de KOH 30wt%. Por otro lado, los electrodos usualmente son electrodos porosos de níquel Raney, los cuales son formados por la electrodeposición de aleaciones de Ni-Al o Ni-Zn,

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO en una matriz metálica” (Graveset al., 2011).

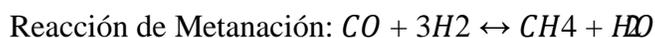
- **RWGS**

La reacción inversa de desplazamiento de agua a gas (RWGS reverse water-gas shift) consiste en la reacción endotérmica de hidrogenación del CO₂ a CO:



Para que la reacción RWGS sea favorecida se necesitan altas temperaturas (800 °C - 1200 °C, $T \approx 900^\circ C$) y presiones moderadas (2 MPa - 2.5 MPa), además de un catalizador tipo Shell de níquel (König, Freiberg, Dietrich, & Wörner, 2015; Unde, 2012; Jess et al., 2011).

Cabe mencionar que junto con la reacción RWGS otras reacciones indeseadas pueden ocurrir, las más importantes son (Unde, 2012):



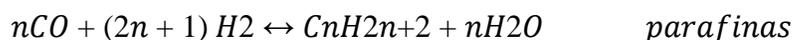
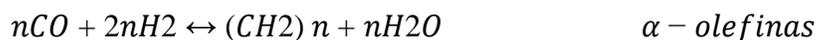
Sin embargo, “controlando condiciones de alimentación, temperatura y catalizador se puede favorecer la reacción de RWGS” (Unde, 2012). “La alimentación óptima para el reactor RWGS, cumple una relación molar de H_2/CO_2 alrededor de 3 para que el syngas producido tenga una relación molar de H_2/CO aproximada de 2” (Unde, 2012).

- **Síntesis FT**

“La síntesis de Fischer-Tropsch (FT) consiste en la transformación catalítica de gas de síntesis en cadenas lineales largas de hidrocarburos, resultando en una mezcla que contiene de 1 a 50 o más átomos de carbono” (Pérez Angulo, Cabarcas Simancas, Archila Castro, & Tobias,

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

2005). El crudo sintético resultante debe pasar por un proceso de refinación para así llegar al producto final deseado que es, diésel sintético. La síntesis FT se representa con la siguiente reacción química:

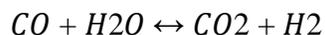


Los productos obtenidos dependen de la relación H₂/CO del gas de síntesis, del tipo de catalizador utilizado, del tipo de reactor, de las condiciones de operación (presión y temperatura) y del procesamiento final de la mezcla de hidrocarburos obtenida. Cuando se trabaja a condiciones de temperatura bajas (200 °C – 240 °C) se obtiene como resultado un crudo que producirá principalmente diésel en la refinación (Espinoza, Steynberg, & Vosloo, 1999), mientras que si se opera a altas temperaturas (300 °C – 350 °C) se obtiene un crudo que producirá gasolina como producto final principal en la refinación (Stergaršek, 2004).

“Los productos de Fischer-Tropsch forman una mezcla compleja multicomponente (parafinas y α -olefinas) con una variación sustancial en el número de carbono y tipo de producto. Dado que el objetivo es producir la mayor cantidad posible de diésel, se utiliza un reactor Slurry a baja temperatura y una presión de 2.5 MPa - 4 MPa. Este reactor opera en tres fases y consiste en un lecho de catalizadores suspendidos y dispersos en líquidos (productos de la síntesis). En este proceso, el gas de síntesis es burbujeado desde la parte inferior del reactor, promoviendo el contacto con los catalizadores” (Pérez et al., 2005).

“Si el gas de síntesis presenta una relación H₂/CO menor a 2 es importante favorecer la producción de hidrógeno por medio de la reacción del CO con el vapor de agua, la cual se denomina WGS (Water Gas Shift). En este caso se utiliza hierro como catalizador, el cual posee una alta actividad en presencia de esta reacción” (Pérez et al., 2005):

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO



Por otro lado, si se tiene que la relación H₂/CO es igual a 2 se deben implementar catalizadores de cobalto, este posee una baja tendencia a formar carburos a las condiciones de presión y temperatura seleccionadas para el proceso. Además, se adicionan promotores (Ru, Re o Pt) para prevenir la desactivación del catalizador. (Pérez et al., 2005).

En la etapa final se encuentra un hidrocraqueador que a comparación de una refinería convencional de crudo representa un menor costo, debido a la calidad de las cadenas de hidrocarburos. Finalmente se obtienen productos tales como nafta, diésel y lubricantes, los cuales presentan mejores propiedades que los obtenidos de la refinación convencional. En la Tabla 5 se muestra una comparación entre el diésel convencional y el sintético.

Tabla 4.

Comparación del diésel convencional y el sintético

Características	convencional	Sintético
Cetano	43-45	>70
Azufre	<50 ppm	< 5 ppm
Aromáticos	<35 %	< 1%
Color	Característico	Incoloro
Olor	Característico	Incoloro

Fuente: Tomado de (Pérez et al., 2005).

Se calcula que hasta el 70% de los hidrocarburos producidos puede ser convertido en diésel; una forma aproximada de obtener este porcentaje con la distribución es limitar el rango del número de carbonos de los productos. La limitación obedece a dos circunstancias, el número de carbonos máximo se puede limitar con el tamaño de los poros del catalizador y el número de carbonos mínimo se podría lograr recirculando los productos más livianos al reactor (Pérez et al., 2005).

5. Ventajas del uso de los combustibles sintéticos en Colombia

La implementación de proyectos como la producción de combustibles sintéticos contribuirían a que Colombia cumpla con los compromisos del acuerdo de París. Además, que generarían autosuficiencia energética, resaltando principalmente el autoabastecimiento de diésel, lo que implicaría una disminución en las importaciones de este producto.

A continuación, se presentarán las ventajas que generaría el uso de los combustibles sintéticos en Colombia y el potencial que tiene el país frente a otros para generarlo.

- Los combustibles obtenidos son compatibles con la actual infraestructura de estaciones de servicio, lo cual lo hace atractivo rentablemente, sobre todo si se compara con la alternativa de implementación de los coches eléctricos, que estos si necesitan de estaciones de servicio de recarga especiales.
- Flexibilidad: ofrece independencia energética e influencia en la parte económica, ya que en caso de que el precio internacional del crudo baje, es posible cambiar la forma de obtención de combustibles a alternativas como este nuevo combustible sintético hecho a partir de hidrógeno y CO₂.
- “Colombia importa hoy en día diésel, la producción de la planta sería tal que cubriría las necesidades del país y generaría un 20% adicional de nafta, que podría enviarse a la refinería como materia prima” (UPME-ANH-Unión Temporal CTL, pág. 6).
- Según Siemens- Energy el combustible sintético es un portador de energía líquida que emite alrededor de un 90 % menos de CO₂ que su homólogo fósil.
- Se obtiene un proceso que en todo su ciclo de producción genera emisiones neutras de

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

CO₂, ya que el gas liberado a la atmosfera por la combustión interna de los coches seria nuevamente captado para la generación de estos mismos combustibles, según BOSCH lo que se requiere de CO₂ como materia prima es el mismo emitido a la atmosfera, cerrando el ciclo en emisiones netas 0.

- El proyecto genera miles de empleos estables y seguros.
- En el país hay experiencia con la producción y manejo del gas de síntesis, en plantas de producción de hidrógeno en las refinerías y plantas productoras de fertilizantes nitrogenados (UPME-ANH-Unión Temporal CTL, pág. 6).

5.1 Fortalezas de Colombia en materia prima

Colombia es uno de los países privilegiados en cuanto a la disponibilidad y diversidad de los recursos naturales, los cuales tienen la capacidad de cubrir la demanda energética actual, ya sea para la producción de hidrógeno o la captura y/o utilización de las emisiones de CO₂ generadas.

5.1.1 Análisis de ventajas de Colombia en disposición de recursos naturales.

Colombia dispone gran diversidad de recursos, por un lado, su oferta hídrica es seis veces el promedio mundial y tres veces el de Latinoamérica. Su orografía y régimen pluviométrico presenta sus mejores condiciones para generar energía hidroeléctrica en una gran parte del país, llegando aproximadamente a un 70% de la generación eléctrica del país (Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, pág. 9).

Por otro lado, el recurso eólico es comparable en intensidad y constancia al obtenible en procesos “offshore” con factores que superan el 60% y el recurso solar también es abundante por estas regiones que son las zonas costeras del país, donde las instalaciones de tecnología solar

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

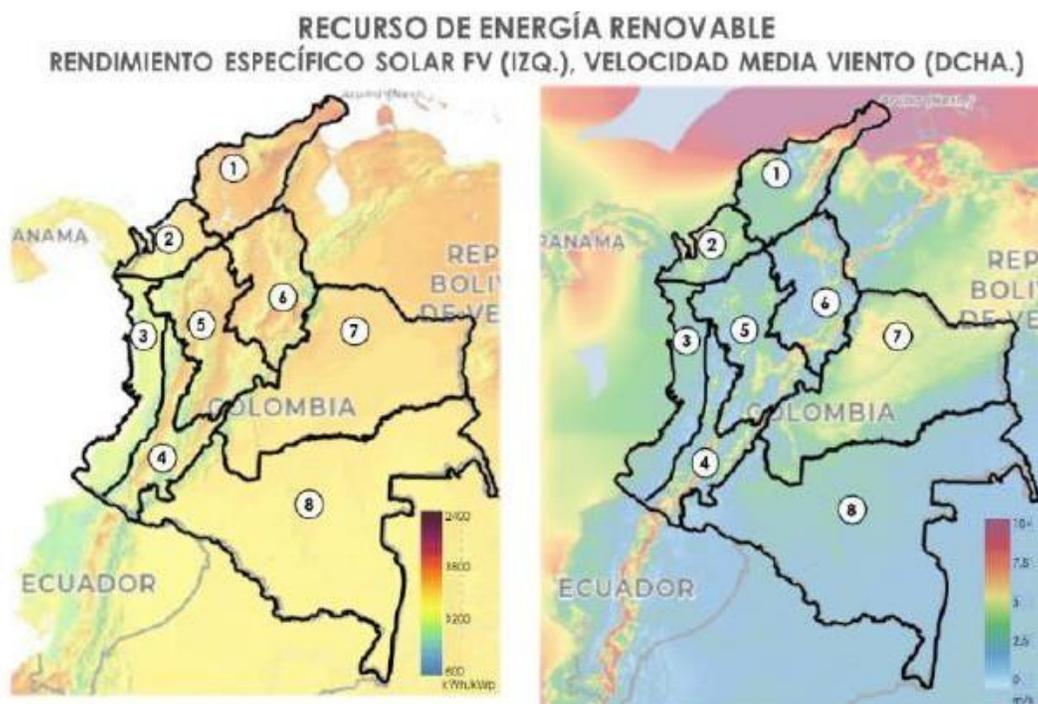
alcanzan factores de planta superiores al 19-20%.

Colombia tiene una gran ventaja para la generación de hidrógeno verde ya que posee enormes fuentes de energía renovable que hacen el proceso sostenible energéticamente.

A continuación, se presentan las zonas donde se ha evaluado el recurso eólico y solar en cada departamento determinado por 8 áreas climáticas de la zona colombiana.

Figura 17.

Separación de Colombia por zonas de recursos renovables



Fuente: Tomado de Hoja de ruta de hidrógeno en Colombia. (p.14), por MinEnergía, 2021

Cada una de estas regiones está compuesta por varios departamentos o participaciones de estos:

1. Caribe Norte: Magdalena, Sucre, Atlántico, La Guajira, Norte de Bolívar, Norte de Cesar

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

2. Caribe Sur: Norte de Antioquía, Córdoba, Norte de Chocó
3. Pacífico: Sur de Chocó, Oeste de Valle del Cauca, Oeste de Cauca y Oeste de Nariño
4. Andes Sur: Huila, Este de Valle del Cauca, Este de Cauca, Este de Nariño y Quindío
5. Andes Centro: Tolima, Cundinamarca, Sur de Antioquía, Risaralda, Caldas y D.C.
6. Andes Norte: Boyacá, Santander, Norte de Santander, Sur de Cesar, Sur de Bolívar
7. Orinoquía: Vichada, Meta, Casanare, Arauca
8. Amazonía: Guainía, Guaviare, Vaupés, Caquetá, Putumayo, Amazonas

De lo anterior se resalta la existencia de un gran recurso eólico en ciertas áreas de la región de Caribe Norte, llegando a alcanzar factores de planta de hasta un 63% en el departamento de La Guajira, factores equiparables a los de las mejores zonas del mundo. Adicionalmente, se pueden alcanzar costos de producción de energía solar muy competitivos, llegando a factores de planta del 21% en las regiones de Caribe Norte y Andes Norte (Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, pág. 15).

En lo relativo al potencial renovable, actualmente se conoce de potencial en la región de La Guajira, donde el potencial eólico terrestre es de más 20 GW y solar de más de 40 GW. Aunque La Guajira es la región que presenta el mejor recurso renovable y, en consecuencia, el costo nivelado del hidrógeno más competitivo, el análisis y desarrollo del potencial de otras regiones permitirá abastecer el mercado nacional y exportaciones en el largo plazo, además de disminuir los costos de transporte al producir el hidrógeno en zonas más próximas a su consumo

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO
(Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, pág. 42).

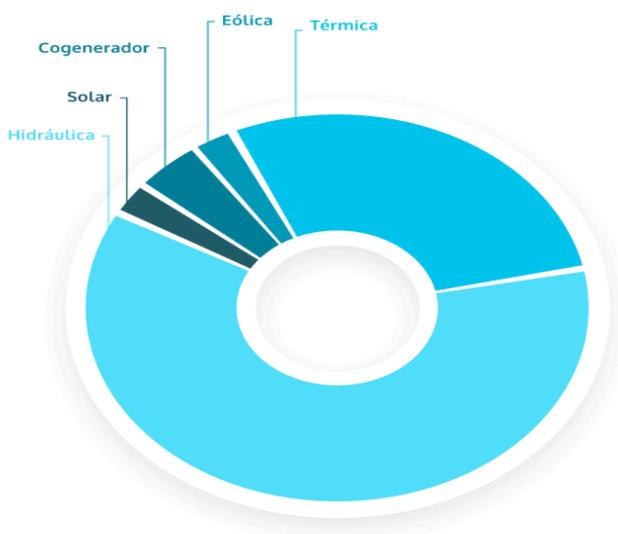
También gracias al hidrógeno de bajas emisiones se contribuirá a acelerar la consecución de los objetivos de la estrategia de descarbonización de Colombia. Como vector energético, el hidrógeno acelerará el despliegue de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR), como la energía solar y eólica, mediante el almacenamiento estacional de energía y su transporte a los centros de demanda. (Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, pág. 13).

5.2 Capacidad instalada en Colombia

La matriz de generación eléctrica en Colombia es una de las matrices más limpias del mundo, específicamente la sexta más limpia del mundo, el 68% de su capacidad instalada es de fuentes renovables de energía eléctrica. Las empresas que están asociadas a la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (ACOLGEN), representan lo que es el 70% de la capacidad instalada del país, mientras el 85% son plantas de fuentes renovables.

Figura 18.

Capacidad Instalada en Colombia



Fuente: Tomado de Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica [ACOLGEN].

La capacidad de cada fuente se distribuye de la siguiente manera como se representa en la siguiente tabla:

Tabla 5.

Fuentes y su capacidad instalada en Colombia

Fuente renovable	Porcentaje (%)	Megavatios (MW)
Solar	0.1	160.31
Cogenerador	0.9	192.50
Eólica	0.1	18.42
Térmica	30.7	5461.24
Hidráulica	68.3	11974.15

Fuente: Información recopilada de PARATEC (2020-2021)

5.3 Reducción huella de carbono

Como lo vimos en el punto anterior Colombia tiene un gran potencial en recursos naturales sobre todo en términos de viento y radiación solar, esto hace aumentar la sostenibilidad y limpieza de su matriz de generación.

“Colombia se ha destacado por ser un país objetivo de intervención por parte de estas iniciativas dado su reconocimiento internacional por estar a la vanguardia en la temática de cambio climático o al menos mostrar el interés en fortalecer sus capacidades y tener un equipo bien preparado no solo dentro del Ministerio de Ambiente sino dentro de todos los ministerios y sectores que pueden aportar para el desarrollo de planes sectoriales de mitigación” (IDEAM,2021). Por lo tanto, al depender el proceso de producción de combustibles sintéticos de estas energías renovables limpias, aseguran que como resultado final se genere un proceso limpio en emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo así en la descarbonización.

5.4 Marco legal y financiamiento

En Colombia las compañías petroleras deben pagar por regalías entre el 8% y el 25% del valor de la producción de hidrocarburos (Contraloría General de la República, 2017). Con respecto a las regalías, el art. 361 de la Constitución Política de Colombia expresa: Con los ingresos provenientes de las regalías que no sean asignados a los departamentos y municipios, se creará un fondo nacional de regalías cuyos recursos se destinarán a las entidades territoriales en los términos que señala la ley. Estos fondos se aplicarán a la preservación del medio ambiente y a financiar proyectos regionales de inversión definidos como prioritarios en los planes de desarrollo de las respectivas entidades (Constitución Política de Colombia, 1991).

Entre esos fondos que se mencionan en este artículo, aquellos que serían posibles fuentes de inversión para este proyecto son el Fondo de Ciencia y Tecnología e Innovación, y el Fondo de Desarrollo Regional (Contraloría General de la República, 2017). Estos fondos apoyan proyectos que mitiguen los efectos del cambio climático, como lo es el reducir las emisiones de los gases efecto invernadero. Por lo tanto, el proyecto de producción de un combustible sintético neutro en emisiones de carbono estaría respaldado por dichos fondos, producto de las regalías, lo cual hace que tome ventaja en la parte económica.

6. Análisis del potencial de los combustibles sintéticos sobre la reducción de los gases efecto invernadero en Colombia.

6.1 Inventario y proyecciones de emisiones CO₂ por Ministerio de Ambiente.

Gracias al desarrollo de inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, se permite tener una mejor visualización del panorama actual en cuanto a los sectores principales responsables de estas emisiones, logrando así el poder identificar de una manera óptima las

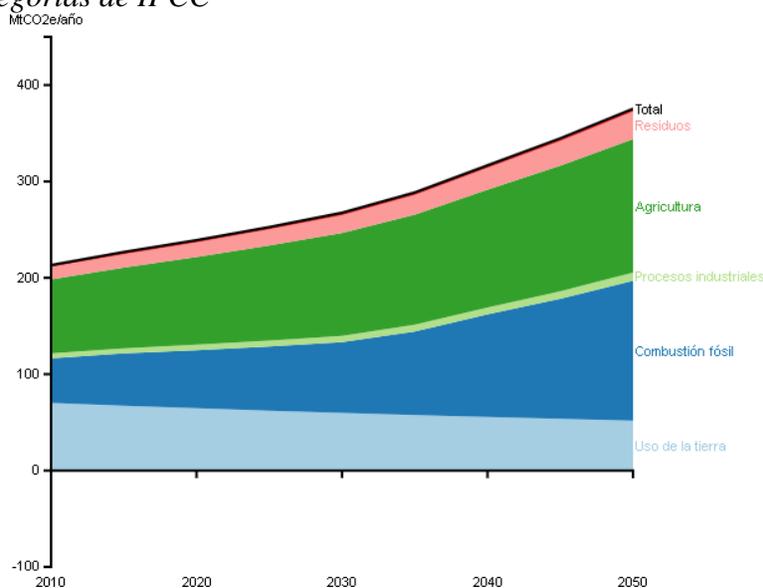
COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

oportunidades o escenarios que pueden ayudar a gestionar la reducción de estos gases, principalmente del CO₂.

A continuación, se presentan las emisiones de CO₂ por categorías y sectores, ilustrando no solo las emisiones que se han dado hasta la actualidad, si no también generando una proyección hasta el año 2050, teniendo en cuenta la tendencia de aumento de los últimos años.

Figura 19.

Emisiones por categorías de IPCC



Fuente: Tomado de (Minambiente, calculadora huella de carbono 2050)

A partir de la información reportada, se analiza la categoría de la combustión fósil, en la cual se quiere apreciar el panorama actual en emisiones de CO₂ que presenta el país.

Según el Ministerio de ambiente, para 2010 se obtuvieron unas emisiones totales netas del orden de 213 Mt de CO₂ al año, de las cuales el 21,59% fueron gracias a la combustión fósil con emisiones de 46 Mt de CO₂ al año y para el 2020 emisiones del orden de 239 Mt de CO₂ al año, de las cuales el 25,20% fueron a causa de la combustión fósil con emisiones de 60 Mt de CO₂ al año, dando como resultado una tendencia de aumento del 30,43% en las emisiones de CO₂ al año, dando como resultado una tendencia de aumento del 30,43% en las emisiones de CO₂ por parte de combustión fósil y del 12,20% en emisiones totales netas durante el lapso de 10

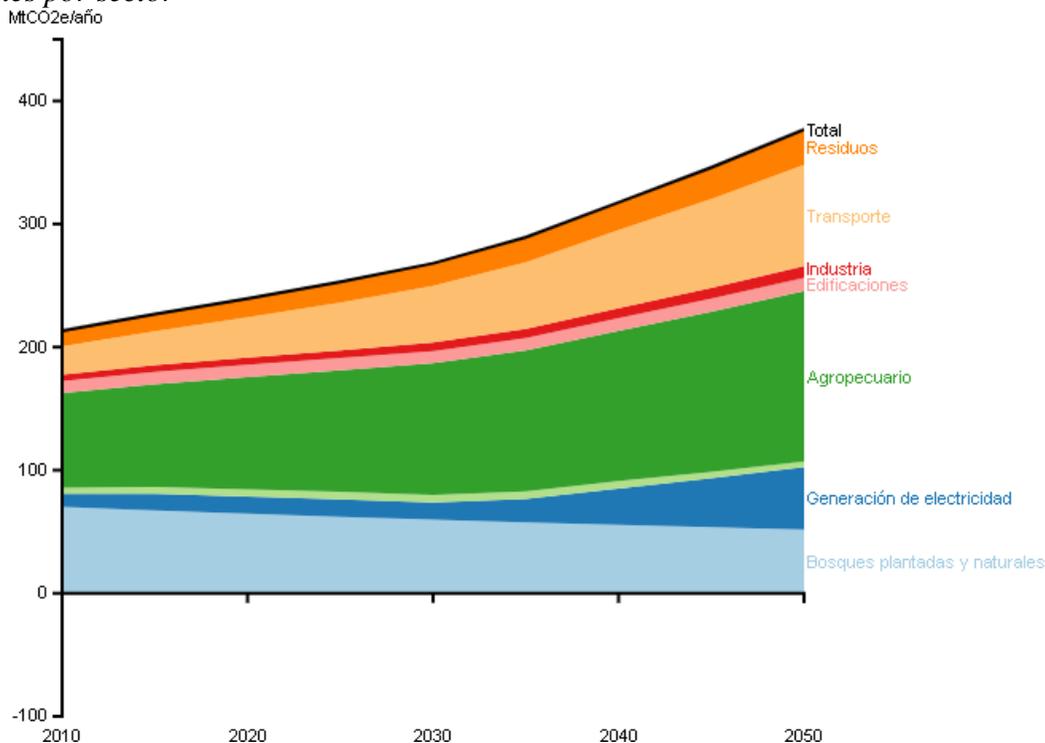
COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO años.

Seguido a la tendencia de aumento de emisiones de manera global, se observa que para el año 2030 si el país sigue funcionando de la manera actual en todas sus categorías, se obtendrían emisiones totales netas del orden de 268 Mt de CO₂ al año y para el año 2050 unas emisiones netas del orden de 377 Mtde CO₂ al año.

Por esto, es importante resaltar que, si no se toman medidas para la descarbonización y se sigue dependiendo de los combustibles fósiles, para el año 2050 se tendrán emisiones del orden de 145 Mt de CO₂ al año en la categoría de combustión fósil, lo que comparado con el año 2020 se estaría hablando de un aumento del 141,66%, lo cual es bastante representativo a la hora de tomar decisiones que lo prevengan.

Figura 20.

Emisiones por sector



Fuente: Tomado de (Minambiente, Calculadora huella de carbono 2050)

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Principalmente se analizan los sectores de transporte e industria ya que estos son de gran interés para el proyecto de combustibles sintéticos.

Según el ministerio de ambiente en el año 2010 se emitieron 213 Mt de CO₂ totales netas, de las cuales 23 Mt de CO₂ fueron por parte del sector de transporte, representando así, alrededor del 10.79% del total de emisiones de CO₂, y 5 Mt de CO₂ por parte del sector de la industria ocupando un 2.34% de las emisiones totales de CO₂, para el año 2020 se obtuvieron unas emisiones totales netas del orden de 240 Mt de CO₂, el cual el sector transporte representó el 13.75% con 33Mt de CO₂ y el sector de industria el 2.5% con 6Mt de CO₂.

Analizando el panorama, transcurrido 10 años (2010-2020) se tiene que en el sector del transporte hay una tendencia de aumento en las emisiones del 43.47%, en la industria un aumento del 20% y en emisiones totales un aumento del 12.67%. Con respecto a esto se proyecta que si el país se mantiene funcionando de la manera actual y se tiene en cuenta que al pasar los años la demanda de combustibles aumentaría, se tiene que para el año 2030 se obtendrían unas emisiones totales neutras de 269Mt de CO₂ de las cuales el transporte aportaría el 17.10% con 46Mt de CO₂ y la industria sería responsable del 2.97% con 8Mt de CO₂.

Para el año 2050 se calculan unas emisiones totales netas de 387Mt de CO₂ de las cuales el transporte aportaría el 21.18% con 82 Mt de CO₂ y la industria sería responsable del 3.35% con 13Mt de CO₂.

Debido al panorama actual del país y del mundo con respecto a la crisis climática, se plantea la alternativa de lograr reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente las de CO₂, con la implementación de los combustibles sintéticos a partir de hidrogeno verde y captura de CO₂.

6.2 Potencial del Efuel para la reducción de los gases de efecto invernadero.

Teniendo en cuenta las emisiones de CO₂ presentadas previamente en el inventario, se visualiza como los combustibles sintéticos impactarían positivamente atacando de manera directa e indirecta estas fuentes de emisión y a su vez, contribuyendo al compromiso adquirido por Colombia en el Acuerdo de París.

6.2.1 Sector transporte

Hasta hace poco, creer en la existencia de un motor de combustión sin emisiones de carbono netas era algo no contemplado para Colombia y el mundo. Ahora se ha convertido en una alternativa que promete generar sostenibilidad y eficiencia energética e ambiental a la movilidad.

Todo empieza debido a que para la producción de este carburante líquido se requiere como materia prima uno de los gases más dañinos para el ambiente que hace parte del grupo de los GEI, llamado CO₂, al ser este gas un recurso indispensable para la generación de dicho combustible lo hace aún más atractivo, ya que significaría que mientras se genera movilidad en el país también se estará influyendo al mismo tiempo en la descarbonización, lo cual lo hace un proyecto que puede contribuir a la meta pactada en el acuerdo de París.

También cabe resaltar que el carburante sintético está compuesto por un número de carbonos similar al de la gasolina o Diésel convencional, lo cual permite que puedan llegar a combinarse para generar un cambio paulatino a esta nueva tecnología, y por lo anterior también hace que el nuevo combustible se pueda adaptar fácilmente a las estaciones de servicio que proveen dicho producto a la humanidad, lo que generaría rentabilidad debido a que no habría

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

necesidad de emplear nuevas infraestructuras como si pasa con los carros eléctricos.

Según la compañía Siemens-Energy este nuevo Efuel portador de energía líquida, generaría alrededor de un 90% menos de emisiones netas de CO₂ que un combustible de origen fósil.

Actualmente el parque automotor del país está conformado por alrededor de 15 millones de vehículos, en los que se tienen 8.9 millones de motos y 6.2 millones de todo tipo de carros (Runt,2019).

Basándose en la teoría, inventario GEI y casos de estudio, se realiza una proyección de emisiones de CO₂ hasta el año 2050, en el cual se toma el dato de reducción de emisiones de CO₂ del 90% cuando se hace uso de los combustibles sintéticos en el sector de transporte.

Principalmente se plantea un escenario optimista en el que para el año 2025 empezaría el uso de estos combustibles en Colombia, con una participación inicial del 5%, es decir, 750.000 vehículos implementarían el nuevo combustible neutro en emisiones de CO₂, seguidamente para el año 2030 aumentaría la participación a un 15% del parque automotor, para el año 2035 a un 25%, para el año 2040 una participación del 45%, para el año 2045 a un 55% y para el año 2050 se estima una participación del 65%.

A continuación, se presenta tabla de datos y gráfico de la proyección realizada por parte del Minambiente con calculadora carbono 2050.

Tabla 6.

Emisiones CO₂ en el sector de transporte, panorama actual

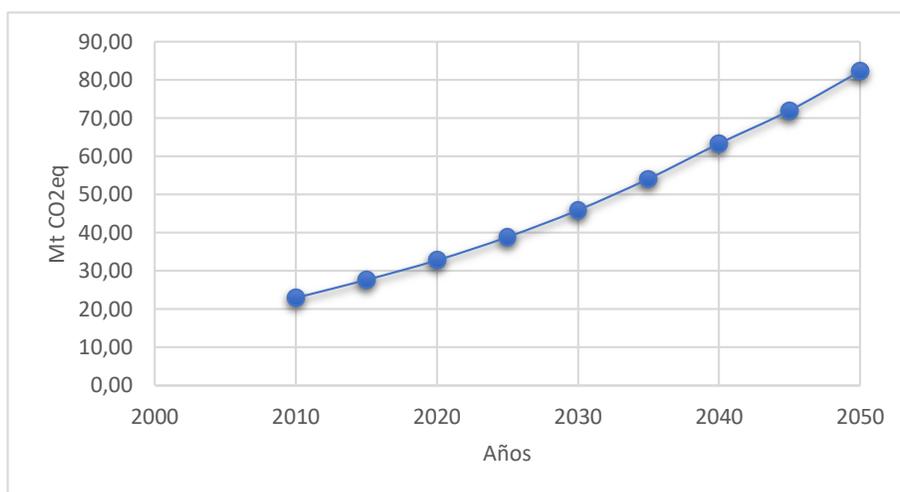
Emisiones CO ₂ panorama actual									
Mt CO ₂ e	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Transporte	22,90	27,61	32,73	38,82	45,87	54,08	63,30	71,96	82,23

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Fuente: Información recopilada de Minambiente (calculadora de carbono 2050)

Figura 21.

Proyección de emisiones de CO2 en sector de transporte, panorama actual



Fuente: Autores

Como se puede observar, con el panorama actual del país en cuanto al sector de transporte se aprecia una tendencia de aumento en las emisiones de CO₂ a lo largo de los años, lo cual genera preocupación a la hora del cumplimiento del acuerdo de París, ya que no se obtendrían reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030 ni tampoco para el año 2050.

A continuación, se presenta la proyección elaborada a partir de la información recopilada del inventario de emisiones por parte del ministro de ambiente y casos de estudio.

Tabla 7.

Emisiones CO2 en el sector de transporte, panorama combustible sintéticos

Mt CO2e	Emisiones CO2 panorama					Combustibles sintéticos				
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	
Porcentaje implementación	0	0	0	5%	15%	25%	45%	55%	65%	

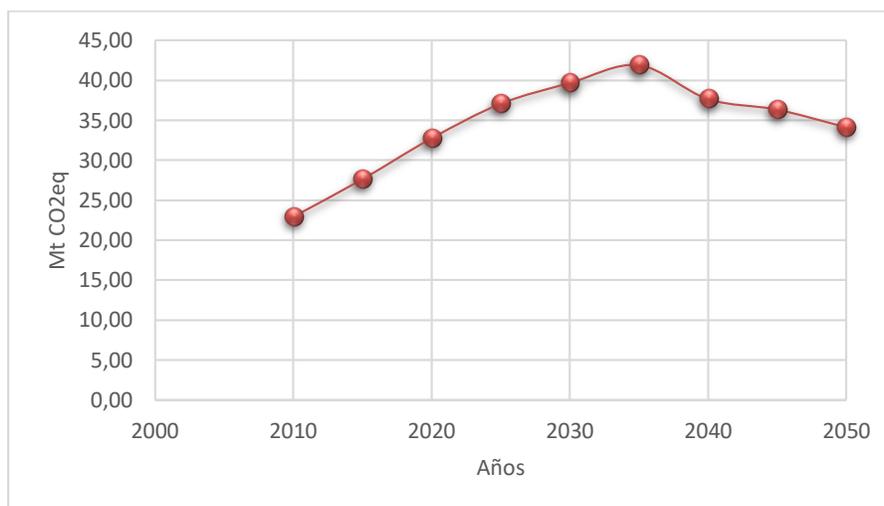
COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

Transporte	22,90	27,61	32,73	37,07	39,68	41,91	37,66	36,34	34,12
------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Información recopilada de Minambiente (calculadora de carbono 2050).

Figura 22.

Proyección de emisiones de CO₂ en sector de transporte, panoramas combustibles sintéticos



Fuente: Autores

La estimación se realiza en base de las proyecciones elaboradas por el ministerio de ambiente, en donde se tienen en cuenta el aumento de demanda de combustibles a través de los años, por lo tanto, se hace uso de estas emisiones de CO₂ proyectadas y se aplica el 90% de reducción de emisiones de CO₂, para cada escenario planteado, es decir, para cada caso de participación o implementación de este combustible.

Se observa gran diferencia a comparación de la tendencia del panorama actual, fijándose en este caso una leve estabilidad y luego una reducción en las emisiones de CO₂ por parte del sector de transporte, lo cual significa gran importancia a la hora de contribuir con el

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO
cumplimiento del acuerdo de Paris.

6.2.2 Sector industria petrolera

Dado que una de las principales actividades que emite CO₂ es la combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) para generar energía y con fines de transporte, resulta ser un factor importante a la hora de analizar escenarios óptimos para lograr la descarbonización que se requiere.

Por esto, se analiza que, con la implementación de los combustibles sintéticos, se generaría una reducción en las emisiones de CO₂ en la industria petrolera, ya que una de las maneras en las que se capturaría el CO₂ requerido como materia prima, sería a partir de las corrientes de gas natural, lo que significa que lo que actualmente se emite de CO₂ sería reducido gracias a la captura de este mismo.

Aunque actualmente el sector de la industria energética representa un bajo porcentaje de las emisiones totales netas de CO₂, igualmente contribuiría con la reducción de gases efecto invernadero que busca el país.

A continuación, se presenta un escenario optimista en el cual al pasar de los años se aumenta el porcentaje de captación de CO₂ para la elaboración del combustible sintético.

Tabla 8.

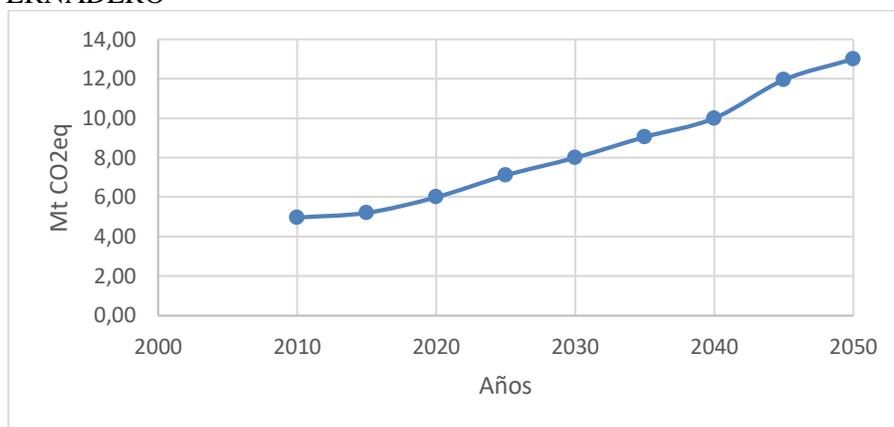
Emisiones CO₂ en el sector de industria energética, panorama actual

Emisiones CO ₂ panorama actual									
Mt CO ₂ e	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Producción de hidrocarburos y carbón	4,97	5,21	6,00	7,11	8,00	9,05	10,00	11,94	13,00

Fuente: Información recopilada de Minambiente (calculadora de carbono 2050).

Figura 23. *Proyección de emisiones de CO₂ sector industria energética, panorama actual*

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO



Fuente: Autores

A partir de la curva de proyección de emisiones de CO₂, con el panorama actual del país en cuanto al sector de industria energética se puede observar una tendencia de aumento a lo largo de los años, lo cual genera preocupación a la hora del cumplimiento del acuerdo de París, ya que no se obtendrían reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030 ni tampoco para el año 2050.

A continuación, se presenta la proyección elaborada a partir de la información recopilada del inventario de emisiones por parte del ministro de ambiente y casos de estudio.

Tabla 9.

Emisiones CO₂ en el sector de industria energética, panoramas combustibles sintéticos

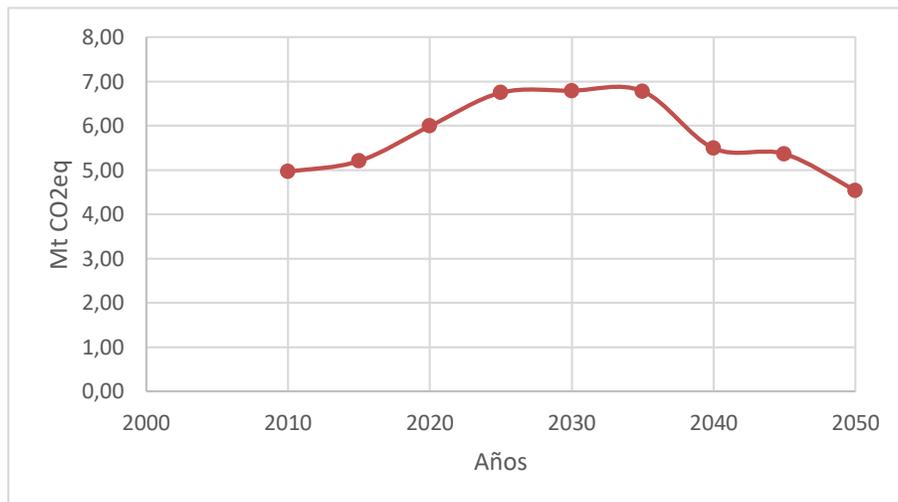
Emisiones CO ₂ panorama Combustibles sintéticos									
Mt CO ₂ e	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Porcentaje implementación	0	0	0	5%	15%	25%	45%	55%	65%
Producción de hidrocarburos y carbón	4,97	5,21	6,00	6,75	6,80	6,79	5,50	5,37	4,55

Fuente: Información recopilada de Min ambiente (calculadora de carbono 2050)

Figura 24.

Proyección de emisiones de CO₂ sector industria energética, panoramas combustibles sintéticos.

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO



Fuente: Autores

La estimación se realiza en base de las proyecciones elaboradas por el ministerio de ambiente en el sector de industria energética, el cual se proyecta ligado a la generación de combustible sintético planteado en el sector de transporte, ya que a medida que aumente la producción de dicho combustible, aumentara la captación de CO₂ de la industria y por lo tanto se verán mayores reducciones de las emisiones de CO₂ en el sector.

Con respecto a la gráfica presentada para el panorama actual se observa gran diferencia en las emisiones de CO₂, fijándose en este caso una leve estabilidad entre los años (2025-2035) y luego una reducción notoria en las emisiones de CO₂ por parte del sector de industria energética, lo cual significa gran importancia a la hora de contribuir con el cumplimiento del acuerdo de Paris y llegar a alcanzar la meta de carbono neutralidad para el año 2050.

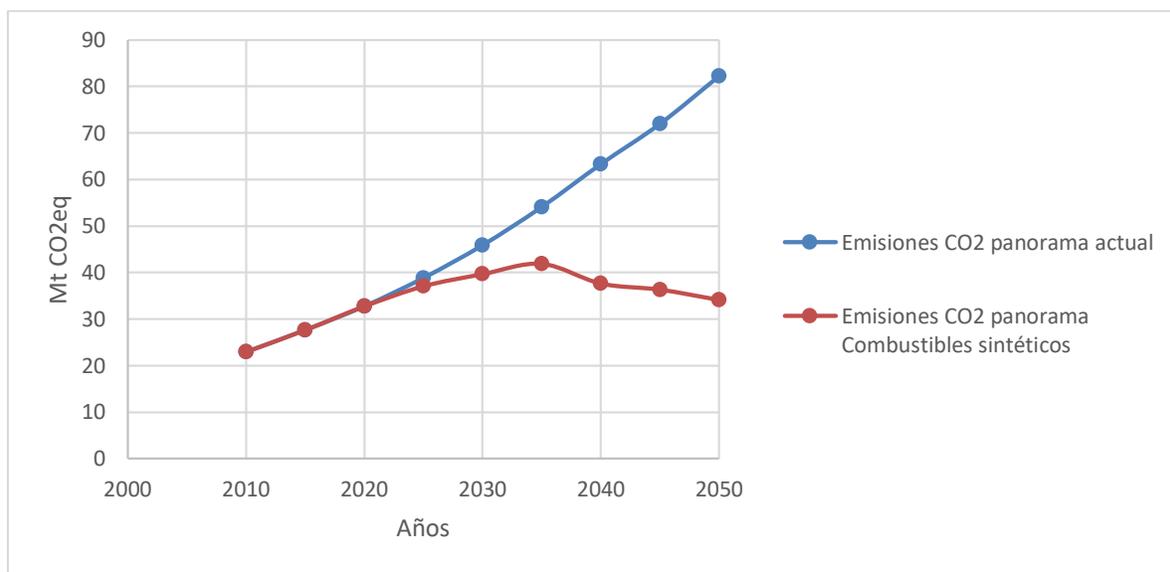
6.3 Análisis de proyecciones

A continuación, se presentan las gráficas de los dos escenarios planteados en el estudio

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO frente al sector de transporte e industria petrolera.

Figura 25.

Proyección comparativa de emisiones de CO₂, sector transporte



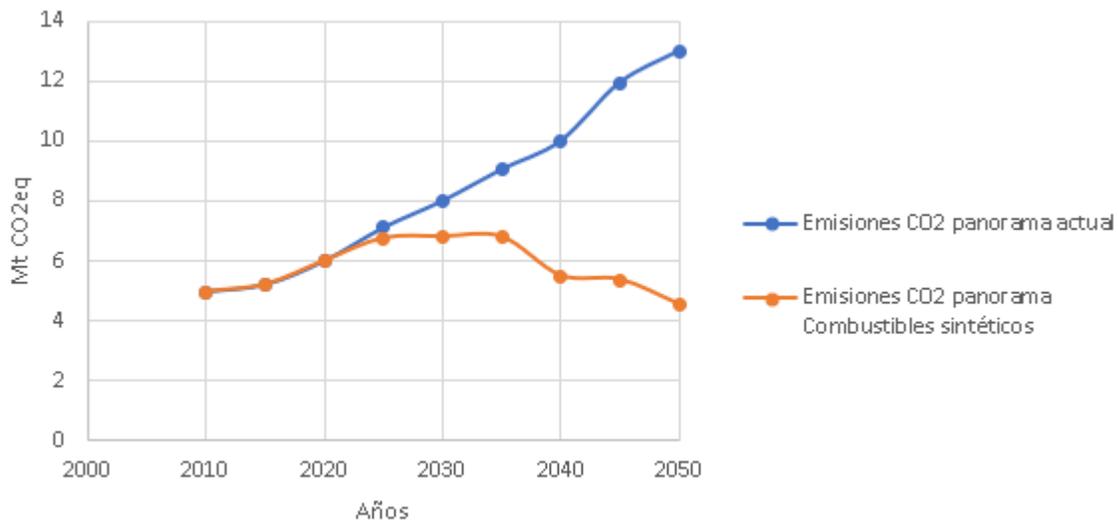
Fuente: Autores

Se puede observar que a partir de la implementación de combustibles sintéticos se presenta una reducción de emisiones de CO₂ en el sector de transporte, que para 2030 es del orden del 13.49% que corresponde a 6.18 Mt de CO₂ y en 2050 una reducción del 58.50%, que corresponde a 48.11 Mt de CO₂.

Figura 26.

Proyección comparativa de emisiones de CO₂, sector industria petrolera

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO



Fuente: Autores

A partir de la curva anterior se puede observar que con la implementación de combustibles sintéticos se presenta una reducción de emisiones de CO₂ en el sector de industria petrolera, que para 2030 es del orden del 15% que corresponde a 1.2Mt de CO₂ y en 2050 una reducción del 65%, que corresponde a 8.45 Mt de CO₂.

7. Conclusiones

A partir del estudio realizado al panorama internacional frente a los combustibles sintéticos se identifica que Europa es uno de los continentes más avanzados y con más experiencia en el tema y aunque Latinoamérica posee grandes virtudes en recursos naturales no cuentan hasta el momento con mucha experiencia, sin embargo, ya empiezan a despertar interés en empresas potencia, que como el caso de Chile con el proyecto Hari Onu, logran generar mayor desarrollo frente a los combustibles sintéticos en el continente.

Como resultado de la investigación se concluye que pueden existir combustibles sintéticos que no son ecológicos o amigables con el ambiente, que incluso generan muchas más emisiones de gases efecto invernadero que los combustibles fósiles, se identifica que el único combustible sintético amable con el ambiente es el generado a partir de hidrogeno verde y la captura de CO₂.

Las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente de CO₂ con respecto a los combustibles sintéticos son un 90% menos que las emitidas por los combustibles fósiles, además es un combustible compatible con los motores de combustión interna usados actualmente y con la infraestructura de estaciones de servicio, haciendo que sea mucho más atractivo para su adaptación,

Colombia cuenta con muy buenos recursos naturales que pueden abastecer la generación de hidrogeno que de seguido seria la del combustible sintético requerido, llegar a cubrir también con la demanda total de combustible del país, disminuyendo o eliminando la necesidad de importar Diesel y generando autosostenibilidad.

Según las proyecciones planteadas en este estudio, se concluye que los combustibles sintéticos en Colombia podrían generar una reducción de gases efecto invernadero para 2030 en

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

el sector de transporte de un 13.49% que corresponde a 6.18 Mt de CO y en el sector de la industria una reducción del 15% que corresponde a 1.2Mt de CO₂. Finalmente, para el año 2050 se tendría una reducción del 58.50% en el sector de transporte, correspondiente a 48.11 Mt de CO₂ y en el sector de la industria una reducción del 65% que corresponde a 8.45 Mt de CO₂.

8. Recomendaciones

Debido a las grandes ventajas que traería la implementación de combustibles sintéticos en Colombia, se recomienda hacer un análisis económico de estos, para así ver la viabilidad que tendrían en el país.

Evaluar un escalamiento industrial que podrían tener los combustibles sintéticos en Colombia, analizando así la viabilidad de la producción planteada en las proyecciones en este estudio.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional de Hidrocarburos [ANH]. (s.f). *Portal regionalización*. Upstream:
<https://www.anh.gov.co/porta regionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>
- ANDI. (2021). *Una baja huella de carbono: la nueva competitividad*. Colombia, una oportunidad consciente. <https://www.andi.com.co//Home/Noticia/17147-una-baja-huella-de-carbono-la-nueva-com>
- Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica [ACOLGEN]. *Acolgen, la buena energía*. <https://acolgen.org.co/>
- Constitución Política de Colombia [Const]. Art. 361. Acto Legislativo 5 del 2011 (Colombia)
- García, C., Vallejo, G., Higgins, M. L., y Escobar, E. M. (2016). *El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. WWF-Colombia, Cali.
https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP2_1/el_acuerdo_de_paris_frente_a_cambio_climatico.pdf
- IDEAM. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*.
<http://ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Camb+io+Climatico.pdf>
- IDEAM. (2015). *Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (GEI)*. Bogotá.
- Liam, J., Peter, P., Vladimir, L., y Almegren, H. (2015). *Carbon Dioxide Utilisation*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62746-9.00010-4>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE]. (s.f). *Calculadora de carbono* 2050. Upstream:

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES EFECTO INVERNADERO

<https://calculadoracarbono.minambiente.gov.co/nacional/pathways/1111111111101011>

01110110101111011044044001111011/emisiones/comparator/11111111111010110111

0110101111011011011001111011

Organización Internacional de Normalización. (2009). *Guía de Responsabilidad Social (ISO26000)*.

<https://www.icesi.edu.co/blogs/paoladministradora/files/2012/06/ISO26000.pdf>

Pérez, J. P. (2017). *Biocombustibles*. FONDO DE CULTURA ECONOMICA (MEXICO)

PARATEC. (2022). *Capacidad efectiva por tipo de generación*.

<http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/generacion.aspx?q=capacidad>

Siemens Energy. (2020-2021). *Una nueva realidad de hidrógeno: combustible a partir del agua y viento*.

<https://www.siemens-energy.com/mx/es/soluciones/energia-renovable/soluciones-de-hidrogeno/haru-oni.html>

Schlumberger. (s.f.). *Oilfield Glossary*.

Hidrocarburo:<https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/h/hydrocarbon#:~:text=Un>

%20compuesto%20org%C3%A1nico%20natural%2C%20que,como%20gases%2C%20I%C3%ADquido

s%20o%20s%3%B3lidos.&text=El%20petr%C3%B3leo%20es%20una%20mezcla%20compleja%20de%20hidrocarburos.

SHELL. (2019). *Sustainability Report 2019*. reports.shell.com.

Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC]. (s.f.). *Gases de Efecto Invernadero*,

GEI. SIAC: <http://www.siac.gov.co/climaticogei>

UPME.ANH.UNION TEMPORAL CTL. (2007). *Resumen ejecutivo: Análisis y evaluación técnica y económica de la producción de combustibles líquidos a partir del carbón para*

COMBUSTIBLES SINTETICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA REDUCCION DE LOS GASES
EFECTO INVERNADERO

el

caso

colombiano.

https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/publicaciones/Informe_Final_CTL.pdf

WWF. (2021). *Las ciudades y el sector privado son cruciales para que Colombia reduzca en 51% sus gases efecto invernadero.* <https://www.wwf.org.co/?367276/Las-ciudades-y-el-sector-privado-son-cruciales-para-que-Colombia-reduzca-en-51--sus-gases-efecto-invernadero>