

**HIDROGENO COMO SUSTITUTO DE LOS COMBUSTIBLES FOSILES EN  
COLOMBIA PARA EL SECTOR AUTOMOTRIZ**

**ALEJANDRO CASTELLANOS MONROY  
DEYSI CAROLINA CHAPARRO FONSECA  
NICOLAS LOZANO ESCOBAR**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**ORIENTADOR:  
JULIAN ANDRÈS GOMÈZ VARGAS  
ADMINISTRADOR DE EMPRESAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS  
BOGOTÁ D.C.**

**2022**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

Nombre  
Firma del director

---

Nombre  
Firma del presidente del Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2022

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dra. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Dr. Marcel Hofstetter Gascón

Director de Especialización

Dr. Julián Andrés Gómez Vargas

## DEDICATORIA

*La presente monografía está dedicada en primera instancia a Dios, quien nos ha brindado las herramientas necesarias para culminar con sabiduría este reto planteado para alcanzar un logro más en nuestras vidas.*

*A nuestros padres quienes nos han brindado el apoyo necesario para lograr lo que nos hemos propuesto a lo largo de la vida y quienes sin importar las circunstancias nos han inculcado que con disciplina nos es posible lograr todas las metas propuestas.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradecemos a Dios por la familia que tenemos, que de alguna manera han aportado en nuestra tenacidad y valores.*

*Agradecemos de igual manera a la universidad que nos dio la oportunidad de realizar tan linda especialización en la institución.*

*Por último, agradecemos a los profesores, colegas y amigos que nos apoyaron para realizar esta investigación y generar gusto y confianza en nosotros mismos.*

Las directivas de la Universidad de América, Los jurados calificadores y el cuerpo docente. No son responsables por los criterios e ideas expuestos en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## TABLA DE CONTENIDO

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| RESUMEN   | 9           |
| INTRODUCCION  | 10          |
| OBJETIVOS   | 12          |
| 1. ANALISIS DE LOS ANTECEDENTES DE LOS COMBUSTIBLES FOSILES EN COLOMBIA   | 13          |
| 1.1 Gasolina  | 15          |
| 1.2. Diésel   | 19          |
| 1.3. Gas  | 20          |
| 2. HIDROGENO  | 24          |
| 2.1 ¿Qué es el hidrogeno?   | 24          |
| 2.1.1 <i>Potencial del hidrogeno en la economía energética colombiana</i> | 26          |
| 2.2 Tipos de hidrogeno  | 27          |
| 2.2.1 <i>Hidrogeno verde</i>  | 28          |
| 2.2.2 <i>Hidrogeno azul</i>   | 29          |
| 2.2.3 <i>Hidrogeno negro</i>  | 30          |

|  |    |
|--|----|
| 3. IMPACTO AMBIENTAL   | 32 |
| 3.1 Costo de producción  | 34 |
| 3.2 contaminación que se produce en el uso de cada combustible | 35 |
| 3.3 contaminación en el transporte                             | 36 |
| 3.4 contaminación en control de desastres.                     | 37 |
| 4. CONCLUSIONES  | 41 |
| BIBLIOGRAFÍA   | 43 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Contaminación del aire en américa latina                              | 13 |
| Figura 2. Porcentaje de emisiones fuentes móviles                               | 14 |
| Figura 3. Evolución de la demanda por energéticos principales                   | 15 |
| Figura 4. Demanda de combustible líquidos (kbpd)                                | 17 |
| Figura 5. Procesamiento de gas natural  | 22 |
| Figura 6. Procesos de producción para conseguir H2                              | 25 |
| Figura 7. Nueva demanda de H2 de bajas emisiones                                | 26 |
| Figura 8. Estrategia nacional a 2050 en materia de hidrogeno de bajas emisiones | 27 |
| Figura 9. Contaminación generada en la producción de combustibles               | 33 |
| Figura 10. Costo de producción de combustibles                                  | 34 |
| Figura 11. Disminución de CO2 para el 2050                                      | 35 |
| Figura 12. Propiedades de los combustibles                                      | 37 |
| Figura 13. Propiedades de los combustibles                                      | 38 |
| Figura 14. Contaminación en control de desastres                                | 39 |
| Figura 15. Ciclo de daño causado por el hidrogeno y gasolina a un automóvil     | 40 |

## **RESUMEN**

El presente trabajo presenta un análisis detallado del hidrogeno como fuente energética y pretende descubrir si este elemento es el reemplazo óptimo para los combustiblesfósiles presentes en Colombia. Como primera instancia se examinan las causas principales que llevan a la realización de este documento mediante el análisis de los combustibles fósiles,seguido del estudio e investigación del hidrogeno como combustible vehicular y los antecedentes previos a la presente monografía y así finalmente realizar una comparación entreestos con el fin de dar respuesta a la pregunta ¿es el hidrogeno el sustituto ideal para las combustibles fósiles en Colombia?

Palabras clave: Hidrogeno, dióxido de carbono, contaminación, combustible fósil y Matriz energética.

## INTRODUCCION

En la actualidad el mundo entero tiene centrada su atención en el problema socioambiental de los últimos tiempos, por lo que el termino de sustentabilidad suele ser popular en esta época, pero, ¿Qué es la sustentabilidad? esta descrita “como la posibilidad de cubrir las necesidades presentes, sin alterar la posibilidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas” (Naciones Unidas, 2002), después de saber de qué se trata la gran incógnita es ¿Cómo llegar a ella? lo único de lo que se tiene certeza es que se requieren grandes cambios para lograrlo.

Según el CONPES 3344 La emisión de contaminantes por el uso de combustibles fósiles, es la principal causa de contaminación atmosférica el 41% del total de las emisiones se generan en Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, el Valle de Sogamoso, Bucaramanga, Cartagena y Pereira. Por lo anterior surge la necesidad de analizar las diferentes alternativas que tiene el mercado con el fin de suplir la necesidad de energía vehicular sin alterar el equilibrio ambiental tanto del país como del mundo en general. El reemplazo de los combustibles fósiles por una fuente vehicular amigable con el ambiente es de gran interés teniendo en cuenta que la contaminación atmosférica afecta en gran medida la calidad de vida de la población, el AAP informa que, anualmente, mueren cerca de 6.000 personas por la contaminación atmosférica; además, se generan 255.000 consultas hospitalarias de urgencias y externas. (Fedebiocombustibles, 2014)

Debido a la gravedad de la situación por la que actualmente atraviesa la población mundial a causa de la contaminación se han considerado alternativas o sustitutos a las practicas industriales que afectan en mayor cantidad a la atmosfera, de allí surge la idea de encontrar fuentes de energía renovables tales como el hidrogeno.

El hidrogeno es uno de los elementos más abundantes de la tierra y en la actualidad uno de los menos utilizados pero reconocidos para contrarrestar el daño atmosférico que se ha venido causando con todas aquellas energías no renovables o provenientes de los combustibles fósiles, sabiendo la necesidad de cambio de igual manera se convierte en una necesidad la investigación de esta alternativa pues a simple vista es el combustible ideal para la humanidad debido a su baja toxicidad, a la obtención a través de recursos renovables y a la ausencia de emisiones producidas por el combustible actual. El presente se centra en el análisis del H<sub>2</sub> como posible combustible con el fin de reducir los efectos ambientales que han traído consigo los combustibles fósiles.

## **OBJETIVOS**

A continuación, se relacionan los objetivos con los cuales esta soportada la presente monografía.

### **Objetivo general**

Analizar la viabilidad ambiental del uso del hidrógeno como combustible generalizado en Colombia para el sector automotriz.

### **Objetivos específicos**

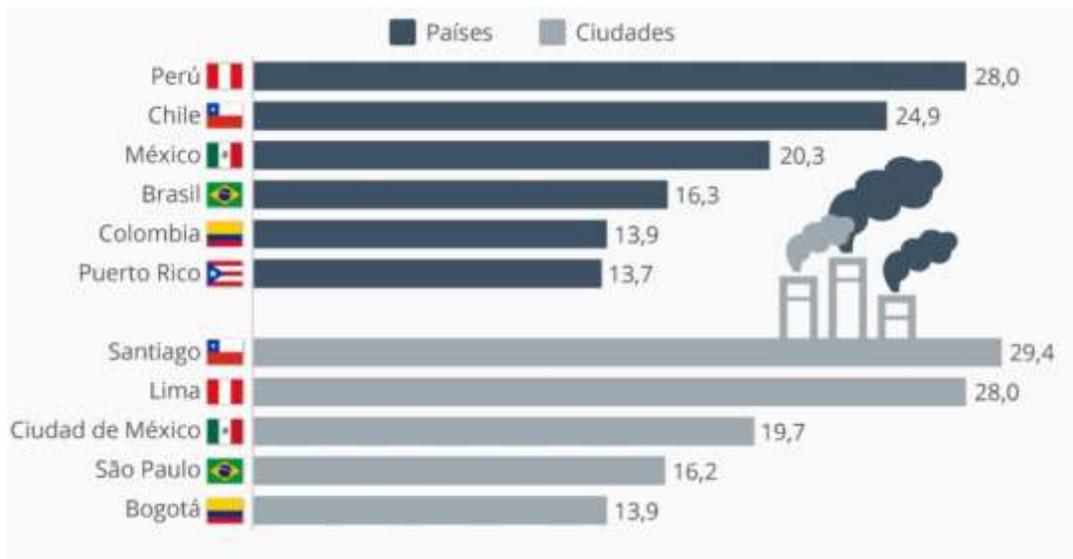
1. Identificar los antecedentes de los combustibles fósiles y alternativos en Colombia.
2. Analizar ventajas y desventajas de la aplicación del hidrogeno como combustible.
3. Examinar el impacto ambiental del hidrogeno con respecto a los combustibles fósiles actualmente usados en Colombia. (Gasolina, diésel y gas).

# 1. ANALISIS DE LOS ANTECEDENTES DE LOS COMBUSTIBLES FOSILES EN COLOMBIA

Según el informe 2018 World Air Quality Report Colombia es el quinto país con mayor concentración de partículas en el aire, El siguiente grafico muestra la concentración de partículas PM 2,5 en el aire (iguales o menores a  $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en una selección de países y ciudades de América Latina. (Pasquali M. , 2019)

**Figura 1.**

*Contaminación del aire en América Latina*



**Nota.** Países y ciudades de América Latina con mayor concentración de partículas de aire. Tomado de: Pasquali, M. (22 de Julio de 2019). Statista. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/grafico/18721/paises-y-ciudades-con-mayor-contaminacion-del-aire-en-latinoamerica/>

Lo anterior evidencia la situación por la cual está atravesando el país, de allí que se haya convertido en prioridad la búsqueda e identificación de las causas actuales por las cuales se han generado diferentes problemas ambientales, esto con el fin de contrarrestarlos o mitigarlos.

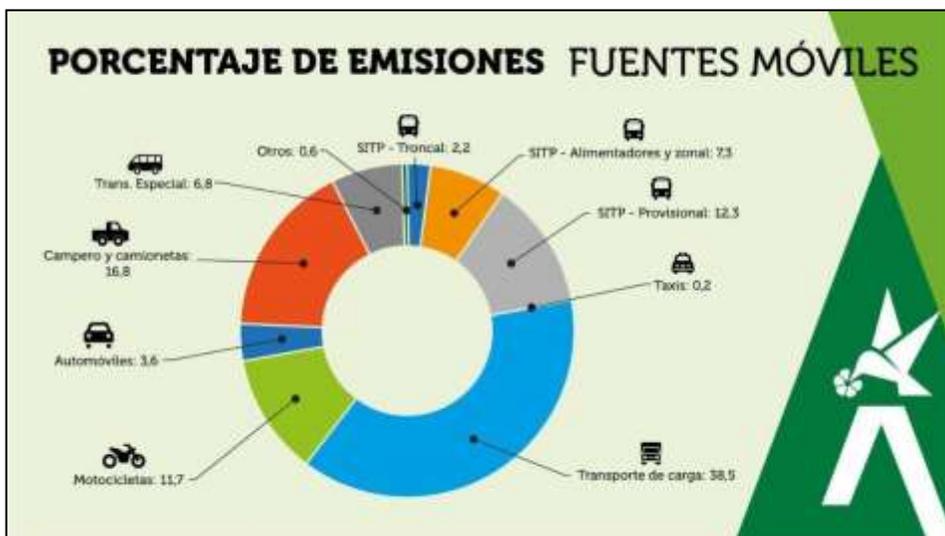
Hoy en día el mundo en general busca alternativas factibles para disminuir los efectos de la contaminación, es por esto por lo que la humanidad ha puesto su atención en el sector

automotriz, pues se ha comprobado que este sector es un factor clave para combatir los problemas ambientales de la actualidad. Los vehículos automotores representan el 99% del total de emisiones de CO, el 54% de hidrocarburos y el 70% de NOx en la Ciudad de México; el 96% de CO, el 90% de hidrocarburos, el 97% de NOx y el 86% de SO2 en São Paulo, y el 94% de CO, el 83% de hidrocarburos y el 85% de NOx en Santiago. La contaminación atmosférica provocada por los vehículos automotores está cobrando proporciones graves en muchos otros centros urbanos de América Latina, como Santafé de Bogotá. Además, las emisiones de fuentes naturales (como el polvo de fuentes no localizadas). (MINAMBIENTE, 2021)

El sector automotriz es el directamente implicado en la contaminación del aire, ya que, debido a los tipos de combustibles que se han venido usando a través de los años en el país y en la industria en general se evidencia el crecimiento exponencial de la contaminación, en Colombia.

**Figura 2.**

*Porcentaje de emisiones fuentes móviles*



**Nota.** Porcentaje de emisiones de partículas al aire de la ciudad de Bogotá Tomado de: Castiblanco, C. (18 de Febrero de 2020). BOGOTA.GOV. Obtenido de BOGOTA.GOV: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/decreto-840-de-2019-abc-de-restricciones-vehiculos-de-carga-en-bogota>

“los combustibles de mayor crecimiento son el diésel y la gasolina para el año 2019, con

índices cercanos al doble y al triple de su valor con respecto al 2010” (&NBSP, 2019). Según el consumo actual y la demanda por los combustibles fósiles se prevé que para el año 2050 el país siga dependiente de esta clase de combustibles.

**Figura 3.**

*Evolución de la demanda por energéticos principales*



*Nota.* Proyecto del plan energético nacional. Tomado de PORTAFOLIO.

(12 de Noviembre de 2019). PORTAFOLIO.

Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/al-2050-colombia-seguira-atada-a-los-combustibles-fosiles-535482>

A continuación, se realiza una breve descripción de los energéticos más usados en Colombia provenientes del petróleo.

### 1.1 Gasolina

Actualmente, la gasolina es el combustible más usado en el territorio nacional, se encuentra en todas las estaciones de servicio y representa la energía que mueve los vehículos de los colombianos día a día. Es un derivado de los hidrocarburos siendo obtenido mediante la destilación fraccionada del mismo aproximadamente a 140 °C aproximadamente. Está compuesta por nafta ligera o nafta FCC (fluido craqueo catalítico) como elemento principal, este elemento se ve reflejado en su capacidad de octanos, su índice de azufre, su porcentaje de aromáticos y su porcentaje de olefinas dando como objetivo principal su densidad energética la cual se encuentra entre 32,0 a 34,8MJ/L (megajulios por litro). Es usado como combustible, sin embargo, al momento de hacer combustión la gasolina libera elementos, tales como: dióxido de carbono,

nitrógeno (N) y azufre (S); siendo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

En Colombia existen cuatro refinerías capaces de obtener este tipo de fluido:

- A. Refinería de Barrancabermeja.
- B. Refinería de Cartagena.
- C. Refinería de Floreña.
- D. Refinería de Orito.

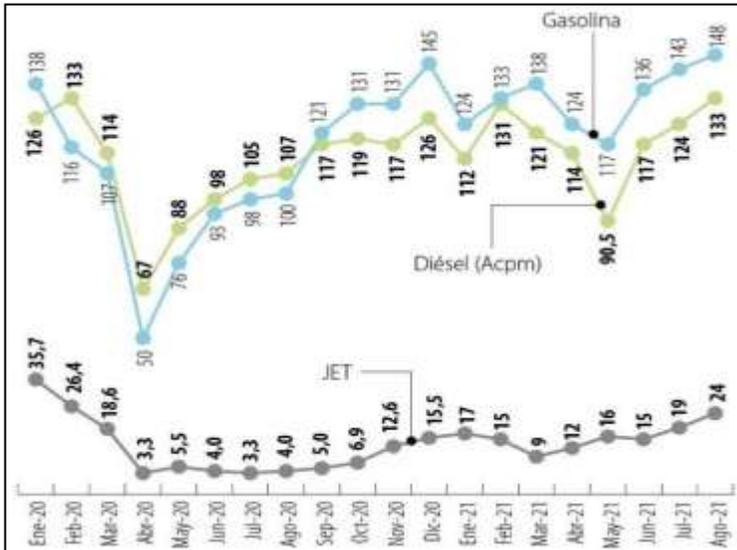
### **1.1.1 ¿Cómo nació el consumo de gasolina en Colombia en la industria automotriz?**

La historia se remonta al año 1899 con el Dion Bouton, el primer vehículo automotor en Colombia. Este automóvil contó con una velocidad máxima de 25 Km/h y fue importado de Francia, su motor era de combustión interna y su fuente de energía era la gasolina (Portafolio, 2019). Con este hito se dio el inicio de la historia no solo de la industria petrolera orientada a la obtención de gasolina, también de la industria automotriz.

La industria petrolera en Colombia nació en 1869 con la primera extracción de petróleo en el Campo Cira Infantas en la Magdalena Medio de Colombia (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2021), sin embargo, Colombia no fue capaz de destilar este fluido ya que no estaba en capacidad financiera ni tecnológica de realizar proyectos de refinación, con lo cual el hidrocarburo era exportado. En el año 1908 se dio un gran paso en esta área, la organización Cartagena Refining Co inició la importación de queroseno y gasolina para la venta en Colombia, con este paso se pudo iluminar las vías, los hogares, y demás lugares que por dificultades no era posible iluminar por corriente. Por otra parte, al momento de poderse encontrar gasolina para el público en general se pudo expandir la industria automotriz para todo aquel que pudiera comprar un vehículo ya que la limitante escasez de gasolina ya no era un problema. Posteriormente, en el año 1923 terminó la construcción de la refinería de Barrancabermeja (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2021) y por primera vez, comenzó la refinación de hidrocarburos en el territorio nacional haciendo uno de los avances tecnológicos más importantes en la industria colombiana. La gasolina fue pionera en el desarrollo colombiano ya que con esta tecnología energética se pudo dar la unión de lugares anteriormente de difícil acceso o de accesos muy prolongados apoyando directamente con el desarrollo de la infraestructura vial de Colombia.

**Figura 4.**

*Demanda de combustible líquidos (KBPD)*



**Nota.** Demanda de gasolina de 148 KBPD a agosto 2021.

Tomado de Minenergía, C. A. (miércoles de septiembre de 2021). La República. Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/demanda-de-combustibles-supero-en-15-los-niveles-registrados-antes-de-pandemia-3239378>

Actualmente, podemos identificar como la gasolina aporta 148.000 BPD de demanda energética a Colombia, es decir, 6.216.000 de galones por día y 192.696.000 barriles por mes, siendo \$1.645.238.448.000 el valor aproximado de la venta de este combustible al mercado colombiano mensual (cálculo desarrollado con precio promedio de gasolina corriente en \$8.538 por galón en Colombia), muestra aproximadamente 20 billones de pesos anuales solo en venta de gasolina al mercado colombiano en la industria automotriz, tomando además otras fuentes de compra de combustible gasolina corriente, representa aproximadamente el 6.6% de PIB industrial y el 2,0% del PIB Nacional Colombiano mostrando la importancia de la venta, uso y consumo de este combustible en el mercado e industria colombiana día a día.

Aunque la gasolina trae consigo grandes beneficios desde el punto de vista económico y desarrollo también trae consigo grandes desventajas ambientales. Según la (EPA, 2019) la gasolina genera 8,887 gramos de emisiones de CO<sub>2</sub> por galón de gasolina consumida. Colombia posee una demanda de 6.216.000 de galones por día de gasolina, es decir, al día se generan 55.3 toneladas de CO<sub>2</sub> por uso de gasolina consumida en el mercado combinado. Esto representa un daño ambiental aproximado total de 20.185 toneladas de CO<sub>2</sub> al año solo por el consumo de gasolina en la industria automotriz, lo que deja en evidencia lo inevitable, la búsqueda de nuevas fuentes energéticas mucho más amigables con el medio ambiente, que generen una disminución significativa en la producción de CO<sub>2</sub> y en el GEI (Gases de Efecto Invernadero).

Por otra parte, cabe resaltar que el daño ambiental también genera la “carga de enfermedades no transmisibles en Colombia - entre estas, aquellas causadas por el medio ambiente- que pasó del 76 al 83 por ciento, según cifras del Ministerio de Salud.” (El Tiempo, 2017), por lo cual estamos hablando de 14.5 millones de colombianos que cuentan con problemas de salud derivados o impulsados por el daño ambiental de CO<sub>2</sub> por gasolina siendo el 28.6% de la población nacional. Estos gases de efecto invernadero generados por el consumo de gasolina puede incluso originar enfermedades riesgosas como cáncer pulmonar o enfermedades respiratorias que con el paso del tiempo podrán afectar órganos y demás tejidos del cuerpo humano.

## **1.2. Diésel**

Diésel también hace parte de los combustibles comerciales más utilizados en Colombia, es conocido como ACPM, gasoil o gasóleo, se emplea tanto en hogares, como en motores de vehículos de carga pesada, como lo son los camiones, camionetas y buses. Es un tipo de hidrocarburo líquido que está compuesto de parafinas, lo que libera hasta un 10% más de energía que la gasolina, tiene mayor compresión y por lo tanto hace más ruido, en cuanto a su combustión, genera partículas finas, bajo la forma de humo negro junto con una serie de otros compuestos químicos que consisten principalmente en carbono negro, que tiene un fuerte impacto en el calentamiento global, casi 3300 veces más que el dióxido de carbono durante un periodo de 20 años. “En 2012, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró que el humo que producen los motores que funcionan con diésel causa cáncer.” (AKBAR, 2014).

Las partículas diminutas de contaminación en los gases de escape de diésel, además de que

pueden contener metales tóxicos y sustancias químicas, pueden introducirse en los pulmones y causar irritación. Debido a que el tamaño de las partículas es una fracción del ancho de un cabello humano, no pueden ser expulsadas al toser y pueden penetrar en el torrente sanguíneo, irritando ojos, nariz, garganta y pulmones. El hecho de inhalar estos gases puede producir tos, dolores de cabeza, mareos y náuseas.

En el mercado se pueden encontrar carburantes diésel de tres tipos según el uso para el que sean destinados. El gasóleo A es considerado el de más alta calidad debido a que está más refinado que el resto, también contiene un nivel de azufre hasta diez veces menor que el diésel convencional y en su composición se encuentran sustancias que ayudan a disminuir el consumo y bajar las emisiones contaminantes. Por otro lado está el gasóleo B, que se usa frecuentemente para maquinaria agrícola, embarcaciones y vehículos autorizados ya que contiene más cantidad de parafinas por lo cual su uso se considera un delito de fraude ya que evita los impuestos del gasóleo A. Finalmente el gasóleo C es el más económico de los tres y principalmente es usado en calderas de calefacción ya que su función es generar calor por su alto contenido de impurezas y elevado nivel de parafina que aporta un alto nivel calorífico.

Debido a los daños socio ambientales que ha causado el Diesel en el país en Julio de 2019 el presidente Iván Duque sancionó la ley 1972 que indica que, a partir del 1 de enero de 2023, el contenido de azufre en el ACPM se permitirá entre 15 y 10 partes por millón y desde el 1 de enero de 2025 estos niveles no podrán superar las 10 ppm, los niveles se basan en la norma Euro VI, adoptada por la Unión Europea en el año 2001. (EL TIEMPO, 2019) Ecopetrol ya se adelantó a la fecha límite y ya produce diésel Euro VI en su refinería de Barrancabermeja y en la de Cartagena, de hecho, la meta planteada es producir permanentemente esa calidad antes de la fecha estimada.

### **1.3. Gas**

El gas uno de los combustibles más reconocidos en Colombia y con más fuerza en el país, actualmente se reconoce este como un combustible amigable con el medio ambiente y favorable para la población, nació de la necesidad de mejorar la calidad del aire y las emisiones producidas por los combustibles fósiles pues este reduce casi a cero la emisión de los contaminantes que afectan la calidad del aire.

En el país la utilización del gas como combustible vehicular es relativamente nuevo, así

como su generación e investigación. desde la década del 50 se realizaron algunos usos esporádicos y aislados de este combustible, fue a mediados de los años 70 cuando comenzó su verdadero desarrollo gracias al gas descubierto en la Guajira y que entró en funcionamiento en 1977, Luego de un largo período de bajo crecimiento, en 1986 se inició el programa “Gas para el cambio”, que permitió ampliar el consumo de gas en las ciudades, realizar la interconexión nacional y tener nuevos hallazgos. (CREG, 2017)

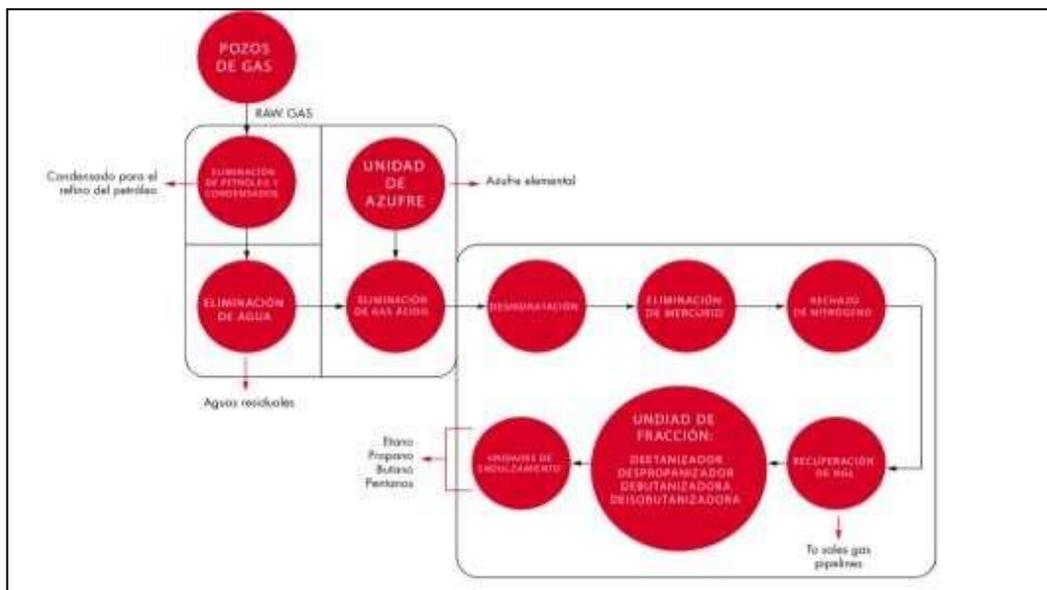
En la actualidad este combustible ha alcanzado a ocupar una parte importante del mercado nacional para el 2021 Colombia obtuvo 500.000 automóviles a gas circulando por las vías del país. El 62 % de los vehículos convertidos son de servicio público y el 38% particulares” (EPM, 2021), quienes residen en el país pueden identificar esto dado al alcance que tienen las estaciones de servicio de gas natural en el país para abastecer a la gran cantidad de usuarios. Lo anterior también es debido al bajo costo que tiene este tipo de combustible comparado con demás fósiles pues a simple vista el ahorro del combustible es casi del 50%. Aunque este parece ser el combustible ideal para mejorar las consecuencias del medio ambiente también es importante mencionar que este combustible tiene un límite pues el uso excesivo de este puede traer consigo su agotamiento “el país cuenta con reservas de gas que representan 7,7 años de autosuficiencia, la cifra más baja presentada en los últimos diez años” (Valora Analitik, 2021). Es por esta razón que la ciudadanía en general debe prestar una atención especial a la búsqueda de un nuevo combustible alternativo pues cabe la posibilidad de presentar una crisis energética con los años teniendo en cuenta la demanda y la reservas limitadas con las que cuenta el país, acabar con las reservas que se tienen de esta fuente de energía se traduce en un futuro en el que se deba importar este tipo de combustible, tal vez a un costo muy elevado por los diferentes costos en los que se incurre.

La demanda de Gas como combustible vehicular ha tenido un crecimiento exponencial como se ha venido mencionando y es por esta razón que su producción y comercialización también han venido incrementando “La producción comercializada de gas en Colombia fue de 1,03 millones de pies cúbicos por día (mpcd) entre el 26 de junio y el dos de julio de 2021, lo que significa un incremento de 10 % frente a lo registrado en el mismo periodo de 2020, de acuerdo con el más reciente informe del Ministerio de Minas y Energía” (Valora Analitik, 2021). La producción de este combustible depende regularmente de la destilación fraccionada del petróleo, razón por la cual se prevé la posible escasez de este en un futuro.

Aunque el Gas como combustible es uno de los más viables y trae consigo pocos efectos negativos para el medio ambiente, el problema radica en su obtención, lo anterior debido a que el gas natural proviene del petróleo pues al realizar el condensado para el refinado de este se debe realizar la eliminación de petróleo y condensados, eliminación de aguas residuales, separación de líquidos de gas natural y la eliminación de azufre y dióxido de carbono proceso por el cual se aumentan los daños ambientales y se tiene la certeza del gasto progresivo de las fuentes naturales.

**Figura 5.**

*Procesamiento de gas natural*



**Nota.** Pasos a paso del procesamiento de gas. Tomado de: AMPO. (7 de Diciembre de 2021). Ampo. Obtenido de Ampo: <https://www.ampo.com/es/category/sectores/procesamiento-gas-natural/>

El petróleo elemento del cual se obtiene mayormente el gas tiene un número elevado de efectos negativos para el medio ambiente y para la salud humana pues produce grandes daños al suelo y al agua. Por lo anterior es posible deducir que el Gas como combustible vehicular no es el ideal para los efectos que se desean obtener en el ambiente y en la salud de los colombianos.

Aunque son conocidas las consecuencias positivas del gas como combustible vehicular aún no se tiene la acogida esperada por los ciudadanos del país pues, aunque se ha visto un incremento

en los últimos años, la población del país aún no se decide totalmente por esta alternativa, principalmente esto se debe a que el costo de conversión de gasolina a gas natural es demasiado alto, a que el depósito o dispositivo de almacenamiento en los vehículos tiene un gran peso y volumen, a que reduce la capacidad de carga del vehículo, a la pérdida de potencia del vehículo, a que el mantenimiento tiene un costo elevado y a que el rendimiento del vehículo disminuye.

Por lo anterior es posible inferir que el gas es una alternativa positiva como combustible vehicular comparado con los que se encuentran en el mercado actual, pero sigue sin ser la ideal debido al proceso para la obtención de este, a los efectos negativos que trae consigo y a la poca confiabilidad que genera en los ciudadanos.

## 2. HIDROGENO

Para saber que es el hidrogeno, primero hay que ver en qué punto se encuentra el nacional referente a este elemento, donde en dirección de responsabilidad conjunta el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible con el Grupo empresarial Ecopetrol, mayor conglomerado de empresas y referente en la industria energética en Colombia han desarrollado un futuro prometedor para la disminución de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y descarbonización al año 2050. De acuerdo con la con la Hoja de Ruta presentada un de sus fuentes de acción primaria son las iniciativas de hidrógeno como alternativa energética al ser abundante, eficiente y no contaminante de emisiones, se planea “ejecutar piloto de hidrogenoverde” (Ecopetrol S.A., 2021) entre los años 2020 - 2025 y posterior a esto “escalar gradualmente pilotos de hidrógeno verde y de captura, uso y secuestro de carbono, si las tecnologías son competitivas” (Ecopetrol S.A., 2021) entre los años 2025 – 2030 Pero, ¿Hidrogeno?

### 2.1 ¿Qué es el Hidrogeno?

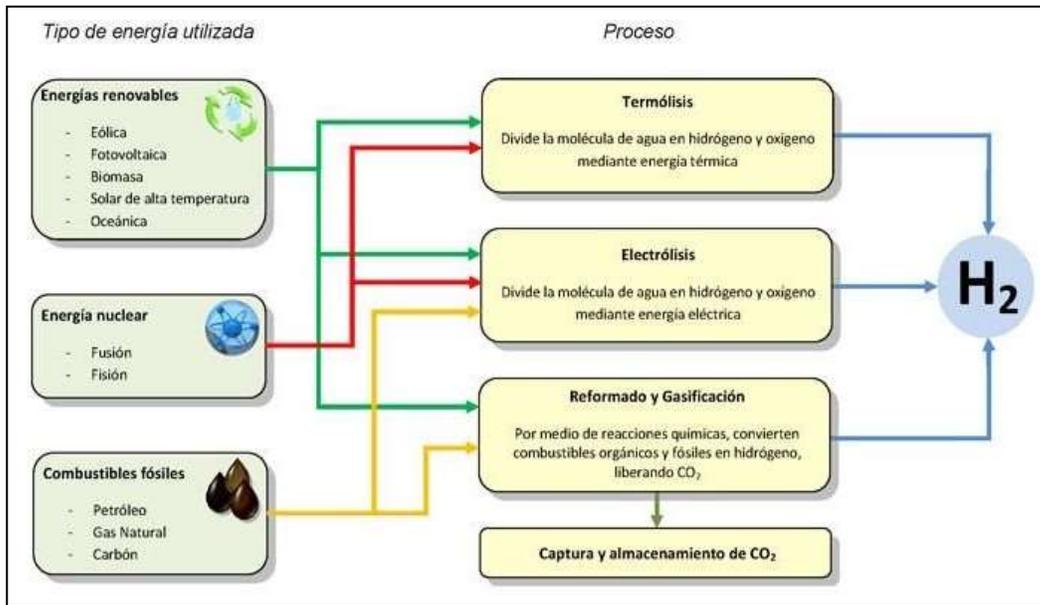
El hidrogeno es el elemento más básico que se encuentra en la tierra tanto en los estratos geológicos como en la superficie terrestre, es el primer elemento de la tabla periódica, se simboliza con la letra H y se determina con la configuración electrónica como  $1s^1$ . Este elemento se encuentra en estado gaseoso, es incoloro, inodoro e inflamable en condiciones normales. Cuenta con una “densidad de  $0,071 \text{ kg/m}^3$  un punto de fusión  $-259.2 \text{ }^\circ\text{C}$  y un punto de ebullición de  $-252.7 \text{ }^\circ\text{C}$ ” (Lenntech, 2021), además está “formado por un protón y un electrón y es estable en forma de molécula diatómica como  $\text{H}_2$ ” (Centro Nacional de Hidrogeno, 2021).

Además, es uno de los elementos más comunes en la tierra y más ricos en el espacio, lo hace muy interesante sus propiedades fisicoquímicas por su potencial y capacidad de generar energía a bajos grado de contaminación, ha venido aumentando la tendencia de su uso en la industria automotriz en Europa y en la carrera espacial, la nasa ha usado el hidrogeno como materia prima para la propulsión de los cohetes siendo quemado este elemento en estado sólido, para llegar a este estado debe disminuirse la temperatura del hidrogeno a temperaturas muy cercanas al cero absoluto, exactamente es enfriado a  $-253 \text{ }^\circ\text{C}$ . La característica más importante de este elemento en la industria energética puede ser que al ser quemado este elemento y juntarse con el oxígeno del ambiente no se producirá  $\text{CO}_2$  solo se producirá  $\text{H}_2\text{O}$ , es decir agua; siendo usado de una manera

muy similar a combustible fósil, quemando el elemento produciendo calor y por medio de esta combustión generando el movimiento de medio deseado. Igualmente puede producirse de varias alternativas lo que permite encontrar este elemento como fuente energética de varias maneras orientadas a diferentes fuentes.

**Figura 6.**

*Procesos de producción para conseguir H<sub>2</sub>*



*Nota.* Los procesos de obtención de H<sub>2</sub> mayormente se dan por la separación de moléculas. Tomado del: Centro Nacional de Hidrogeno. (23 de noviembre de 2021). Centro Nacional de hidrogeno. Obtenido de <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>

El hidrogeno también puede generar electricidad como pilas de combustible mediante la electrolisis del oxígeno y el hidrogeno, teniendo en cuenta todos estos factores también puede determinarse como punto en contra su difícil control, manejo y transporte ya que debe estar manipulado a condiciones muy estrictas por seguridad y al momento de un mal cuidado puede traer consigo daños significativos.

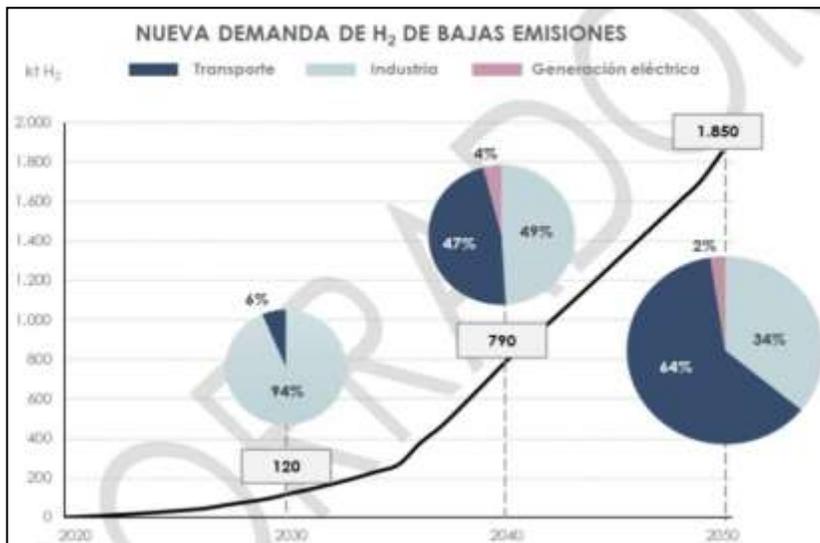
### 2.1.1 Potencial del hidrogeno en la economía energética colombiana

Partiendo de la Hoja de ruta de transición energética, se construyó el camino energético para

los próximos 30 años con una meta final al 2050. Partiendo inicialmente de la producción de “50 kilotoneladas de hidrógeno azul a partir del gas natural y del carbón” (Diario La Republica, 2021), obteniendo entre \$2.500 a \$5.500 millones de dólares además de dar la oportunidad a miles de colombianos en puestos de trabajo.

**Figura 7.**

*Nueva demanda de H<sub>2</sub> de bajas emisiones*



**Nota.** Estimación prevista de la demanda de hidrogeno en Colombia. Tomado de Ministerio de Minas y Energía. (2 de 10 de 2021). Ministerio de Minas y Energía. Hoja de ruta del hidrogeno en Colombia. Bogotá, Colombia.

Se estima una demanda de 120 kilotoneladas de hidrogeno para el año 2030, sin embargo, se espera una demanda al 2050 de 1850 kilotoneladas de los cuales el 64%, es decir, 1184 kilotoneladas de H<sub>2</sub> serán demandados en la industria automotriz demostrando una transición no solo en la generación de otro medio energético como el hidrogeno, también una transición de la industria automotriz, con esto dando viabilidad a los proyectos de iniciativas de hidrogeno en la industria automotriz a futuro por su bajo daño ambiental, su potencial energético, y su alineamiento a los medios de transporte a 2050. Para esta transición Colombia participara activamente en el proceso de obtención de hidrogeno azul y posteriormente hidrógeno verde, siendo este el de mayor potencial por su nulo daño ambiental.

**Figura 8.**

*Estrategia nacional a 2050 en materia de hidrogeno de bajas emisiones*



**Nota.** Hoja de ruta de hidrogeno azul e hidrogeno verde en Colombia al 2050. Tomado de Ministerio de Minas y Energía. (2 de 10 de 2021). Ministerio de Minas y Energía. Hoja de ruta del hidrogeno en Colombia. Bogotá, Colombia.

## 2.2 Tipos de Hidrogeno

El hidrogeno puede producirse de diversos modos, sin embargo, el tipo hidrogeno también va orientado al tipo de producción de estos, siendo el medio de obtención el determinante que categoriza el tipo de hidrogeno encontrado. Se puede identificar hidrogeno negro, gris, marrón y azul y verde siendo el verde el más apropiado en cuando a daño ambiental. Colombia maneja estrategias en materia de hidrogeno de bajas emisiones partiendo del hidrogeno verde e hidrogeno azul, siendo estos:

### 2.2.1 Hidrogeno Verde

Se clasifica como hidrogeno verde a aquel que se produce mediante la electrolisis del agua, es decir se realiza la ruptura de la molécula del agua manipulando energía renovable, es uno de los

tipos de hidrogeno menos explotados, se han reunido varios esfuerzos para apostarle a este tipo de combustible ya que tanto en su producción como en su uso se eliminan por completo emisiones que afectan en gran medida la calidad del aire.

En la actualidad el “El hidrógeno verde es visto como una forma de reemplazar los combustibles fósiles sin cambiar el sistema de transporte ni el productivo y, al mismo tiempo, un vector en el que almacenar la electricidad de fuentes renovables” (BBVA, 2021).

El hidrogeno verde no solo es un potencial optimo como combustible pues también se está conociendo como una forma eficaz de almacenar los excedentes de electricidad lo que se hace necesario en los momentos en que las plantas de generación de energía producen más de lo demandado, teniendo en cuenta los veneficios de este elemento vale la pena la inversión y los estudios que se hagan de este.

“Los expertos de la AIE consideran que se trata de una alternativa que permite afrontar aspectos críticos relacionados con la energía, como la descarbonización de sectores como el transporte de larga distancia, el químico o el siderometalúrgico. Y subrayan su versatilidad, puesto que la tecnología disponible hoy en día permite producir, almacenar, transportar y utilizar esta fuente de energía de diferentes formas. El informe pone en evidencia que los usos del hidrógeno pueden ampliarse significativamente: hoy se utiliza principalmente en refinerías de petróleo y en la producción de fertilizantes, pero su uso debería ampliarse a otros sectores como el transporte, la climatización de edificios o la propia generación de energía.”(Repullo & Garcia, 2019)

Se debe tener en cuenta que el Hidrogeno verde debe sobrepasar algunos obstáculos que hoy en día no han permitido su producción generalizada, uno de ellos es el costo, pues al no ser un proceso comúnmente utilizado su costo es elevado, se espera que a medida que se vaya incrementando su uso, producción y comercialización estos costos disminuyan, otro de ellos es la infraestructura que se debe usar para su producción, para sobrellevar este obstáculo es necesaria la coordinación y administración de los países que deseen introducirse al mundo del hidrogeno verde e invertir en ese gran cambio y el tercer obstáculo es llegar a un 100% de la producción por medio de electrolisis pues si se llega a la utilización del hidrogeno producido mediante el gas natural y el carbón los esfuerzos puestos en esta investigación no habrán sido de gran ayuda para contrarrestar la problemática ambiental inicial por la cual nace esta fuente de energía debido a que se seguirá

incurriendo en la emisión del CO<sub>2</sub>.

### ***2.2.2 Hidrogeno Azul.***

En cuanto al hidrógeno azul, se extrae a partir de combustibles fósiles, especialmente por la descomposición del metano (CH<sub>4</sub>), lo cual genera producción de CO<sub>2</sub>, pero en este proceso se incorporan sistemas de captura y almacenamiento de carbono (Carbon capture, utilisation and storage, CCUS en inglés) para minimizar las emisiones contaminantes sin embargo aún sigue siendo un proceso insostenible a nivel ambiental. Este tipo de hidrógeno haría posible una descarbonización temprana de determinadas industrias a corto o mediano plazo ya que brindaría una alternativa para la transición progresiva hacia las cero emisiones de carbono, además de funcionar como base para iniciar la ampliación de la industria Colombiana apuntando a un desarrollo competitivo del hidrógeno verde, de hecho, en la ley de transición energética se establecen incentivos para el desarrollo de las inversiones en producción, almacenamiento, acondicionamiento, distribución y otras en hidrógeno verde y azul. Estas tendrán los beneficios tales como la deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta hasta por 15 años, depreciación acelerada, exclusión de bienes y servicios de IVA y exención de gravámenes arancelarios.

“Se esperan 15-20 años en hacer el puente del hidrógeno azul con CCUS al hidrógeno verde, dado que la demanda de producción puede suplirse de manera amplia con hidrógeno verde a partir de 2030-2040. Por ello, es vital no invertir en activos que puedan resultar finalmente varados, más aún cuando la tecnología de captura de carbono es aún incipiente y costosa... Entre 2030 y 2040, se espera la coexistencia del hidrógeno azul y verde según el recurso natural disponible para su producción en cada región de Colombia. A partir de 2040, el hidrógeno verde se impondría como la alternativa más competitiva en todo el territorio colombiano. En cuanto a emisiones abatidas, la demanda energética abastecida por hidrógeno verde o azul representaría el 9,6% de la demanda energética total a 2050. Esto supondría un potencial de reducción de emisiones de 38 Mt de CO<sub>2</sub> anuales respecto al valor de 2020 que ayudaría a Colombia en sus metas de descarbonización.” (Hallack, 2021)

### **2.2.3 Hidrogeno Negro.**

Finalmente, el hidrógeno negro o marrón se obtiene también de fuentes fósiles luego de la gasificación del carbón, por la misma línea se encuentra el hidrógeno gris, extraído de la reformación de metano por vapor a partir del gas natural, en ninguno de estos procesos se implementarán procesos de captura de emisiones contaminantes, siendo el tipo de hidrógeno más contaminante y a su vez, el que requiere de menos dinero y recursos, por tal razón representan el 70% de la producción de hidrógeno actualmente.

Dentro de otras denominaciones de colores del hidrógeno se encuentra el hidrógeno amarillo, obtenido a través de la electrolisis utilizando energía solar, lo cual lo cataloga como un hidrogeno verde debido a sus cero emisiones de carbono. El hidrógeno rosa se obtendrá de la energía nuclear mediante el proceso de la electrolisis. El hidrógeno blanco se encuentranaturalmente en depósitos subterráneos y se podría obtener mediante fractura miento hidráulico en roca generadora y por otro lado tenemos el hidrógeno turqués obtenido en el proceso de pirolisis y se cataloga entre un hidrógeno azul y verde debido a sus bajas emisionesde carbono.

### 3. IMPACTO AMBIENTAL

Después de estudiar los combustibles más comunes en Colombia y el hidrogeno mismo se extraen 6 indicadores claves para la evaluación de cada uno de los combustibles mencionados con el fin de decidir cuál es el combustible más amigable con el medio ambiente y por lo tanto con la sociedad de esta manera se podrá tener la certeza de si vale la pena la introducción en el país del hidrogeno como posible combustible vehicular. Contaminación que se produce en el proceso de extracción.

La gasolina, el diesel y el gas son producidos mediante la extracción del petróleo es allí donde estos se convierten en combustibles fósiles. La extracción del petróleo se hace de acuerdo con las características propias de cada yacimiento y, en algunos casos, requiere tecnologías para incrementar su productividad. Para poner a producir un pozo es necesario perforar la tubería de revestimiento a la profundidad de las formaciones donde se encuentra el hidrocarburo. El petróleo fluye por esos orificios y se extrae mediante una tubería de menor diámetro, conocida como “tubería de producción” (Unidad de Comunicaciones Corporativas de Ecopetrol, 2014).

Después de obtener el petróleo este debe ser sometido a un proceso para la obtención de gas, gasolina y Diesel el cual consiste en llevar al petróleo a su punto de ebullición y del vapor obtenido en este proceso se extrae la materia prima necesaria para la elaboración de gas, gasolina y Diesel.

Por otro lado, el hidrogeno cambia su proceso de extracción según su clasificación, en primera instancia se tiene la electrolisis como proceso de extracción del hidrogeno esta se hace a través de la separación de la molécula de agua mediante corriente eléctrica, obteniendo así hidrogeno y oxigeno por aparte, otro proceso por el cual se puede obtener el hidrogeno es a partir de la biomasa es decir se obtiene a partir de la materia de los mismos seres vivos, al tratar la biomasa se da lugar a la formación de gas entre este el hidrogeno en este caso el proceso si da lugar a la generación de dióxido de carbono pero en este caso no aumentaría las emisiones a la atmosfera pues al provenir de seres vivos este ya formaría parte del ecosistema y por ultimo otra forma de obtenerlo es a través de los combustibles fósiles, pues el hidrogeno también hace parte de sus componentes en este caso se utiliza el agua para hacer para realizar el proceso de extracción en el que se obtendrá hidrógeno (H<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO).

**Tabla 1.**

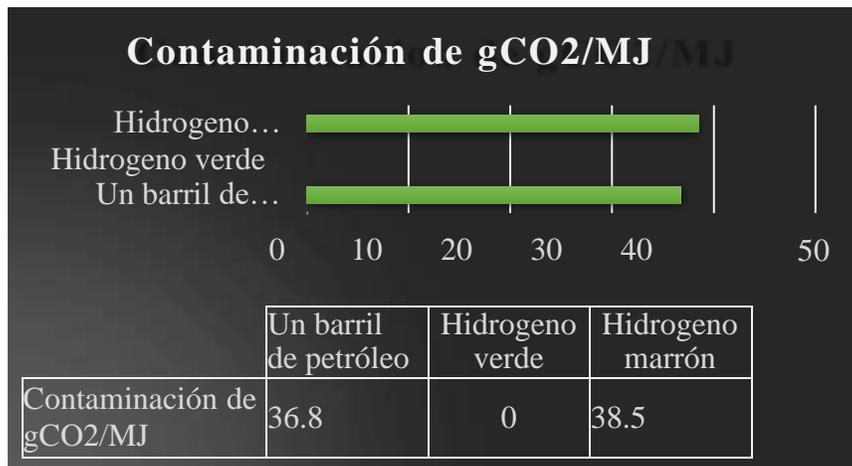
### Contaminación por Componentes

| Componente            | Contaminación de gCO <sub>2</sub> /MJ |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Un barril de petróleo | 36,8                                  |
| Hidrógeno verde       | 0                                     |
| Hidrogeno Marrón      | 38,5                                  |

*Nota.* Medida de contaminación referente a los componentes.

### Figura 9.

#### Contaminación generada en la producción



*Nota.* Comparación de la contaminación generada en la producción de combustibles.

De lo anterior es posible deducir que el combustible más favorable para el medio ambiente es el combustible verde al ser este el único que produce cero emisiones de dióxido de carbono en su proceso de producción y que por el contrario el hidrogeno Marrón puede ser incluso más perjudicial que el mismo petróleo.

### 3.1 Costo de producción.

Teniendo en cuenta que los combustibles fósiles se producen a partir del petróleo se considera el costo de la producción del petróleo como el indicador general para medir el costo de los combustibles fósiles, para obtener este costo se tienen en cuenta costos de extracción y costo de transporte del crudo.

El costo de la producción del hidrogeno se calcula teniendo en cuenta la extracción más

limpia de este elemento, es decir se evalúa el costo de producción a partir de la generación de este por medio de electrolisis.

**Tabla 2.**

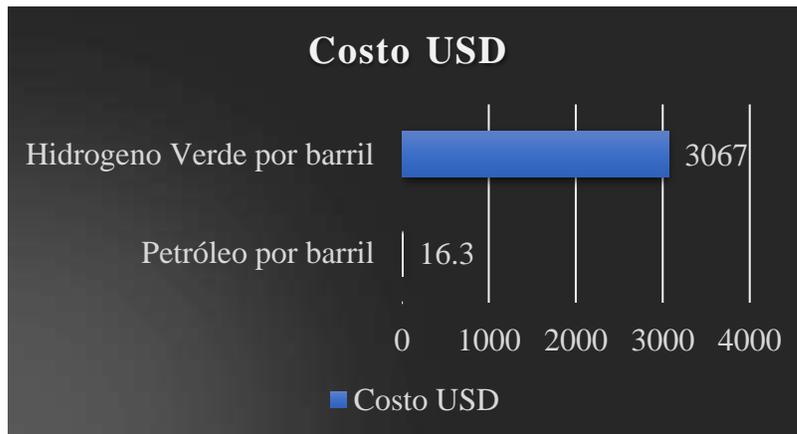
*Costo de Componentes*

| Componente                 | Costo USD |
|----------------------------|-----------|
| Petróleo por barril        | 16,3      |
| Hidrogeno Verde por barril | 3067      |

*Nota.* Valor en USD por unidad de barril del componente.

**Figura 10.**

*Costo de producción de combustibles*



*Nota.* Comparación de los costos generados en la producción de combustibles.

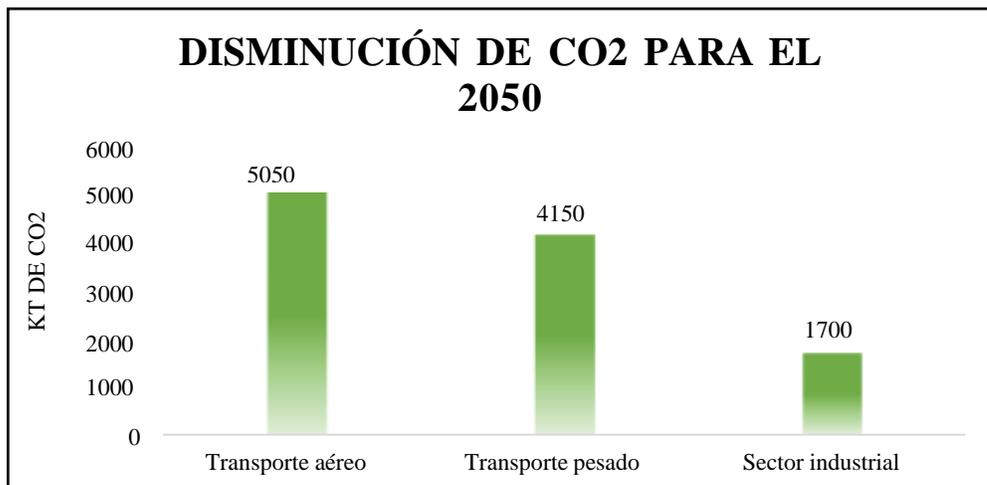
Es posible evidenciar que el costo de producción del hidrogeno totalmente limpio aumenta en gran medida sobre el costo de producción por barril de petróleo, esto puede ser un factor que afecte negativamente a la introducción del hidrogeno como sustituto de los combustibles fósiles en Colombia.

### 3.2 Contaminación que se produce en el uso de cada combustible

Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por los combustibles en Colombia llegaron a 99 Mt de CO<sub>2</sub> en el año 2019, provenientes la mayor parte del sector de transporte e industria. Con la implementación del hidrógeno de bajas emisiones de CO<sub>2</sub> se puede llegar a reducir un 14% de todas las emisiones en el año 2050 lo que equivale a de 13 Mt de CO<sub>2</sub>, según la hoja de ruta del hidrogeno en Colombia. El transporte aéreo, el transporte pesado y el sector industrial serían los sectores clave en los cuales se implementaría el hidrogeno para notar una reducción significativa a largo plazo.

**Figura 11.**

*Disminución de CO<sub>2</sub> para el 2050*



*Nota.* Partículas de CO<sub>2</sub> disminuidas para el año 2050 por área de transporte.

Se tiene previsto que el transporte aéreo es el área que generará una mayor disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>, debido a la alta intensidad de emisiones y las pocas alternativas que existen para descarbonizarlo, caso contrario con el sector industrial, donde podrían existir soluciones diferentes al uso del hidrogeno para disminuir sus emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 3.3 Contaminación en el transporte.

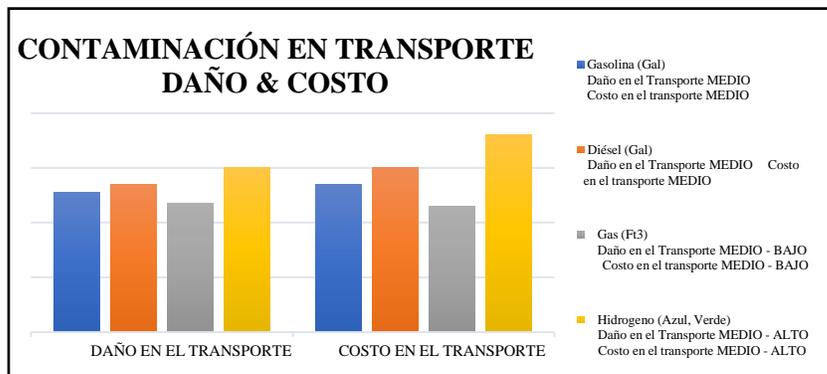
La contaminación generada en el transporte constara de una serie de variables tales como:

tipo de combustible, distancia, densidad, temperatura, flete de transporte por cantidad de combustible transportado, estado del material, etc....

Respecto a la gasolina y el diesel es transportado por medio de oleoductos, poliductos, carrotaques y buques marítimos. El gas natural es transportado en gasoductos y en estado líquido en carrotaques y buques marítimos. El hidrogeno es transportado de manera similar a gas natural, sin embargo, este será transportado a temperaturas extremas bajo cero, entre  $-257^{\circ}\text{C}$  y  $-273.15^{\circ}\text{C}$ , esto muestra como el hidrogeno es el elemento que genera mayor contaminación y ,as riesgos en el proceso de transporte, dado que cuenta con el mismo daño ambiental generado con relación a los otros combustibles, sin embargo este además debe ir en condiciones de temperatura muy específicas, esto generara más procesos en el transporte, mayores costos de producción, mayor daño ambiental. Teniendo en cuenta la condición de baja temperatura en el transporte el hidrogeno puede causar unos accidentes ambientales mucho más fácil que los otros combustibles, no obstante, en un proceso de accidente la gasolina y el diesel causara mayor daño ambiental.

**Figura 12.**

*Propiedades de los combustibles*



*Nota.* Estimación prevista de las propiedades de los combustibles.

### 3.4 Contaminación en control de desastres.

Para tener un estimado de la contaminación generada en un control de desastre por parte de los materiales, hay que cotejar los distintos tipos de fuentes energéticas en un mismo casobase de un

desastre causado, conforme a esto identificar el daño teórico causado mientras se controla la situación. Para este caso se empleará la hipótesis en cuanto a la distribución de los materiales al público en general, en caso de los combustibles tradicionales: gasolina, gas natural y diesel en estaciones de servicio, pero separando elemento por estación, alusivo al hidrogeno se empleará de forma similar en estación de servicio en forma líquida a  $-257^{\circ}\text{C}$ , el impacto ambiental es medio exclusivamente en comparación con los otros combustibles. En la siguiente imagen se podrá identificar propiedades principales de los combustibles, con los cuales se podrá identificar el daño hipotético causado. Cabe resaltar que el combustible gas natural este compuesto principalmente por metano.

**Figura 13.**

*Propiedades de los combustibles*

| Combustible | Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) | Límites de inflamabilidad (% vol) * | Temperatura autoignición (°C) | Mínima energía de ignición (mJ) | Temperatura llama (°C) * | Coefficiente de difusión (cm <sup>2</sup> /s) | Límite inferior de detonación (% vol) * |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---|---|
| Hidrógeno   | 0,0838                        | 4 - 75%                             | 536 - 585                     | 0,021 a 29%                     | 2045 - 2403              | 0,61  | 13%                                     |
| Metano      | 0,656                         | 5,3 - 15%                           | 537                           | 0,21 a 8,5%                     | 1914                     | 0,16  | 6,30%                                   |
| Butano      | 2,52                          | 1,6 - 8,4%                          | 405                           | 0,25 a 4,7%                     | -                        | -   | -                                       |
| Propano     | 1,83                          | 2,1 - 9,5%                          | 480                           | 0,25 a 5,2%                     | 1925                     | -   | -                                       |
| Gasolina    | 4,78                          | 1,0 - 7,6%                          | 247                           | 0,20 a 2%                       | 2307                     | 0,05  | 1,10%                                   |
| Diesel      | -                             | 0,6 - 7,5%                          | 210                           | -                               | 2327                     | -   | -                                       |

**Nota.** Estimación prevista de las propiedades de los combustibles. Tomado de Apilados. (12 de agosto de 2018). Apilados. Obtenido de ¿Es el hidrógeno peligroso?: <http://apilados.com/blog/es-el-hidrogeno-peligroso/>

1. Estación de servicio gasolina.

La gasolina como material es altamente inflamable, de fácil divulgación y expansión y derrame, debido a sus propiedades de viscosidad al momento de hacer ignición alcanza altas temperaturas por largos tiempo y de forma concentrada sobre la superficie afectada. Impacto ambiental Muy Alto.

2. Estación de servicio diesel.

El diesel se comporta de manera similar a la gasolina, pero con un mayor poder calorífico con lo cual su capacidad en ignición será muy alta, con esto el daño será alto, de rápida propagación y de tiempo medio. Impacto ambiental Muy Alto.

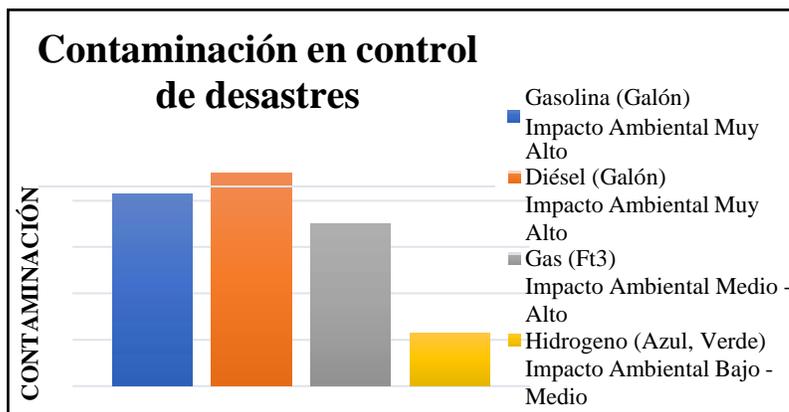
### 3. Estación de servicio gas natural.

El gas es altamente inflamable y alcanza temperaturas cercanas a los 2000°C sin embargo por su baja densidad es de rápida dispersión con lo cual el material el material será de rápida desintegración, con esto el daño será parcialmente Medio. Impacto ambiental Medio-Alto.

### 4. Estación de servicio hidrogeno líquido.

Al momento de la fuga del hidrogeno con el oxígeno se realizada combustión, además por ser un material altamente inestable en estado líquido debido a su condición de temperatura extremadamente baja, rápidamente se transformará a estado gaseoso, con lo cual su capacidad en ignición será muy alta, con esto el daño será parcialmente bajo y de rápida dispersión. Impacto ambiental Bajo - Medio.

**Figura 14.**  
*Contaminación en control de desastres.*



**Nota.** Hidrogeno se tomó en promedio entre hidrogeno verde e hidrogeno azul.

En la siguiente imagen se puede apreciar como la gasolina y el hidrogeno al momento de fuga generan un impacto negativo en el medio ambiente, y en el área afectado por la ignición de estos materiales, también se puede estimar como el hidrogeno genera daño ambiental bajo en comparación con el daño ambiental producido por la gasolina, alto contaminante de CO2 en la

atmosfera.

**Figura 15.**

*Ciclo de daño causado por el hidrogeno y gasolina.*



Nota. Fuga de hidrogeno y gasolina en un automóvil, ciclo. Tomado de Apilados. (12 de agosto de 2018).

Apilados. Obtenido de ¿Es el hidrógeno peligroso?: <http://apilados.com/blog/es-el-hidrogeno-peligroso/>

#### 4. CONCLUSIONES

Al identificar los antecedentes de los combustibles fósiles en Colombia se evidencia que cada uno de ellos como lo son Gasolina, Diesel y gas genera daños ambientales y sociales irreversibles, tanto en la actualidad como en el futuro serán perjudiciales para la población no solo nacional sino mundial, adicional se evidencia la fuerte necesidad que hay de un cambio en cuanto a las fuentes energéticas del país, lo anterior debido a que además de ser nocivas para el ambiente también son finitas y los pronósticos de las reservas que se tienen no superan los 20 años.

Del análisis que se realiza del hidrógeno se puede resaltar que es un elemento infinito pues es este el componente más abundante de la tierra, aunque se encuentra de manera libre en el mundo es importante destacar que según los procesos que se lleven a cabo para la extracción de este se puede considerar como amigable o nocivo para el medio ambiente, en general existen tres formas de obtenerlo cada una con un nivel de complejidad diferente y se observa que es el hidrógeno verde obtenido de la electrolisis el que se ajusta a las necesidades ambientales que se tienen actualmente en el país.

Al realizar la comparación entre los combustibles fósiles y el hidrógeno como posible fuente energética vehicular se evidencia que de los factores destacados, es el hidrógeno el elemento con más valor para contrarrestar los problemas ambientales por los que actualmente atraviesa el país, en cada uno de los indicadores se destaca este por ser el más amigable para la calidad del aire y por lo tanto para la calidad de vida de la ciudadanía, así mismo es posible reconocer que aunque son demasiadas las ventajas ambientales su costo de producción también aumenta en gran medida, lo anterior basándose en la idea de incursionar en el hidrógeno verde como combustible vehicular, siendo este el combustible óptimo para dar solución a la problemática de los últimos tiempos.

## BIBLIOGRAFÍA

- &NBSP. (13 de Noviembre de 2019). *El tiempo*. Obtenido de El tiempo :  
<https://www.eltiempo.com/economia/sectores/asi-es-el-uso-de-combustibles-fosiles-en-colombia-432992>
- . Obtenido de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA):  
<https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculadora-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero-calculos-y>
- AKBAR, S. (14 de Abril de 2014). *Worldbank*. Obtenido de  
<https://blogs.worldbank.org/es/voices/diesel-impactos-en-las-emisiones-la-salud-y-el-clima>
- AMPO. (7 de Diciembre de 2021). *Ampo*. Obtenido de Ampo:  
<https://www.ampo.com/es/category/sectores/procesamiento-gas-natural/>
- Apilados. (12 de agosto de 2018). *Apilados*. Obtenido de ¿Es el hidrógeno peligroso?:  
<http://apilados.com/blog/es-el-hidrogeno-peligroso/>
- BBVA. (13 de Abril de 2021). *BBVA*. Obtenido de BBVA:  
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/descubre-que-es-el-hidrogeno-verde-solucion-y-desafio/>
- Bogota: Grupo OP Gráficas S.A.
- Castiblanco, C. (18 de Febrero de 2020). *BOGOTA.GOV*. Obtenido de BOGOTA.GOV:  
<https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/decreto-840-de-2019-abc-de-restricciones-vehiculos-de-carga-en-bogota>
- Centro Nacional de Hidrogeno. (01 de 12 de 2021). *Centro Nacional de Hidrogeno*.
- Centro Nacional de Hidrogeno. (23 de noviembre de 2021). *Centro Nacional de hidrogeno*.  
Obtenido de <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>
- Comision de Regulación de Energía y Gas . (23 de noviembre de 2021).  
<https://www.creg.gov.co/sectores>. Obtenido de  
<https://www.creg.gov.co/sectores/combustibles-liquidos/historia-en-colombia>

CREG. (27 de Diciembre de 2017). *Comision de Regulacion de energia y gas*. Obtenido de Comision de Regulacion de energia y gas: <https://www.creg.gov.co/sectores-que-regulamos/gas-natural/historia-en-colombia>

Diario La Republica. (02 de 10 de 2021). *La republica*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/los-proyectos-de-hidrogeno-generaran-hasta-us5500-millones-en-inversion-a-2050-3241117>

Ecopetrol S.A. (25 de marzo de 2021). <https://www.ecopetrol.com.co/>. Obtenido de [https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/?1dmy&page=detalleNoticias&urile=wcm:path:/ecopetrol\\_wcm\\_library/as\\_es/noticias/noticias%2B2021/reduccion-emisiones](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/?1dmy&page=detalleNoticias&urile=wcm:path:/ecopetrol_wcm_library/as_es/noticias/noticias%2B2021/reduccion-emisiones)

EL TIEMPO. (09 de AGOSTO de 2019). *MOTOR ACTUALIDAD*. Obtenido de

El Tiempo. (03 de julio de 2017). *El Tiempo web site*. Obtenido de Los motores a gasolina son enemigos del aire para respirar: <https://www.eltiempo.com/salud/efectos-de-la-gasolina-en-la-mala-calidad-del-aire-105010>

EPA. (23 de noviembre de 2019). *Agencia de Potección Ambiental de Estados Unidos*

EPM . (16 de Octubre de 2021). *EMP.COM*. Obtenido de EMP.COM: <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/500000-colombianos-con-gas-natural-vehicular>

Fedebiocombustibles. (15 de Octubre de 2014). La contaminación atmosférica, problemática ambiental. *Biocombustibles*, págs. 1-9.

Hallack, P. N.-M.-M. (30 de Septiembre de 2021). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/energia/es/colombia-gana-posicionamiento-en-la-industria-de-hidrogeno-verde/>

<https://www.motor.com.co/actualidad/industria/ecopetrol-produce-diesel-limpio-colombia/32721>

LA FM. (29 de Noviembre de 2018). *LAFM*. Obtenido de LAFM.: <https://www.lafm.com.co/medio-ambiente/colombia-segundo-pais-de-latinoamerica-con-mas-contaminacion-del-aire>

Lenntech. (23 de noviembre de 2021). Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.htm>

- MINAMBIENTE. (11 de Septiembre de 2021). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM:  
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter1.pdf>.
- Minambiente. (19 de Septiembre de 2017). *Minambiente*. Obtenido de Minambiente:  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3220-con-movilidad-sostenible-colombia-podra-disminuir-la-contaminacion-del-aire>
- Minenergía, C. A. (miercoles de Septiembre de 2021). *La Republica*. Obtenido de  
<https://www.larepublica.co/economia/demanda-de-combustibles-supero-en-15-los-niveles-registrados-antes-de-pandemia-3239378>
- Ministerio de Minas y Energía. (2 de 10 de 2021). Ministerio de Minas y Energía. *Hojade ruta del hidrogeno en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Naciones Unidas. (04 de Septiembre de 2002). *Naciones Unidas*. Obtenido de Naciones Unidas:  
<https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/desarrollo.htm>
- Obtenido de Centro Nacional de Hidrogeno: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>
- Pasquali, M. (22 de Julio de 2019). *Statista* . Obtenido de Statista:  
<https://es.statista.com/grafico/18721/paises-y-ciudades-con-mayor-contaminacion-del-aire-en-latinoamerica/>
- Pasquali, M. (22 de Julio de 2019). *Statista*. Obtenido de Statista:  
<https://es.statista.com/grafico/18721/paises-y-ciudades-con-mayor-contaminacion-del-aire-en-latinoamerica/>
- Portafolio. (30 de noviembre de 2019). *portafolio.co/tendencias*. Obtenido de  
<https://www.portafolio.co/tendencias/hace-120-anos-circulo-en-medellin-el-primer-carro-en-colombia-536064>
- PORTAFOLIO. (12 de Noviembre de 2019). *PORTAFOLIO*. Obtenido de  
<https://www.portafolio.co/economia/al-2050-colombia-seguira-atada-a-los-combustibles-fosiles-535482>
- Repullo, F., & Garcia, M. (2019). *La hora del hidrogeno verde*. Madrid : Coonic.
- Unidad de Comunicaciones Corporativas de Ecopetrol. (2014). *El petroleo y su mundo*.
- Valora Analitik. (23 de Septiembre de 2021). *Valora Analitik*. Obtenido de Valora Analitik:

<https://www.valoraanalitik.com/2021/09/23/reservas-gas-colombia-representan-7-anos-autosuficiencia/> 7-