

**Usos y aplicaciones del hidrogeno verde
en sectores estratégicos de Colombia**

Elaborado por:

Juan Camilo Monroy González

Gabriel Alejandro Hidalgo Lagos

Luis Camilo Villareal Patiño

Viviana Katherinn Méndez García

Universidad EAN

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Posgrado

Bogotá

21/05/2024

Tabla de Contenido

1. Resumen	4
2. Problema de Investigación	4
3. Objetivos	6
3.1 Objetivo general	6
3.2 Objetivos específicos	6
4. Justificación	7
5. Marco Teórico	8
6. Marco institucional	11
7. Metodología	12
7.1 Primer nivel	12
7.2 Segundo nivel	17
8. Análisis y discusión de los resultados	20
8.1 Encuesta- Percepción a los desafíos técnicos asociados con la implementación del hidrógeno verde en el sector eléctrico colombiano.	21
8.2 Encuesta - Percepción a los desafíos técnicos asociados con la implementación del hidrógeno verde en el sector químico colombiano.	24
8.3 Encuesta- Percepción a los desafíos técnicos asociados con la implementación del hidrógeno verde en el sector Oil and Gas de Colombia.	28
9. Conclusiones	38
10. Referencias	39

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Demanda actual y futura del hidrogeno verde en Colombia. Tomado de: Hoja de ruta del hidrogeno en Colombia. Ministerio de Minas y Energía.	6
Ilustración 2. Resultados pregunta 1 sector eléctrico.....	21
Ilustración 3. Resultados pregunta 2 sector eléctrico.....	22
Ilustración 4. Resultados pregunta 3 sector eléctrico.....	22
Ilustración 5. Resultados pregunta 4 sector eléctrico.....	23
Ilustración 6. Resultados pregunta 5 sector eléctrico.....	23
Ilustración 7. Resultados pregunta 6 sector químico	25
Ilustración 8. Resultados pregunta 7 sector químico	25
Ilustración 9. Resultados pregunta 8 sector químico	26
Ilustración 10. Resultados pregunta 9 sector químico	26
Ilustración 11. Resultados pregunta 10 sector químico	27
Ilustración 12. Resultado pregunta 1 sector Oil and gas.....	29
Ilustración 13. Resultado pregunta 2 sector Oil and gas.....	29
Ilustración 14. Resultado pregunta 3 sector Oil and gas.....	30
Ilustración 15. Resultado pregunta 4 sector Oil and gas.....	31
Ilustración 16. Resultado pregunta 5 sector Oil and gas.....	32
Ilustración 17. Resultado de pregunta 1 del sector de la siderúrgica.....	33
Ilustración 18. Resultado de pregunta 2 del sector de la siderúrgica.....	34
Ilustración 19. Resultado de pregunta 3 del sector de la siderúrgica.....	35
Ilustración 20. Resultado de pregunta 4 del sector de la siderúrgica.....	35
Ilustración 21. Resultado de pregunta 5 del sector de la siderúrgica.....	36
Ilustración 22. Resultado de pregunta 6 del sector de la siderúrgica.....	37
Ilustración 23. Resultado de pregunta 7 del sector de la siderúrgica.....	38

1. Resumen

Este informe presenta un análisis exhaustivo del potencial y las aplicaciones del hidrógeno verde en sectores estratégicos clave de Colombia. Se examinan detalladamente los retos para el uso del hidrógeno verde en el sector del petróleo y el gas, el sector químico, sector siderúrgico y sector eléctrico, así como su impacto en el medio ambiente y la sociedad colombiana. También se identifican las ventajas y desafíos con relación a la adaptación del hidrógeno verde en Colombia, incluyendo la disponibilidad de recursos, la infraestructura necesaria y las barreras regulatorias. Además, se destacan las oportunidades de colaboración entre diferentes actores, como empresas, instituciones gubernamentales, académicas y de la sociedad civil, para promover la investigación, la innovación y la implementación de tecnologías relacionadas con el hidrógeno verde. En resumen, este informe ofrece una visión integral sobre cómo el hidrógeno verde puede desempeñar un papel fundamental en la transformación de los sectores estratégicos de Colombia, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático y al desarrollo económico sostenible del país.

2. Problema de Investigación

La transición hacia la generación de hidrógeno, especialmente el hidrógeno verde, se ha visto motivada por una serie de causas subyacentes, síntomas de desafíos ambientales y económicos, y pronósticos sobre el cambio climático y la seguridad energética.

A continuación, se detallan estos aspectos:

- **Causas u Origen del Problema**

1. Cambio Climático y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero: La creciente concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles, ha llevado a un aumento global de la temperatura, alterando los patrones climáticos.

2. Dependencia de Combustibles Fósiles: La economía global ha estado históricamente dependiente de petróleo, carbón y gas natural, lo que conlleva vulnerabilidades geopolíticas, fluctuaciones de precios y daños ambientales.

3. Seguridad Energética: La concentración de recursos fósiles en ciertas regiones del mundo plantea desafíos para la seguridad energética de muchos países, impulsando la búsqueda de alternativas más limpias y sostenibles.

- **Síntomas**

1. Incremento de Eventos Climáticos Extremos: Huracanes, incendios forestales, sequías e inundaciones más frecuentes e intensos son manifestaciones visibles del cambio climático.

2. Contaminación Atmosférica y Problemas de Salud: La quema de combustibles fósiles contribuye significativamente a la contaminación del aire, causando problemas respiratorios y cardiovasculares en la población.

3. Volatilidad de los Precios del Petróleo: Las fluctuaciones en los precios del petróleo afectan la economía global, desde el costo de la energía hasta los precios de los alimentos y productos.

- **Pronóstico de la Situación**

Si no se toman medidas significativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y diversificar las fuentes de energía, los modelos climáticos predicen:

1. Agravamiento del Cambio Climático: Se espera un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, junto con impactos en la biodiversidad, la agricultura y la disponibilidad de agua dulce.

2. Escasez de Combustibles Fósiles: A largo plazo, la continua dependencia de combustibles fósiles no es sostenible debido a su naturaleza finita, lo que podría llevar a una crisis energética.

3. Mayores Conflictos Geopolíticos: La competencia por recursos limitados podría intensificar las tensiones entre naciones y dentro de ellas.

Todos estos factores han impulsado el desarrollo de tecnologías para la generación de hidrógeno verde como una solución potencial, promoviendo una economía baja en huella de carbono, diversificando las fuentes de energía y contribuyendo a la mitigación del cambio climático. El hidrógeno verde, producido mediante la electrólisis del agua utilizando energía renovable, ofrece

una ruta prometedora hacia una energía limpia, versátil y sostenible, adecuada para múltiples aplicaciones, incluyendo transporte, industria y generación de energía.

Es así como en esta investigación planteamos dar respuesta a cuáles serían los desafíos técnicos para poder implementar el hidrogeno verde como fuente de energía en algunos sectores claves en la economía de Colombia, como lo son el sector del petróleo y el gas, el sector químico, el sector siderúrgico y por último el sector eléctrico colombiano.

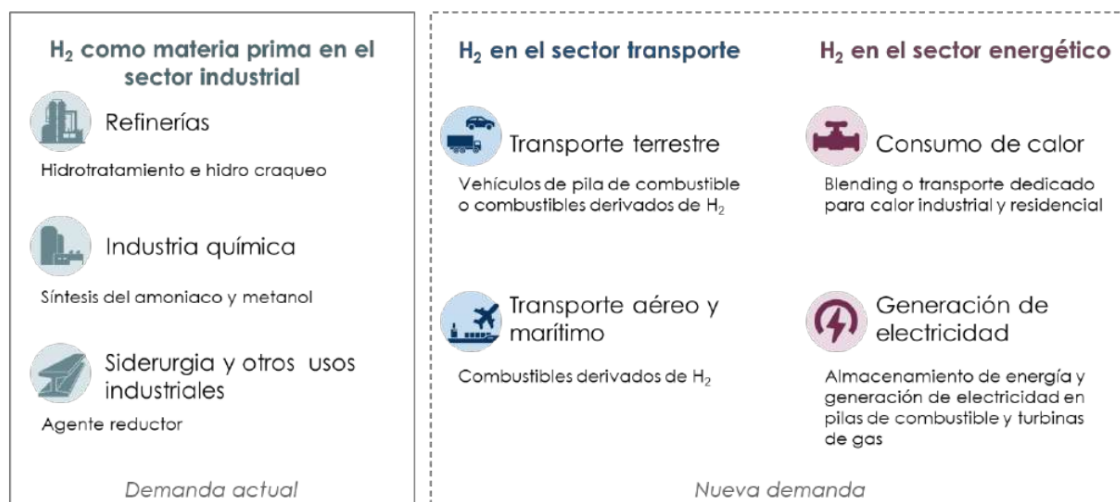


Ilustración 1. Demanda actual y futura del hidrogeno verde en Colombia. Tomado de: Hoja de ruta del hidrogeno en Colombia. Ministerio de Minas y Energía.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar el potencial de integración del hidrógeno verde en los sectores estratégicos de Colombia, identificando las vías más eficientes y sostenibles para su producción, distribución y uso, con el fin de contribuir a la descarbonización de la economía, mejorar la seguridad energética nacional y fomentar el desarrollo socioeconómico sostenible.

3.2 Objetivos específicos

- Estudiar los desafíos técnicos asociados con la implementación de la tecnología de H₂ verde en Colombia para el sector del petróleo y el gas.

- Estudiar los desafíos logísticos asociados con la implementación de la tecnología de H2 verde en Colombia para el sector químico.
- Estudiar los desafíos técnicos asociados con la implementación de la tecnología de H2 verde en Colombia para el sector siderúrgico.
- Estudiar los desafíos técnicos asociados con la implementación de la tecnología de H2 verde en Colombia para el sector eléctrico.

4. Justificación

Debido a la problemática ambiental y a los conflictos políticos y religiosos, han desencadenado una serie de factores que han disminuido la disponibilidad de los combustibles fósiles y fluctuaciones en los precios, por lo cual es necesario realizar una transición a fuentes energéticas y materias primas más amigables con el medio ambiente para lograr el propósito del acuerdo de París en mantener la temperatura de la tierra para evitar las catástrofes ambientales que se han venido produciendo.

El hidrogeno verde es una opción esperanzadora y variable para el remplazo de varias fuentes energéticas e hidrocarburos, debido a que “es un vector que facilita el almacenamiento de energía procedente de fuentes renovables intermitentes como la energía solar o eólica” (Muñoz Fernández, 2022).

Generando energías con cero emisiones de dióxido de carbono en los sectores donde es más complejo realizar la descarbonización la finalidad de minimizar gradualmente la necesidad hidrocarburos y disminuir el impacto generado por los gases de invernadero.

El hidrogeno verde sería un sustituto limpio de los hidrocarburos, aunque hay grandes expectativas en la actualidad se están desarrollando megaproyectos donde participan empresas públicas y privadas en diferentes partes del mundo, en el momento no se comercializa el hidrogeno verde, se debe tener en cuenta que no solo es relevante las cantidades de hidrogeno que se requiere para lograr la descarbonización, se deben considerar las políticas públicas, la incertidumbre del mercado, la participación social, los conflictos entre los sectores de la economía, los acuerdos entre países, alianzas empresariales, desarrollo tecnológico y capacitaciones. (Wyczykier, 2023)

También es relevante tener en cuenta la potencialidad de este y que tan asequible es, El hidrogeno verde se obtiene por medio de la electrolisis tiene innumerables ventajas pose una densidad

energética muy alta, su combustión genera H₂O, es posible inyectarse en las redes del gas natural, se puede comprimir y almacenar por mucho tiempo en tanques, es un elemento ligero y transportable y se puede utilizar en la producción de acero. (Wyczykier, 2023)

Se debe tener en cuenta las desventajas que el hidrogeno no es una materia prima, al ser un vector energético puede transportar, pero no generar energía, se necesita grandes inversiones, los costos de producción son altos en comparación a los obtenidos del gas natural generando alto precios para el consumidor final, se debe almacenar altas presiones y necesita grandes cantidades de agua.

A pesar de que se encuentra en el hidrogeno verde como una opción para disminuir el impacto ambiental que se ha generado por la industrialización todavía hay mucho parámetro que hay que contemplar como aspectos políticos, jurídico, económico, geográficos, sociales y culturales entre otros para obtener un producto que cumpla con las exigencias. (Wyczykier, 2023)

5. Marco Teórico

Según García, (2023) en el 2020 se estimó un consumo a nivel mundial de aproximadamente 90 millones de toneladas de hidrogeno son alrededor de 258 megatoneladas equivalentes de petróleo (Mtoe), el gasto de energía primaria fue de 13.853 Mtoe, para la generación de hidrogeno se utiliza el 2% de energía primaria utilizada por toda la población mundial, por lo tanto, se ve la importancia de producir hidrogeno por medio de energías renovables.

El hidrogeno se utiliza en industrias y sectores, como la refinería, que transforma las características de los productos derivados del petróleo o los transforma en combustibles. Las refinерías producen hidrogeno mediante el gas natural y lo mezclan con el obtenido como subproducto o el que se encuentra en la purga de los equipos. Se estima que la demanda en las refinерías es de alrededor del 44% de hidrogeno utilizado a nivel mundial que son 40 millones de toneladas al año aproximadamente. (García, 2023).

Con el hidrógeno verde y el CO₂ se contempla la idea de producir combustibles como el queroseno, Jet A-1, JP8 y diésel marino como una opción para descarbonizar sectores aéreos y marítimos se estima que para el 2050 se produzca alrededor de 100 millones de tonelada por año de combustibles sustitutos.

El amoníaco es materia prima para la elaboración de fertilizante nitrogenados el cual es utilizado en la agricultura, su producción es a partir del nitrógeno del aire, en el cual se utiliza el hidrogeno producido por los combustibles fósiles en especial el del gas natural por medio del proceso de Haber-Bosch, en este proceso el consumo es alrededor de 34 millones de toneladas de hidrogeno por año. (García, 2023). El hidrogeno verde se puede mezclar con el nitrógeno por medio de este proceso y generar amoníaco verde sin emanación de dióxido de carbón; se considera que para el 2030 la producción a nivel mundial de amoníaco verde será de 25 millones de toneladas por año.

El metanol es utilizado en diversas industrias para la fabricación de biocombustibles, plásticos, adhesivos y resinas; se genera por medio de la reacción de hidrogeno con monóxido de carbono obtenidos del gas natural, generando un alto porcentaje de dióxido de carbono siendo una industria que produce grandes cantidades de emisiones de efecto de invernadero, se estima que utiliza 11 millones de toneladas de hidrogeno al año. Al mezclar el hidrogeno verde en la síntesis del metanol se producirá metanol verde generando cero emisiones de dióxido de carbono en una industria que genera preocupación por su alto porcentaje de contaminación para el año 2030 se estima producir 10 millones de toneladas por año de metanol verde. (Pérez, 2023).

Como se mencionó anteriormente el hidrogeno es utilizado en diversas industrias debido al objetivo que se tiende de cumplir el acuerdo de Paris se está buscando alternativas de utilizar el hidrogeno verde como insumo para producir productos químicos como isopropanol, butanol, ácido acético, etileno, propileno y cloruro de vinilo los cuales son utilizados en la industria de alimentos, bebidas, farmacéuticas, textiles, productos de caucho y plásticos entre otros, se espera que en un futuro no muy lejano aumente el mercado de productos químicos a partir del hidrogeno verde.

Según (Benito, 2022) el hidrógeno es actualmente el elemento más abundante del mundo y del universo, pero no se disponen con depósitos naturales en cantidades significativas. Siendo el hidrogeno a futuro el combustible más limpio, actualmente se produce combustibles con elementos fósiles y se utiliza en sectores con altas emisiones contaminantes.

El hidrogeno, en elemento gaseoso, se convierte en un elemento clave para los procesos de refinería de combustibles fósiles y en la producción de amoníaco para la industria de fertilizantes. El hidrógeno posee una demanda industrial cada vez más grande e importante para los demás sectores, más aún en procesos de transición energética.

Para la producción de aceros el hidrógeno es quien tiene la actuación más potencial ya que esta producción representa el 7% de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el hombre, siendo esta, la industria que genera más contaminantes en todo el planeta.

La energía de proceso y el calor necesarios para convertir el mineral de hierro en acero provienen principalmente del carbón, el combustible fósil más contaminante. Sin embargo, los fabricantes de acero europeos están cada vez más interesados en comercializar métodos de producción de acero a base de hidrógeno con perfiles de emisiones muy mejorados.

Así como en muchas industrias, la siderúrgica tiene un impacto bastante considerable al medio ambiente. Según la Asociación Mundial del Acero, en promedio, se emitieron 1,85 toneladas métricas de dióxido de carbono por cada tonelada métrica de acero producida en 2018. La Agencia Internacional de la Energía ha descrito al sector siderúrgico como “altamente dependiente del carbón, que suministra el 75% de la demanda de energía”. (Benito, 2022)

El hidrógeno verde el cual es extraído de fuentes de energía renovables y de baja emisión de carbono tales como la energía eólica, mareomotriz, geotérmica y solar, puede desempeñar un papel muy importante para lograr acercar a un país entero a la cero (0) emisión de carbono. Las aplicaciones más comunes en las que se puede utilizar actualmente el hidrógeno verde se encuentran en las siguientes:

- En las turbinas eléctricas de hidrógeno que pueden generar electricidad en los momentos de máxima demanda.
- Pilas de combustible para vehículos eléctricos.
- A medida que el hidrógeno en la mezcla de gas de tubería para así reducir el consumo del elemento fósil.
- En las refinerías de "acero verde" que queman hidrógeno como fuente de calor en lugar de carbón.
- En los buques portacontenedores impulsados por amoníaco líquido que se fabrica a partir de hidrógeno.

(CROWCON, 2021)

6. Marco institucional

Dentro del marco legal y regulatorio del Hidrogeno en Colombia se tiene:

Ley 697 del 2001 Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

Ley 1715 del 2014 por medio de la cual se regula la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.

Ley 1964 del 2017 por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia
Ley 2099 del 2021 por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.

Hoja de Ruta del Hidrogeno en Colombia, la cual tiene por objeto contribuir al desarrollo e implantación del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia reforzando así el compromiso del Gobierno con la reducción de emisiones estipulada en los objetivos del Acuerdo de París del 2015.

Ley 2169 del 2021 Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática.

Decreto 895 del 2022 el cual modifica la Ley 1715 del 214 y la Ley 2099 del 2021

Resolución UPME 319 del 2022 Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para la evaluación de las solicitudes de evaluación y emisión de los certificados que permitan acceder a los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014.

Decreto 1476 del 2022 introducir el hidrógeno verde y azul al marco de las FNCE, y ordenó al gobierno nacional definir los mecanismos, condiciones e incentivos para promover la innovación, investigación, producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno.

Ley 2299 del 2022 Pla nacional de desarrollo 2022 – 2026

Ley 2069 de 2020 Por medio del cual se impulsa el emprendimiento en Colombia.

Adicional a lo anterior se crea el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía FENOGE que tiene como función catalizar y dinamizar el sector de fuentes de energía no renovables impulsando el desarrollo e implementación de tecnologías que permitan hacer producción y uso del hidrogeno verde para ayudar a descarbonizar la industria colombiana

7. Metodología

7.1 Primer nivel

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

Para elegir el método de muestreo requerido para el estudio sobre los desafíos técnicos de diferentes sectores de la industria en la implementación del H2V en Colombia.

Se debe tener en cuenta los objetivos específicos del proyecto, los desafíos y la importancia de recolectar la información precisa que se requiere; se considera que el método de muestreo es cuantitativo, cualitativo y mixto. Al utilizar una mezcla del muestreo cuantitativo y cualitativo se tiene como resultado la información más completa acerca de los desafíos técnico del uso de H2V en Colombia, proporcionando herramientas que permitan superar los inconvenientes que se tenga y una aceptación exitosa de la tecnología.

Técnicas de muestreo cualitativo

- **Encuestas:** realizar encuestas a un segmento interesado en el uso de H2V se puede obtener datos cualitativos acerca de la prevalencia y gravedad que tiene los diferentes sectores para reconocer los desafíos técnicos.

Definición de Variables

- **Definición conceptual de variables cuantitativas.**

Para analizar el uso y aplicación del H2V en sectores estratégicos de Colombia, se establecen variables cuantitativas que permitan evaluar su implementación, impacto y viabilidad económica. Estas variables permiten no sólo cuantificar aspectos económicos y de producción, sino también evaluar el impacto ambiental y la sostenibilidad del H2V. Al utilizar algunas métricas, se puede hacer un seguimiento del progreso, identificar áreas de mejora implementacional, y optimizar los recursos para impulsar el desarrollo de esta fuente de energía limpia en Colombia.

- **Definición operacional de variables cuantitativas.**

En la definición operacional de las variables cuantitativas se establecen métricas que permiten tener medición de esta variable, algunas métricas son las siguientes:

- 1. Capacidad de producción de hidrógeno verde (kg/día):** Cantidad total de hidrógeno verde que se puede producir en un día. Esta variable es crucial para entender la escala de producción posible y aprovechable.
- 2. Inversión inicial (COP):** Capital necesario para establecer la infraestructura de producción y distribución de hidrógeno verde, incluyendo electrolizadores, instalaciones de almacenamiento y logística.
- 3. Costo de producción por kilogramo (COP/kg):** Costo asociado a la producción de un kilogramo de hidrógeno verde, incluyendo energía, amortización de la infraestructura, mantenimiento, mano de obra, entre otros, total de gastos y costos para su producción.
- 4. Demanda sectorial de hidrógeno (kg/año):** Cantidad de hidrógeno requerida anualmente por diferentes sectores estratégicos en los cuales se implementará, incluyendo transporte, industria o energía.
- 5. Reducción de emisiones de CO2 (Toneladas/año):** Estimación de la reducción de emisiones de dióxido de carbono gracias al uso de hidrógeno verde en comparación con combustibles fósiles.
- 6. Porcentaje de energía renovable utilizada en la producción (% del total):** Mide la proporción de energía renovable usada en la producción de hidrógeno verde, lo cual es crucial para calificarlo como "Verde".
- 7. Precio de venta del hidrógeno verde (COP/kg):** Precio al cual el hidrógeno verde es vendido a los consumidores o sectores, que afecta la adopción y la viabilidad económica del hidrógeno verde.

8. Retorno de la inversión (Años): Tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los ingresos generados por la venta de hidrógeno verde.

9. Eficiencia energética de la producción (%): Porcentaje de la energía suministrada que se convierte efectivamente en hidrógeno.

10. Número de proyectos de hidrógeno verde en desarrollo: Indicador del interés y la expansión de la tecnología de hidrógeno verde en el país.

- **Definición conceptual de variables cualitativas.**

Para comprender y evaluar la implementación del H2V desde una perspectiva cualitativa, es importante establecer algunas variables que ayuden a captar aspectos como percepciones, políticas, y otros factores no cuantificables directamente. Las variables cualitativas son esenciales para comprender los desafíos, oportunidades y dinámicas en torno a la implementación del hidrógeno verde. Al analizarlas, se puede obtener una visión más completa de lo que se necesita para promover de manera correcta y efectiva esta alternativa energética en Colombia.

- **Definición operacional de variables cualitativas.**

La definición operacional de las variables cualitativas se establecen de la siguiente manera:

1. Aceptación social: Mide el nivel de aceptación y soporte del público hacia proyectos que conlleven la implementación del hidrógeno verde, incluyendo preocupaciones ambientales y de sostenibilidad.

2. Políticas gubernamentales y regulaciones: Describe el marco regulatorio y las políticas establecidas por el gobierno que favorecen o dificultan la implementación del hidrógeno verde, como incentivos fiscales, subvenciones, y normativas específicas.

3. Colaboración entre sectores: Evalúa la existencia y calidad de las alianzas estratégicas entre industrias, universidades, centros de investigación, y el gobierno para el desarrollo y promoción del hidrógeno verde.

4. Conocimiento y capacitación técnica: Mide el nivel de conocimiento técnico y la disponibilidad de capacitación relacionada con la producción, manejo y uso del hidrógeno verde dentro de las empresas y entre los trabajadores del sector.

- 5. Innovación tecnológica:** Describe el nivel de innovación y desarrollo tecnológico asociado a la producción y uso del hidrógeno verde, incluyendo mejoras en la eficiencia de los electrolizadores y tecnologías de almacenamiento.
- 6. Sostenibilidad del proyecto:** Evalúa el enfoque hacia la sostenibilidad en los proyectos de hidrógeno verde, considerando aspectos como el ciclo de vida del proyecto, el impacto ambiental a largo plazo, y la gestión de recursos.
- 7. Impacto en el empleo:** Descripción del efecto de la introducción del hidrógeno verde sobre la creación, transformación o pérdida de empleos, especialmente en las comunidades locales.
- 8. Viabilidad a largo plazo:** Percepciones sobre la sostenibilidad económica y técnica de los proyectos de hidrógeno verde a largo plazo.
- 9. Adopción tecnológica:** Grado en que las nuevas tecnologías para la producción y aplicación del hidrógeno verde son adoptadas por las empresas y el sector público.
- 10. Calidad de la infraestructura existente:** Estado y adecuación de la infraestructura actual que podría ser utilizada o necesitaría ser adaptada para la integración del hidrógeno verde.

Población y Muestra

Para obtener un estudio relevante acerca de los desafíos técnicos asociados con la implementación de la tecnología de H2V en Colombia, es necesario se aconseja tener en cuenta a la población que incluya:

- **Empresas del sector petrolero y gas:** es relevante entender el enfoque y requerimientos de las empresas que está en esta industria debido a que son las encargadas adquirir la tecnología H2V.
- **Organismos gubernamentales:** los entes gubernamentales son relevantes para promover políticas públicas y regulaciones que apoyen los avances y la implementación del H2V.
- **Expertos en tecnología H2V:** El apoyo de expertos en la producción, almacenamiento, transportes y uso del H2V capacitándose en información relevante para los desafíos que se generen y las posibilidades del uso de esta tecnología.
- **Universidades y centros de investigación:** son lugares donde se imparten y desarrollan conocimiento y tecnología en campo del H2V. La participación de estas aporta perspectivas importantes de cómo se encuentra la tecnología en la actualidad y el potencial a futuro.

- **Empresas del sector químico:** es relevante conocer los requerimientos de logística específicos de las empresas que utilizan H2V en el desarrollo de productos químicos.
- **Proveedores de servicios de logísticos:** las empresas que trasladan almacenan y utilizan H2V pueden dar información valiosa sobre los retos y oportunidades de la cadena de suministros; también pueden dar información experta acerca de las mejores prácticas y tecnologías que se encuentra en el mercado.
- **Empresas siderúrgicas:** es relevante entender las necesidades técnicas y los retos específicos de las empresas que están en el sector siderúrgico, contemplando lo diversos procesos de producción y las tecnologías usadas.
- **Expertos y proveedores en tecnología H2V y siderurgia:** la asesoría de expertos en la producción, almacenamiento y transporte de H2V en los procedimientos siderúrgicos y la unión de ambas tecnologías genera información relevante sobre los retos técnicos y las oportunidades de la transición energética.
- **Empresas generadoras de electricidad:** es relevante entender las necesidades técnicas y los retos que tiene las empresas de este sector, teniendo en cuenta las clases de generación y características de la red eléctrica.
- **Operadores y expertos de redes eléctricas:** los operadores de la red eléctrica se encargan de que el sistema eléctrico sea seguro y estable, es necesario comprender los desafíos técnico y operativos que tienen relacionados con la integración del H2V en la red eléctrica y las ventajas que tiene la transición energética.

El objetivo del proyecto es estudiar los desafíos de la implementación de H2V en diferentes industrias, por lo que se contempla como muestra las empresas que están realizando algún proyecto piloto o investigaciones acerca de este tipo de tecnología, debido a que conocen mejor que nadie los desafíos que se han presentado en cada una de sus etapas y como han tenido que modificar o implementar algunas técnicas. Por lo cual estimamos que las empresas y universidades que vamos mencionamos a continuación sería el tamaño de nuestra muestra.

Estas son las diferentes empresas y universidades que nos aporta al proyecto por el conocimiento que han adquirido en sus proyectos pilotos e investigaciones en la aplicación de esta tecnología en las cuales encontramos a Ecopetrol, Promigas, Grupo de energías de Bogotá, Cespa, Vestas, Sociedad Colombiana de minería, Asociación Colombiana de Industria Química, Acerías Paz del

Rio, Asociación Colombiana de Siderúrgicos, Empresas Públicas de Medellín, Celsia y Asociación Colombiana de Energía Eléctrica y las universidades como la Universidad de Antioquia, Universidad Industrial de Santander, Universidad Nacional de Colombia y la Pontificia Universidad Javeriana.

7.2 Segundo nivel

Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Para medir de manera efectiva tanto las variables cuantitativas como cualitativas asociadas al uso y aplicación del H2V en Colombia, se pueden emplear diversos instrumentos y métodos de recolección de datos.

- ***Instrumentos para variables cuantitativas.***
 - **Software de Análisis Estadísticos:** El uso de esta herramienta permite analizar datos mediante aplicaciones estadísticas que incluyen manipulación de datos, análisis estadístico, visualización de datos, reportes y exportación, lo cual nos permite realizar análisis descriptivos y predictivos, crear visualizaciones de datos como gráficos, mapas de calor, diagramas de dispersión y presentación de datos.
 - **Software de gestión financiera:** La cual es una herramienta que nos permite calcular y gestionar costos de producción, inversión inicial y precio de venta.
 - **Medidores de flujo y producción:** Son dispositivos específicos para medir la cantidad de hidrógeno producido y procesado diariamente (Kg/día)
 - **Sensores de emisión:** Equipos para medir las emisiones de CO₂ y otros contaminantes en la producción y uso del hidrógeno.

- **Analizadores de eficiencia energética:** Dispositivos los cuales permiten medir la cantidad de energía consumida y su eficiencia en la conversión a hidrógeno.

- **Sistemas de información geográfica (GIS):** Sirven para mapear la distribución y localización de las instalaciones de producción de hidrógeno verde.

- ***Instrumentos para variables cualitativas.***
 - **Encuestas y entrevistas en línea:** Herramientas fundamentales para recoger opiniones, percepciones y aceptación del público y de los stakeholders clave. Pueden diseñarse específicamente para evaluar aspectos como la percepción de la sostenibilidad y la aceptación social del hidrógeno verde.

 - **Grupos focales:** Sesiones organizadas con grupos representativos de la comunidad, expertos en la industria, y tomadores de decisiones para discutir y obtener retroalimentación sobre la implementación y efectos del hidrógeno verde.

 - **Análisis de contenido:** Método para analizar comunicaciones y documentos oficiales, informes de políticas, documentos de planificación y medios de comunicación para evaluar el marco regulatorio y la representación mediática del hidrógeno verde.

 - **Evaluaciones de impacto ambiental:** Estudios detallados realizados por expertos para determinar el impacto ambiental a largo plazo de los proyectos de hidrógeno verde.

 - **Análisis de casos de estudio:** Investigación detallada de proyectos específicos de hidrógeno verde para comprender la implementación, desafíos, y resultados.

- ***Combinación de Métodos***

A menudo, es beneficioso utilizar una combinación de estos métodos para obtener una visión más completa y precisa. Por ejemplo, mientras que las encuestas pueden proporcionar datos sobre la percepción pública y la aceptación, los análisis financieros y de emisiones proporcionan datos concretos sobre el rendimiento y la sostenibilidad. De igual manera, el uso de GIS junto con evaluaciones de impacto ambiental puede ofrecer una perspectiva integral sobre la viabilidad geográfica y ecológica de los proyectos que implementen el hidrógeno verde.

Medir estas variables de manera efectiva ayudará a los tomadores de decisiones, investigadores y otros Stakeholders a comprender mejor las dinámicas y a potencializar el desarrollo del hidrógeno verde en Colombia.

Técnicas de análisis de datos

Ante la amplia variedad de técnicas de análisis de datos que existen, mencionamos las que serán utilizadas en esta investigación:

Técnica de Análisis	Descripción
Análisis Descriptivo	Resumen y descripción de los datos para comprender su estructura y características básicas.
Análisis Exploratorio de Datos	Exploración visual y analítica de los datos para descubrir patrones, tendencias y anomalías.
Análisis de Series Temporales	Identifica patrones y tendencias en datos cronológicos a lo largo del tiempo.

Análisis de Texto	Extrae información significativa de datos no estructurados como documentos y publicaciones en texto.
-------------------	--

A continuación, mostramos el uso de cada una de las técnicas mencionadas:

- **Análisis Descriptivo:** Se centra en resumir y describir los datos para comprender su estructura y características fundamentales. Incluye medidas estadísticas como la media, la mediana, la moda, la desviación estándar, entre otros.
- **Análisis Exploratorio de Datos:** Se enfoca en explorar los datos de manera visual y analítica para descubrir patrones, tendencias, relaciones y anomalías. Involucra gráficos como histogramas, diagramas de dispersión y matrices de correlación.
- **Análisis de Series Temporales:** Se centra en datos que están ordenados cronológicamente para identificar patrones y tendencias a lo largo del tiempo.
- **Análisis de Texto:** Se aplica a datos no estructurados como documentos, correos electrónicos, publicaciones en redes sociales, etc., para extraer información significativa. Incluye técnicas como minería de texto, análisis de sentimientos, y clasificación de documentos.

8. Análisis y discusión de los resultados

En aras de complementar nuestro estudio sobre los desafíos técnicos asociados con la implementación del hidrogeno verde en algunos sectores estratégicos de Colombia y teniendo en cuenta un enfoque cuantitativo, realizamos una encuesta a quince expertos de cada uno de los cuatro sectores específicos de la industria colombiana que estamos analizando: sector eléctrico, químico, petróleo y gas y siderúrgico.

A continuación, presentamos las encuestas realizadas a cada uno de los sectores y su respectivo análisis:

8.1 Encuesta- Percepción a los desafíos técnicos asociados con la implementación del hidrógeno verde en el sector eléctrico colombiano.

Encuestas realizadas: 15

1. ¿Cree usted que la implementación del hidrogeno verde en los procesos de su sector mejorará y ofrecerá un impacto positivo al medio ambiente?

- Si
- No
- No sabe/No responde



Ilustración 2. Resultados pregunta 1 sector eléctrico

2. ¿Se enfrenta el sector eléctrico colombiano a desafíos técnicos para integrar el hidrógeno verde en su infraestructura actual?

- Si

- No
- No sabe/No responde

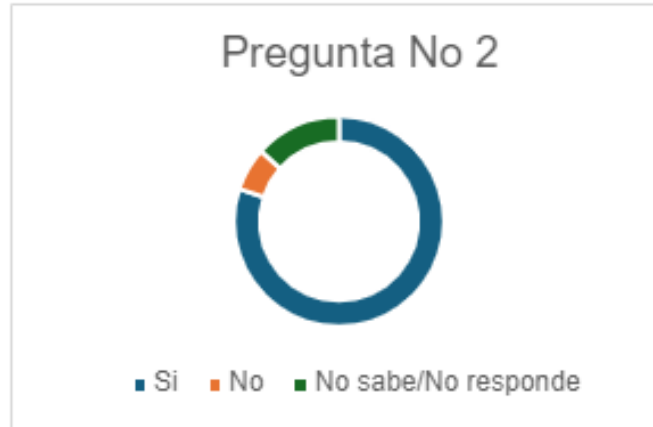


Ilustración 3. Resultados pregunta 2 sector eléctrico

3. ¿Como calificaría la infraestructura de almacenamiento y transporte para apoyar la implementación del hidrógeno verde en Colombia?

- Muy mala
- Mala
- Buena
- Muy buena



Ilustración 4. Resultados pregunta 3 sector eléctrico

4. ¿Existen estándares técnicos para la implementación segura y eficiente del hidrógeno verde en el sector eléctrico colombiano?

- Muy poco claras y funcionales
- Poco claras y funcionales
- Claras y funcionales
- Muy claras y funcionales



Ilustración 5. Resultados pregunta 4 sector eléctrico

5. ¿Qué tan accesibles considera estas normativas?

- Muy poco accesible
- Poco accesible
- Accesible
- Muy accesible

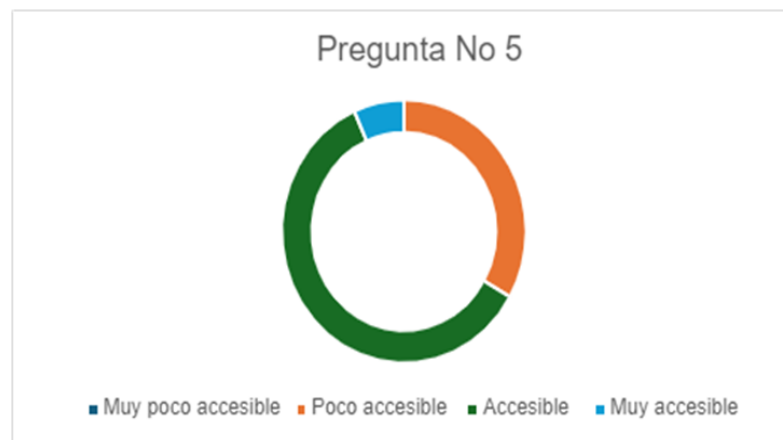


Ilustración 6. Resultados pregunta 5 sector eléctrico

Análisis de resultados:

- Los 15 expertos que respondieron la encuesta pertenecen a una fábrica de productos eléctricos que presta servicios de mantenimiento a subestaciones eléctricas, en este sentido los resultados de la primera pregunta nos muestran que el 87% son optimistas frente a la implementación del hidrogeno verde como tecnología que ofrecerá un impacto positivo al medio ambiente. Así mismo, como respuesta a la segunda pregunta, el 80% de los encuestados consideran que el sector eléctrico colombiano no cuenta con algún tipo de desafío técnico para integrar el hidrogeno verde a la infraestructura eléctrica actual.
- Los resultados a la tercera pregunta muestran que el 73% de los encuestados consideran que la infraestructura de almacenamiento y transporte del hidrogeno verde en Colombia es mala o muy mala.
- Respecto a las preguntas cuatro y cinco enfocadas en saber si los expertos conocen el estándar técnico para implementar la tecnología de hidrogeno verde en el sector eléctrico y si es fácil su acceso, encontramos que un 60% y 67% consideran que son claras y funcionales y además son de fácil acceso.
- Los resultados anteriores nos permiten conocer la percepción de expertos técnicos del sector eléctrico frente a la implementación del hidrogeno verde en este sector estratégico de Colombia, permitiéndonos ver que son optimistas frente al hecho de que esta tecnología impactara de manera positiva al medio ambiente, además vemos que consideran que la infraestructura de la red eléctrica es insuficiente hoy en día para implementar la tecnología de hidrógeno verde. Por otro lado, vemos que los expertos tienen acceso a información técnica para su implementación y como ha venido penetrando el conocimiento local.

8.2 Encuesta - Percepción a los desafíos técnicos asociados con la implementación del hidrógeno verde en el sector químico colombiano.

6. ¿Cree usted que la implementación del hidrogeno verde en la producción de amoniaco genera un impacto positivo al medio ambiente?
 - Si
 - No
 - No sabe/No responde

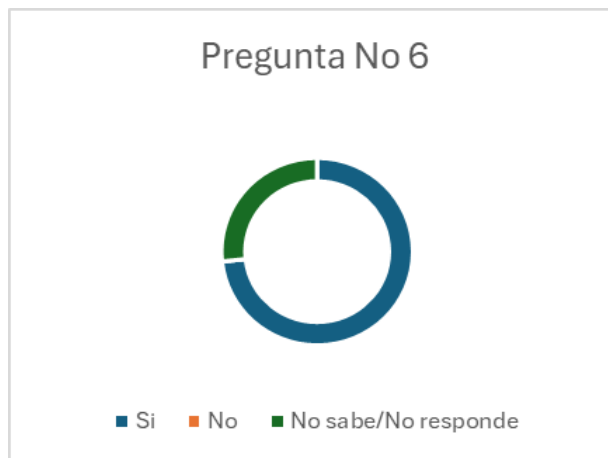


Ilustración 7. Resultados pregunta 6 sector químico

7. ¿Cree usted que al utilizar amoniaco verde en la industria de agricultura generara un impacto positivo al medio ambiente y en la economía?

- Si
- No
- No sabe/No responde

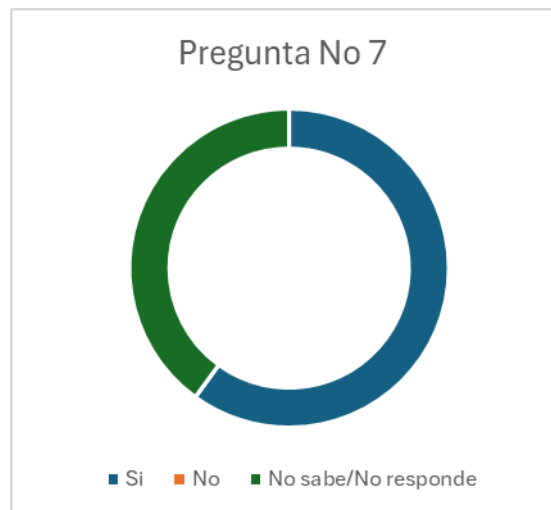


Ilustración 8. Resultados pregunta 7 sector químico

8. ¿Cree usted que al utilizar amoniaco verde es igual de eficiente que el amoniaco como materia prima para la producción de productos químicos?

- Si
- No

- No sabe/No responde

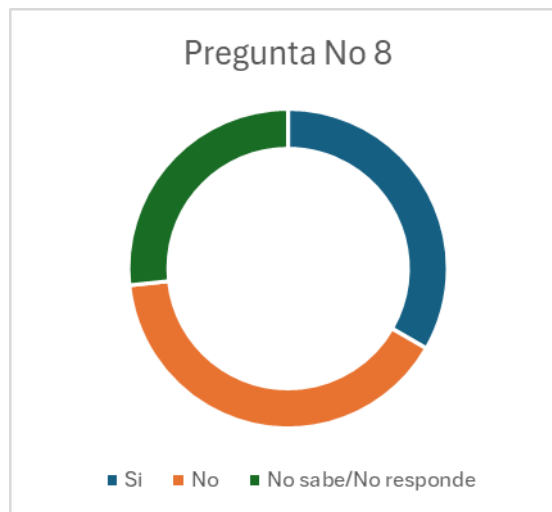


Ilustración 9. Resultados pregunta 8 sector químico

9. ¿Existen estándares técnicos para la implementación segura y eficiente del hidrógeno verde en el sector químico colombiano?

- Muy poco claras y funcionales
- Poco claras y funcionales
- Claras y funcionales
- Muy claras y funcionales

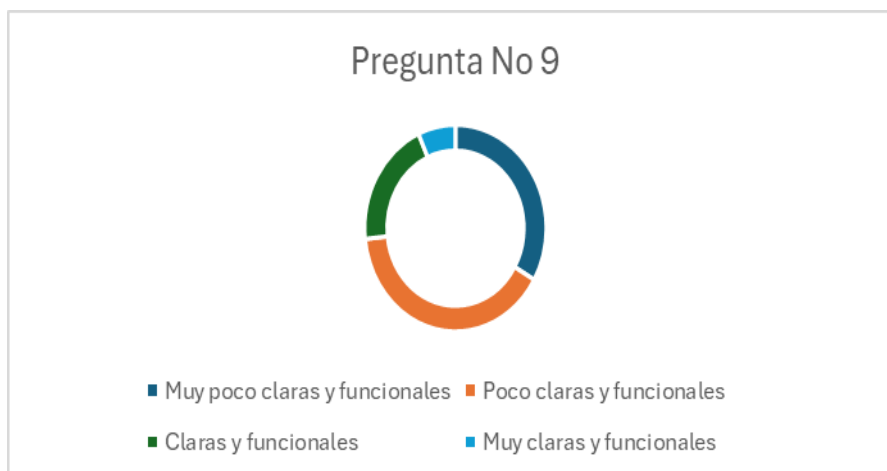


Ilustración 10. Resultados pregunta 9 sector químico

10. ¿Cree usted que Colombia tiene la infraestructura para la producción del metanol verde?

- Si
- No
- No sabe/No responde



Ilustración 111. Resultados pregunta 10 sector químico

Análisis de Resultados:

- En el sector químico colombiano tiene grandes retos para utilizar el hidrogeno verde como insumo para la elaboración de las materias primas que son utilizadas en diferentes industrias. Los desafíos que se evidencia son los altos costos de producción del hidrogeno verde al requerir avances tecnológicos, y una adecuada infraestructura para el transporte, almacenamiento y distribución del hidrogeno verde.
- También la regulación es clave para incentivar la producción y el desarrollo de hidrogeno verde generando beneficios a las empresas que realiza altas inversiones por lo cual es clave realizar alianzas que colaboren en la investigación, desarrollo y comercialización de este.
- La producción del hidrógeno verde en Colombia tiene muchos retos todavía se deben avanzar en el desarrollo de este y poder analizar la eficiencia en los diferentes campos de las industrias y verificar que tan sostenible económicamente es para productores y consumidores y analizar la eficiencia que tiene las materias primas elaboradas con el hidrógeno verde.

- Como resultado de la encuesta las personas tienen expectativas acerca de del hidrogeno verde porque ven en él una solución amigable con el medio ambiente, pero genera incertidumbre acerca de la eficiencia de las materias primas obtenidas, también acerca de los elevados precios y si el país cuenta con la infraestructura para responder a las demandas del entorno. Es muy incierto lo que se conoce acerca del tema hay muchas dudas porque hasta ahora se está comenzado a trabajar en esta área; hay empresas y universidades trabajando, pero hasta se está llevando a cabo las pruebas piloto.
- En la encuesta mencionaron la incertidumbre si el país contara con la cantidad suficiente de hidrogeno verde para responder a las necesidades del entorno, como se ha explicado se necesita de otro componente para poder obtenerlo no se encuentra libre en la naturaleza.

8.3 Encuesta- Percepción a los desafíos técnicos asociados con la implementación del hidrógeno verde en el sector Oil and Gas de Colombia.

Esta muestra se realizó a una población de 10 personas que trabajan en el sector de Oil and Gas, con conocimientos especializados en el área, a continuación, se muestran las preguntas realizadas junto con sus resultados:

1. ¿Qué nivel de conocimiento tiene sobre el hidrógeno verde y su potencial uso en la industria del O&G en Colombia?
 - Muy mala
 - Mala
 - Buena
 - Muy buena

1. ¿Qué nivel de conocimiento tiene sobre el hidrógeno verde y su potencial uso en la industria del O&G en Colombia?

10 respuestas

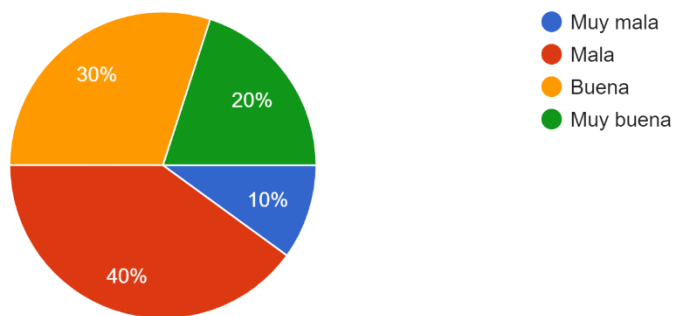


Ilustración 12. Resultado pregunta 1 sector Oil and gas.

2. ¿Cree usted que la implementación del hidrógeno verde en los procesos de la industria O&G mejorará y ofrecerá un impacto positivo al medio ambiente?

- No
- No estoy seguro
- Tal vez
- Si

2. ¿Cree usted que la implementación del hidrógeno verde en los procesos de la industria O&G mejorará y ofrecerá un impacto positivo al medio ambiente?

10 respuestas

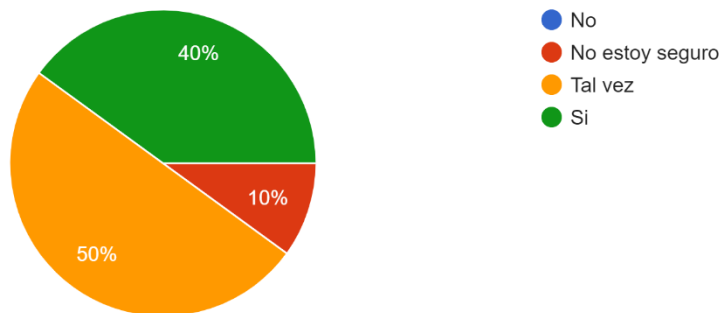


Ilustración 13. Resultado pregunta 2 sector Oil and gas.

3. ¿Cuáles considera que son los principales desafíos para la adopción del hidrógeno verde en la industria O&G en Colombia?

- La infraestructura
- El costo inicial de tecnologías
- Políticas gubernamentales clara
- La falta de investigación y desarrollo

3. ¿Cuáles considera que son los principales desafíos para la adopción del hidrógeno verde en la industria O&G en Colombia?

10 respuestas

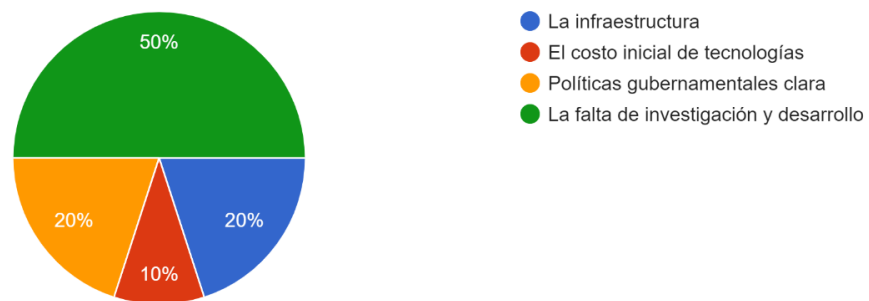


Ilustración 14. Resultado pregunta 3 sector Oil and gas.

4. ¿Cuál es su opinión sobre la viabilidad económica del hidrógeno verde en comparación con los combustibles fósiles en el contexto colombiano?

- No tengo conocimiento para dar una opinión
- El hidrógeno verde económicamente no es viable
- Dependerá de los precios del petróleo
- Si será viable

4. ¿Cuál es su opinión sobre la viabilidad económica del hidrógeno verde en comparación con los combustibles fósiles en el contexto colombiano?

10 respuestas



Ilustración 15. Resultado pregunta 4 sector Oil and gas.

5. ¿Cree usted que las expectativas futuras del hidrógeno verde en la industria O&G en Colombia en los próximos años es?

- Muy mala
- Mala
- Buena
- Muy buena

5. ¿Cree usted que las expectativas futuras del hidrógeno verde en la industria O&G en Colombia en los próximos años es?

10 respuestas

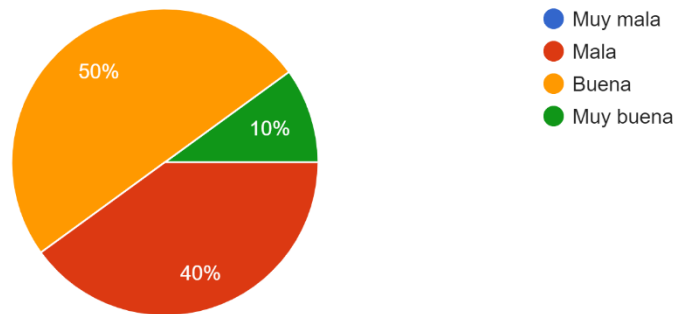


Ilustración 16. Resultado pregunta 5 sector Oil and gas..

Análisis de resultados:

- Con los resultados de la encuesta se puede identificar poco conocimiento del uso del hidrogeno verde como combustible, como una fuente energía que cuida el medio ambiente. Dado la falta de información al respecto y poco uso actualmente en la industria del Oil and Gas, lo cual impide dar una opinión más concisa sobre los beneficios, costos y posible uso de este combustible.
- Aunque hay poco conocimiento sobre el tema, se generan altas expectativas sobre las personas que trabajan en el sector del Oil and Gas, dado que consideran que puede ser una oportunidad de mejora sobre el uso de los combustibles fósiles y más teniendo en cuenta que ayuda con el cuidado del medio del ambiente.
- El uso del hidrógeno verde es un mundo por explorar que puede generar empleo en diferentes áreas dado los múltiples usos que se le puede dar, no solo en la industria de Oil and Gas sino en todo tipo de industria y entidades, como las entidades educativas, viviendas, medios transporte entre otras.

8.4 Encuesta- Percepción a los desafíos técnicos asociados con la implementación del hidrógeno verde en el sector de la siderúrgica en Colombia.

Esta muestra se realizó a una población de 7 personas que trabajan en el sector de la siderúrgica, con conocimientos especializados en el área, a continuación, se muestran las preguntas realizadas junto con sus resultados:

1. ¿Qué tan importante cree que es la transición hacia el hidrógeno verde para la industria siderúrgica?
 - Muy importante
 - Importante
 - Neutral
 - Poco importante
 - Nada importante

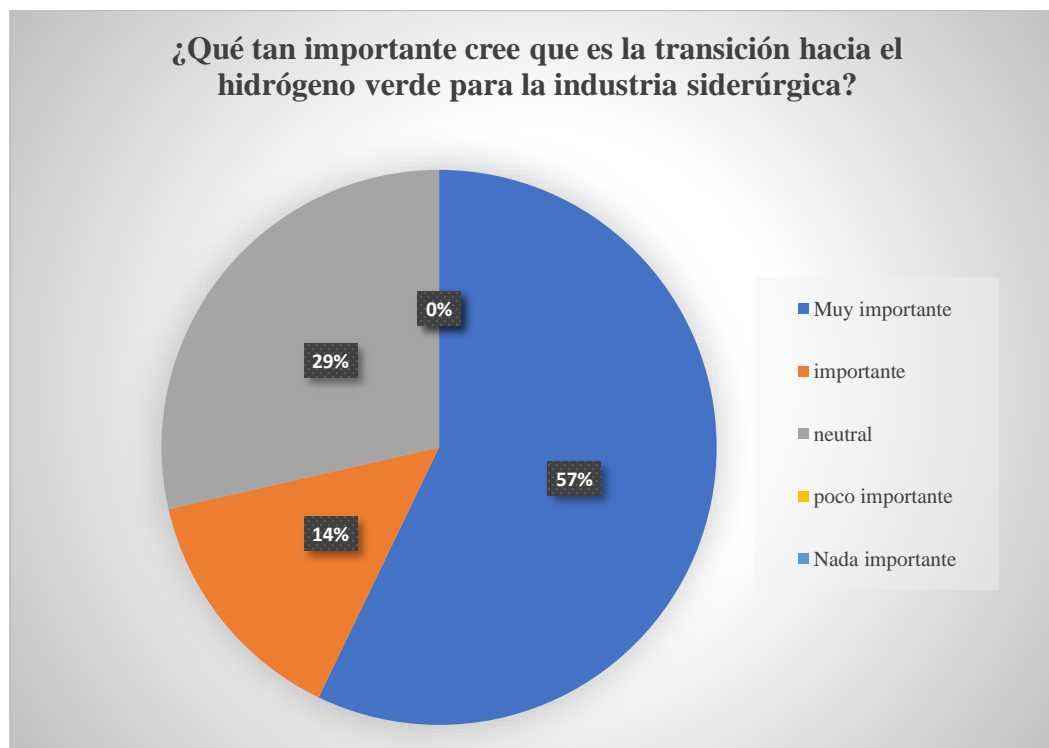


Ilustración 17. Resultado de pregunta 1 del sector de la siderúrgica.

2. ¿Cuáles considera que son los mayores beneficios del uso de hidrógeno verde en la siderúrgica?
- Reducción la emisión de CO2
 - Mejora de la eficiencia energética
 - Cumplimiento de regulaciones ambientales
 - Mejora de la imagen corporativa

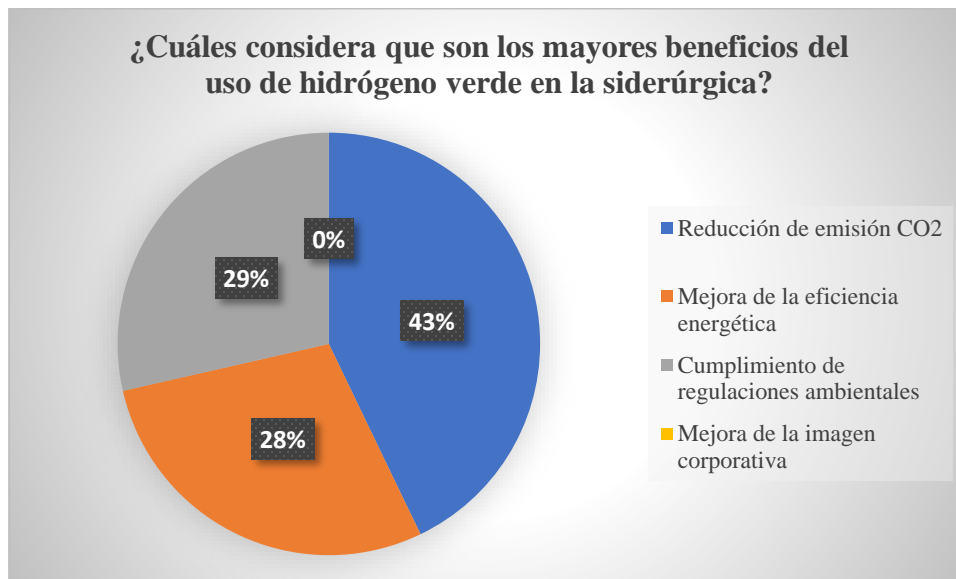


Ilustración 18. Resultado de pregunta 2 del sector de la siderúrgica.

3. ¿Su empresa ha evaluado económicamente la viabilidad de implementar el hidrógeno verde?
- Si
 - No
 - No lo sé

¿Su empresa ha evaluado económicamente la viabilidad de implementar el hidrógeno verde?

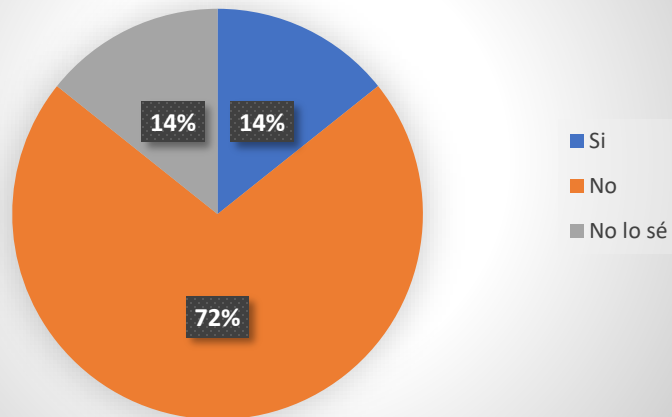


Ilustración 19. Resultado de pregunta 3 del sector de la siderúrgica.

4. ¿Cree que el gobierno debería ofrecer incentivos para la adopción de hidrógeno verde?

- Si
- No

¿Cree que el gobierno debería ofrecer incentivos para la adopción de hidrógeno verde?

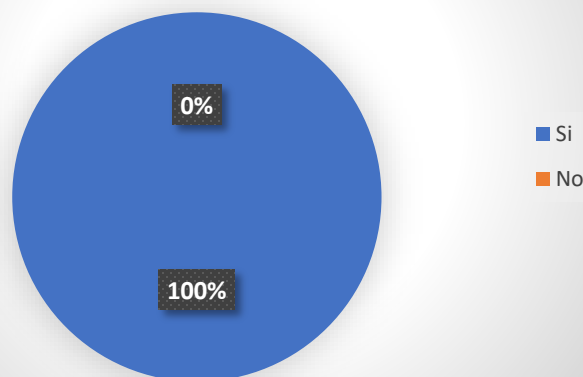


Ilustración 20. Resultado de pregunta 4 del sector de la siderúrgica.

5. ¿Qué impacto ambiental cree que tendría la implementación del hidrógeno verde en el sector de la siderúrgica?

- Muy positivo
- Positivo
- Neutral
- Negativo
- Muy negativo

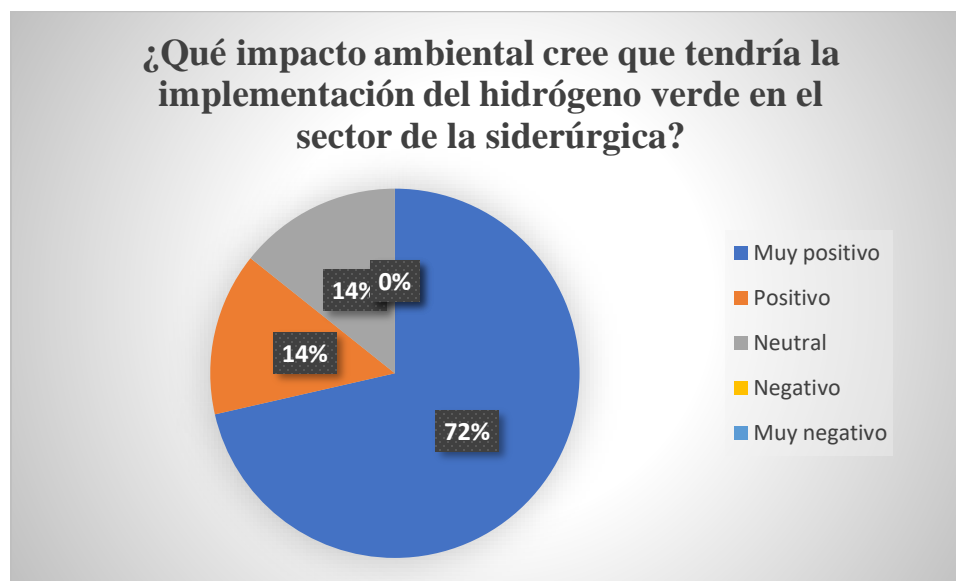


Ilustración 21. Resultado de pregunta 5 del sector de la siderúrgica.

6. ¿Qué impacto social cree que tendría la implementación del hidrógeno verde en su comunidad local?

- Positivo
- Neutral
- Negativo

¿Qué impacto social cree que tendría la implementación del hidrógeno verde en su comunidad local?

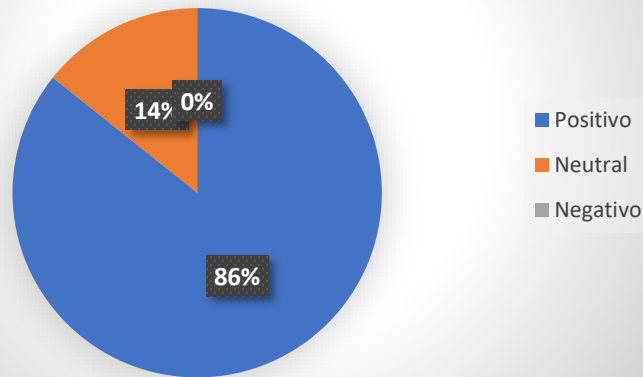


Ilustración 22. Resultado de pregunta 6 del sector de la siderúrgica.

7. ¿Qué tan probable es que su empresa implemente el hidrógeno verde en los próximos 5 años?
- Muy probable
 - Probable
 - Neutral
 - Poco probable
 - Nada probable

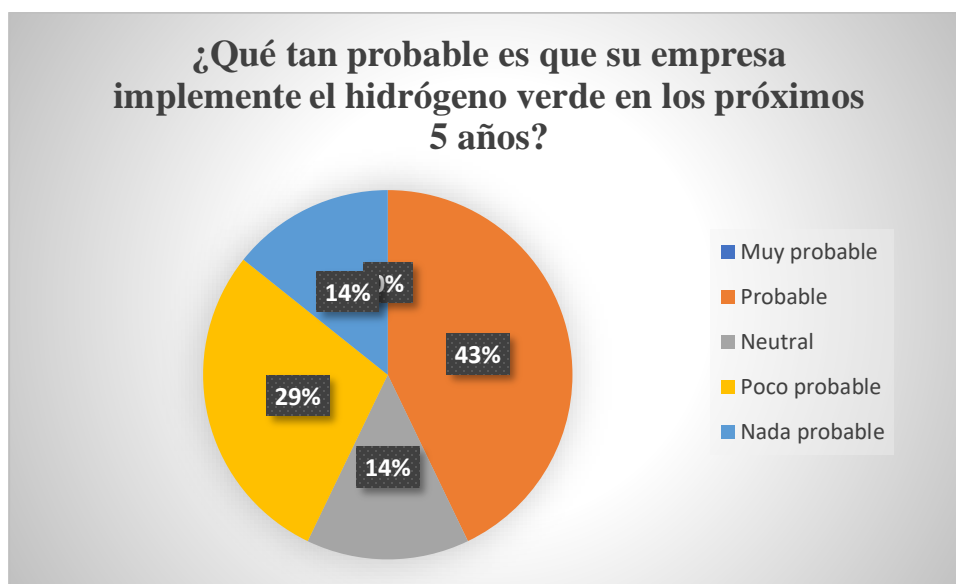


Ilustración 23. Resultado de pregunta 7 del sector de la siderúrgica.

Análisis de resultado.

- La implementación del hidrógeno verde en el sector siderúrgico ofrece beneficios sustanciales en términos de sostenibilidad ambiental, eficiencia económica, desarrollo social y cumplimiento regulatorio. Aunque los costos iniciales pueden ser elevados y existen desafíos técnicos, los beneficios a largo plazo justifican la inversión y el esfuerzo, posicionando a las empresas como líderes en un futuro cada vez más orientado hacia la sostenibilidad y la economía baja en carbono.

9. Conclusiones

El sector eléctrico colombiano se enfrenta a varios desafíos técnicos para integrar el hidrógeno verde en su infraestructura actual. Entre estos desafíos se encuentran la necesidad de adaptar las plantas de generación eléctrica existentes para utilizar el hidrógeno como combustible, lo cual puede requerir modificaciones en los sistemas de combustión y en el equipo de generación. Además, se necesita desarrollar y expandir la infraestructura de almacenamiento y transporte de hidrógeno para garantizar un suministro confiable y eficiente.

La producción de hidrogeno verde en el País que se utiliza en la industria del oil and gas es por parte de la empresa estatal Ecopetrol, en la empresa privada se observa muy poco conocimiento sobre el tema debido a falta de conocimiento y a los pocos proyectos que se están realizado. Se evidencia la falta del Estado en promover la implementación del hidrogeno verde en la empresa privada del sector oil and gas dentro del contexto de descarbonización de nuestra economía

Los resultados de las encuestas realizadas a expertos en los sectores eléctrico, químico, petrolero y siderúrgico revelan una percepción generalmente positiva hacia la implementación del hidrógeno verde en Colombia. Se identificaron oportunidades significativas para la diversificación de la matriz energética, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el impulso a la innovación tecnológica. Sin embargo, también se destacaron desafíos importantes, como la necesidad de infraestructura adecuada, el costo inicial de la transición y la coordinación entre los diferentes actores del sector. Estos hallazgos subrayan la importancia de desarrollar políticas integrales y colaborativas que fomenten el desarrollo sostenible y la adopción efectiva del hidrógeno verde en Colombia.

Acercas de los resultados obtenidos algo que genera duda es la eficiencia de los productos obtenidos a partir del hidrogeno verde y si son igual de eficientes a lo convencionales, también los altos costos al adquirir los productos

10. Referencias

García, P. I. (junio de 2023). *HIDROGENO VERDE ELECTROLITICO EN LA OBTENCION DE AMONIACO RENOVABLE. MADRID: INDUSTRIALES*. Madrid: Universidad politécnica.

Pérez, J. (2023). El hidrógeno verde: Una alternativa sostenible para la industria química. Madrid: Eco-Libros.

Smith, A., Jones, B., & Brown, C. (2021). Potencial del hidrógeno verde para la producción de productos químicos. *Revista de Química Verde*, 12(3), 456-467

Hidrógeno verde: la energía del futuro clave en la descarbonización

ACCIONA: <https://www.accion.com/es/hidrogeno-verde/> [revisado 21 de marzo del 2024]

Diaz cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*, 227-240.

Jhon Alex Muñoz Fernández, W. A. (2022). Análisis del potencial del uso de hidrogeno verde para reducción de emisiones de carbono en Colombia. *El reventón energético*, 57-72.

- NACIONES UNIDAS. (2021). ACCION POR EL CLIMA COP26: JUNTOS POR EL PLANTEA. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/cop26>
- Orlando Catiblanco, D. J. (2020). Producción de Hidrogeno y su perspectiva en Colombia: una revisión. *Gestión y Ambiente*, 299-311.
- Celis, J. A. (2023). Modelo de negocios, viabilidad financiera y análisis de riesgo en proyectos de Hidrogeno verde en el marco de la transición energética en Colombia. Bogotá.
- Ministerio de minas y Energía de Colombia. (2021). Hoja de ruta del hidrogeno en Colombia.
- Muñoz Fernández, J. A., Beleño Mendoza, W. A., & Diaz Consuegra, H. (2022). Análisis del potencial del uso del hidrogeno verde para reducir las emisiones de carbono en Colombia. *Scopus*, 57-72.
- Wyczykier, G. (2023). Las controversias sobre el hidrogeno verde: interrogantes para la descarbonización vías de fosilización. *Pilquen*, 120-142.
- Muñoz-Fernández, J. A., Beleño-Mendoza, W. A., & Díaz-Consuegra, H (2022). Análisis del potencial del uso de hidrógeno verde para reducción de emisiones de carbono en Colombia. *Fuentes, El reventón energético*, 20(1), 57–72. <https://doi.org/10.18273/revfue.v20n1-2022006>
- NELDOR. (2023). Hidrógeno verde, clave para el carbono neutralidad: Es un energético que no causa emisiones de gases de efecto invernadero y puede sustituir a los combustibles fósiles en industrias. *Portafolio*, <https://login.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/login?url=https://www-proquest-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/trade-journals/hidrógeno-verde-clave-para-la-carbono-neutralidad/docview/2896729607/se-2>
- Benito, J. L. (2022, Marzo 1). *H2 Hidrogeno Verde*. From <https://hidrogeno-verde.es/hidrogeno-verde-sector-siderurgico/>
- CROWCON. (2021, Febrero 5). *Cómo el hidrógeno ayuda a las industrias del gas y del acero a ser ecológicas*. From <https://www.crowcon.com/es/blog/how-hydrogen-is-helping-the-gas-and-steel-industries-to-go-green/>



Seminario de Investigación Especialización

