|  |  |
| --- | --- |
| **Título del Proyecto de Grado:** | Análisis sobre la viabilidad financiera y económica del hidrógeno verde para el sector de transporte terrestre de carga pesada en Colombia |
| **Nombre del(los) estudiante(s):** | Betina Cortés Rojas, Nelson Fabián López, Lida Jimena Rivera y Karol Valeria Gutiérrez Borbón |
| **Nombre del asesor:** | Cesar Luis Barco García – Facultad de Ingeniería Universidad de Los Andes |
| **Programa:** | Maestría en Economía Aplicada |
| **Nombre del cliente:** | Gobierno colombiano (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Transporte) |
| **Acuerdo con el cliente:** | Ficticio |

1. **Motivación**

Uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la sociedad actualmente es el cambio climático. Para mitigar sus efectos, es necesario transitar hacia un sistema energético más sostenible, seguro y eficiente que reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero y tenga en cuenta las necesidades presentes y futuras. Aunque cada vez más países establecen objetivos climáticos ambiciosos, la transición energética aún enfrenta muchos obstáculos para convertirse en una realidad. Sin embargo, el hidrógeno verde se perfila como una solución prometedora para lograr alcanzar una economía baja en emisiones, abordando muchas de las barreras existentes para lograr la descarbonización. En este contexto, Colombia se destaca como uno de los países con mayor potencial de producción en el mundo debido a su disponibilidad de energías renovables y recursos naturales. Así, el hidrógeno verde representa una oportunidad para descarbonizar la economía local (Ministerio de Minas & Energía, 2022).

La transformación energética requiere un cambio importante en la generación de electricidad de los combustibles fósiles a fuentes renovables como la solar y la eólica, una mayor eficiencia energética y la electrificación generalizada de los usos de la energía, desde los automóviles hasta la calefacción y refrigeración de los edificios. Aun así, no todos los sectores o industrias pueden cambiar fácilmente de los combustibles fósiles a la electricidad. Los sectores difíciles de electrificar (y, por lo tanto, difíciles de reducir) incluyen el acero, el cemento, los productos químicos, el transporte por carretera de larga distancia, el transporte marítimo y la aviación (IRENA, 2020b).

Por lo tanto, la motivación principal detrás de este trabajo de investigación es contribuir desde la academia a un futuro más sostenible al estudiar la viabilidad del hidrógeno verde en Colombia. A pesar de la existencia de grandes expectativas sobre este vector energético bajo en emisiones, todavía hay un largo camino que requiere la integración de esfuerzos de múltiples partes interesadas en materia de innovación tecnológica, regulación, cooperación internacional, financiación, entre otros, para lograr su escalabilidad.

1. **Primeros avances conversación con la institución- cliente- (real o no; puede ser público, privado, ONG)**

Dado que se trata de un cliente ficticio, no se considera la interlocución e interacción con las entidades mencionadas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Transporte), toda vez que, pueden ser eventuales clientes, pero para el objeto de esta investigación serán clientes ficticios.

1. **Pregunta o problema inicial que la consultaría debe contestar o resolver**

**Problema**

El transporte terrestre de carga pesada en Colombia reviste gran importancia en la dinámica de la economía del país, dado que permite la conexión, movilización y colocación de productos al alcance del consumidor en el territorio nacional o en el extranjero (Ministerio de Transporte, 2001). Para el caso de Colombia, la mayoría del transporte de alimentos se hace a través de camiones, pues el 97% de los productos en Colombia son transportados por carretera (Colfecar, 2022). Ello conlleva al constante aumento del número de vehículos particulares de carga pesada como camiones que son los principales impulsores del uso de combustibles fósiles (Greepeace, 2022). Sin embargo, este tipo de transporte genera altas cargas contaminantes para la atmósfera que no están siendo reguladas.

En Colombia alrededor del 78% de las emisiones causantes del cambio climático y contaminación del aire provienen de los más de 15 millones de vehículos que transitan diariamente entre camiones, buses, carros y motos (Greepeace, 2022). Particularmente, en Bogotá, este sector concentra el 60% de las emisiones y además está entre las 11 ciudades intermedias que albergan el 60% de los vehículos del país y el 50% de la población (Greepeace, 2022).

Lo anterior, genera una problemática socioambiental de política pública que conlleva al Gobierno nacional a evaluar diferentes alternativas para abordar de forma eficiente y sostenible el transporte de carga pesada, con el propósito de disminuir las principales fuentes de contaminación del aire (que tendrá repercusiones en la salud, ecosistemas, y también a nivel global por las emisiones de gases de efecto invernadero) provenientes mayormente del sector de transporte.

**Pregunta de investigación**

¿La producción del hidrógeno verde es viable en términos financieros y económicos para el sector de transporte terrestre de carga pesada en Colombia?

1. **Objetivos**

**Objetivo general**

Evaluar la viabilidad financiera y económica del hidrógeno verde para el sector de transporte terrestre de carga pesada en Colombia.

**Objetivos específicos**

* Realizar un diagnóstico del estado actual del hidrógeno verde en Colombia y sus potencialidades para contribuir a la descarbonización del sector transporte de carga pesada.
* Realizar un Análisis Costo – Beneficio de la producción del hidrógeno verde para el sector de transporte terrestre de carga pesada en Colombia.
* Generar recomendaciones de política pública a partir del análisis y evidencia empírica que permitan la toma de decisiones por parte de las entidades interesadas.

1. **Productos consultoría-preliminar**

Se presentan los entregables que se desarrollan por cada uno de los objetivos.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fases** | **Objetivos específicos** | **Productos / Entregables** |
| 1. | Realizar un diagnóstico del estado actual del hidrógeno verde en Colombia y sus potencialidades para contribuir a la descarbonización del sector transporte de carga pesada. | Documento que continente la conceptualización del hidrógeno verde y su estado actual en Colombia |
| 2. | Realizar un Análisis Costo – Beneficio de la producción del hidrógeno verde para el sector de transporte terrestre de carga pesada en Colombia. | Documento que contiene la evaluación financiera, económica y social de la producción de hidrógeno verde. |
| 4. | Generar recomendaciones de política pública a partir del análisis y evidencia empírica que permitan la toma de decisiones por parte de las entidades interesadas. | Documento que contiene las conclusiones y recomendaciones de política pública. |

1. **Primera revisión del estado del arte-literatura**

|  |  |
| --- | --- |
| **Referencia (APA)** | **Relación con el tema de investigación** |
| Ministerio de Minas y Energía. (2021). Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia. | Este documento incluye los principales factores de competitividad para la producción de hidrógeno verde en Colombia, el costo de producción nivelado del hidrógeno en el país (LCOH), la estimación de la demanda del vector energético en los diferentes sectores hasta 2050 y los principales compromisos del gobierno para fomentar la implementación del hidrógeno como fuente energética. El informe destaca como una de sus principales conclusiones que se prevé que el transporte pesado por carretera sea una de las aplicaciones que alcance la paridad de costos con su alternativa fósil antes de 2030 y, por lo tanto, se considera un uso final prioritario a corto plazo. |
| IEA. (2022). Global Hydrogen Review 2022. | El documento proporciona un análisis detallado del mercado global del hidrógeno y su evolución en el último año. El informe cubre diversos aspectos, incluyendo el estado actual de la producción, la demanda y el uso del hidrógeno, así como las políticas gubernamentales y los avances tecnológicos que están impulsando el desarrollo del mercado. Sobre el uso del hidrógeno verde en el transporte se menciona que, mientras que la electrificación es la principal vía para reducir la demanda de petróleo y las emisiones de los automóviles, el uso del hidrógeno puede ser una mejor opción para los vehículos de carga pesada. |
| IRENA (2018), Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. | Este documento plantea un contexto general del hidrógeno verde en la transición energética, sus avances y desarrollos tecnológicos.  Sin embargo, su valor agregado recae en su información sobre las aplicaciones del hidrógeno en los diferentes usos finales, entre los que se analiza el transporte. El informe menciona que los vehículos eléctricos con celdas de combustible de hidrógeno (FCEV) son vehículos eléctricos con un rango de conducción y tiempo de recarga similar al de los vehículos convencionales. Por lo tanto, los FCEV de hidrógeno amplían el alcance de la movilidad eléctrica a segmentos de alta demanda, como vehículos de carretera de largo alcance y alta utilización, como camiones, buses, trenes y montacargas, donde las baterías actuales enfrentan limitaciones. Bajo este contexto, el hidrógeno verde debe considerarse complementario a los vehículos eléctricos con baterías (BEV) bajo el contexto de la transición energética, pues, si bien pueden competir en algunos segmentos del mercado, para cada segmento existe una ventaja competitiva para FCEV o BEV. |
| H2Energy & Trafigura. (2022). Decarbonising Heavy-Duty Trucking and Accelerating the European Hydrogen Economy. | El artículo describe cómo la industria de camiones pesados puede reducir sus emisiones de carbono a través de la adopción del hidrógeno verde. El estudio proporciona un análisis de la tecnología actual de camiones de hidrógeno, sus costos y beneficios, y cómo los gobiernos y la industria pueden trabajar juntos para acelerar la transición hacia un sistema de transporte más limpio y sostenible. Además, se abordan las oportunidades de inversión y financiación en el mercado de hidrógeno verde en el transporte. El documento analiza el caso de Europa y hace recomendaciones de política pública que pueden ser útiles para tener en cuenta en el contexto colombiano. |
| Andi (2013). Manual de transporte limpio. | Este informe tiene experiencias nacionales e internacionales valiosas para analizar el problema desde una perspectiva de transporte limpio. El Manual está dirigido a las empresas de transporte de carga por carretera con el objetivo de ayudarles en el cálculo de su Huella de Carbono y en la elaboración de planes y proyectos de reducción de sus emisiones. Lo cual se relaciona directamente con nuestro trabajo, pues esperamos apoyar la transición energética y de combustibles. |
| Union of Concerned Scientists. (2017). Carros, camiones, buses y la contaminación del aire. | Este articulo describe la problemática de la contaminación por vehículos pesados en Estados Unidos. Se relaciona con nuestro trabajo, pues ambos comprenden que reducir la contaminación de los vehículos pesados es necesario para mejorar la calidad del aire y disminuir las emisiones asociadas al calentamiento global. Lo más interesante es ver los ejemplos en ciudades como New York, donde camiones y buses eléctricos usan hidrógeno como combustible. |
| Universidad de los Andes. (2021). Giro Zero: transporte de carga sin contaminantes | El proyecto Giro Zero busca que el transporte de carga terrestre tenga cero emisiones de Gases de Efecto Invernadero, algo totalmente alineado con nuestro objetivo principal. Consideramos este proyecto como una fuente valiosa de información, especialmente por su experiencia (hoy en día el proyecto está en marcha) y el equipo estructurador del mismo. |

1. **Supuestos y primeros elementos de metodología (tentativo, con suerte definitivo)**

**Supuestos**

| **Sin proyecto** | **Con proyecto (Hidrógeno Verde)** |
| --- | --- |
| Todos los vehículos de carga pesada emiten altos niveles de CO2 en la misma proporción. | Todos los vehículos de carga pesada reducen drásticamente los niveles de emisiones de CO2 en la misma proporción. |
| La población es afectada en la misma medida sin importar la distancia a las vías, y, además, son afectados solo por los efectos de las emisiones de CO2, no hay otro tipo de contaminación. | Los niveles de contaminación se reducen de manera significativa y no afectan a la población. |
| No se han implementado proyectos de este tipo para reducir la contaminación de CO2. | Este proyecto es la única intervención en Colombia por parte de las autoridades gubernamentales. |
| Las utilidades de los transportadores de carga pesada no son lo suficientemente altas como para utilizar el hidrógeno verde como combustible. | Los costos y gastos del hidrógeno verde son asumidos por las entidades gubernamentales y los transportadores de carga pesada. |
| El tiempo de circulación de los vehículos de transporte de carga pesada en el mercado no determina el grado de contaminación. | El tiempo de circulación de los vehículos de transporte de carga pesada en el mercado no determina el grado de contaminación. |
| Las utilidades que los transportadores obtienen les permiten asumir un costo, con el fin de que los niveles de contaminación se reduzcan. | Todos los transportadores tienen la misma disponibilidad a pagar y están dispuestos a asumir un costo adicional por el uso del hidrógeno verde. |
| No se cuenta con la información suficiente, que demuestre la efectividad de la utilización del hidrógeno verde para reducir las emisiones de CO2 en los vehículos de carga pesada. | Existe evidencia estadística para afirmar que la utilización del hidrógeno verde en los vehículos de carga pesada reduce en gran medida las emisiones de CO2. |
| Estructura de mercado no monopolística. | Estructura de mercado no monopolística. |
| Conocimiento de la función de daño ambiental. | Sensibilización sobre la contaminación del medio ambiente, producto de las emisiones de CO2. |
| No existe una medición de la calidad de las emisiones de CO2 producidas por los vehículos de transporte de carga pesada. | La calidad de las emisiones de CO2 producidas por los vehículos de transporte de carga pesada se mide en cada vehículo. |

**Metodología**

Se usarán herramientas de Análisis Costo – Beneficio para determinar la conveniencia del proyecto a partir de los costos y beneficios. Esta relación expresada en términos monetarios, permitirá realizar la respectiva valoración y evaluación. Adicionalmente, tendrá en cuenta los indicadores de rentabilidad (VPN y TIR) y los valores que componen el flujo de fondos bajo posibles riesgos e incertidumbre. Las metodologías de análisis a usar serán las siguientes:1). Evaluación financiera del proyecto; y 2). Evaluación económica y social por dos métodos: Disponibilidad a pagar y liberación de recursos, y cambios en el bienestar de agentes.

1. **Evaluación financiera:** Con el fin de evaluar el cambio en el bienestar privado y social, se espera que el Valor Presente Neto (VPN) sea positivo (que incluya la evaluación frente a la tasa de descuento -tomando como referencia la tasa social de descuento establecida por el DNP- y frente al WACC). Por otro lado, se espera que la Tasa Interna de Retorno (TIR) sea mayor a la TIO (12%) y una Razón Beneficio Costo (RBC) mayor a 1.
2. **Evaluación económica y social:** Se espera que el Beneficio Económico Social neto sea mayor a cero. Asimismo, que el Beneficio Económico Social sea mayor al Beneficio Privado. Y para el caso de la producción, la Razón Precio Cuenta sea mayor a 1. Se espera que el VPNE sea positivo y la TIRE sea mayor a la TSD (9%) en un horizonte de análisis de 17 años (2040).
3. **Análisis de sensibilidad:** Se busca determinar las variaciones en los indicadores de rentabilidad ante cambios en las variables objeto de análisis del proyecto. Para ello, se propone un análisis de riesgo e incertidumbre que permita similar los posibles escenarios del proyecto. Así las cosas, se espera que la viabilidad del proyecto esté altamente impactada por las emisiones de CO2, y los costos e inversión.

# Referencias

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Gestión Ambiental y Desarrollo Rural en América Latina y del Caribe (GADeR-ALC) & H2LAC., (2022).   
Estado del hidrógeno verde en América Latina y el Caribe. Recuperado de: <https://h2lac.org/publicaciones/infografia-sobre-el-estado-del-hidrogeno-verde-en-america-latina-y-el-caribe/>.

DNP., (2018). Política para el mejoramiento de la calidad del aire. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaci%C3%B3n%20Foro%20Calidad%20Aire.pdf>

Greenpeace., (2022). Semana de Movilidad Sustentable. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/issues/climayenergia/el-transporte-en-colombia-es-responsable-del-78-de-las-emisiones-causantes-del-cambio-climatico-y-de-la-contaminacion-de-aire/#:~:text=Semana%20de%20la%20Movilidad%20Sustentable&text=El%20transporte%20en%20Colombia%20es%20responsable%20del%2078%20por%20ciento,19%20de%20septiembre%20de%202022>

IEA., (2022). Global Hydrogen Review. Recuperado el 1 de febrero de 2023 de <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>.

Ministerio de Minas y Energía., (2022). Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia. Recuperado el 1 de febrero de 2023 de <https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf>.

Ministerio de Transporte., (2001). Operación del transporte de carga por carretera en Colombia. Dirección general de transporte y transito automotor - Subdirección operativa de transporte automotor - Grupo de estudios de carga.

Portafolio. (2022). ¿A cuánto llegaría el precio de la gasolina sin los subsidios? Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/precio-de-la-gasolina-a-cuanto-llegaria-sin-los-subsidios-570960>