



El futuro
es de todos

Minenergía



HOJA DE RUTA DEL HIDRÓGENO EN COLOMBIA



MONTOYA & ASOCIADOS
Estudio Jurídico

Índice

PRÓLOGO	3
1. EL HIDRÓGENO Y LA OPORTUNIDAD PARA COLOMBIA	4
1.1. El hidrógeno en el marco de la descarbonización global	4
1.2. Fortalezas de Colombia en materia de hidrógeno	7
2. COMPETITIVIDAD DEL HIDRÓGENO NACIONAL	11
2.1. Producción de hidrógeno azul	11
2.2. Producción de hidrógeno verde	12
2.3. Evolución del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia	14
3. DEMANDA NACIONAL Y EXPORTACIÓN DE HIDRÓGENO Y DERIVADOS	17
3.1. Demanda esperada de hidrógeno y derivados de bajas emisiones	17
3.2. Abatimiento de emisiones asociadas al uso de hidrógeno	20
3.3. Potencial de exportación	21
4. HORIZONTE 2030 Y 2050	23
4.1. Pilares de la Hoja de Ruta	23
4.2. Metas a 2030	25
4.3. Ambición a 2050	26
5. NUESTRO COMPROMISO ENMARCADO EN 4 EJES	27
5.1. Mapa de actuación	28
5.2. Habilitadores regulatorios	29
5.3. Instrumentos de desarrollo de mercado	34
5.4. Apoyo al despliegue de infraestructura	39
5.5. Impulso al desarrollo tecnológico	43
ANEXO I. PLAN DE SOCIALIZACIÓN	47
ANEXO II. GOBERNANZA	48

Lista de figuras

Figura 1: Demanda global de hidrógeno.....	6
Figura 2: LCOH gris y azul a partir de gas natural y carbón	11
Figura 3: Separación de Colombia por zonas de recurso renovable	13
Figura 4: LCOH verde con factor de capacidad renovable moda en las distintas regiones	13
Figura 5: LCOH a partir de solar y eólica en zonas de potencial renovable moda y máximo	14
Figura 6: Comparativa del LCOH según las rutas de producción	15
Figura 7: Competitividad de hidrógeno de bajas emisiones según LCOH moda en Colombia.....	16
Figura 8: Aplicaciones actuales y futuras del hidrógeno.....	17
Figura 9: Evolución prevista de la nueva demanda de hidrógeno de baja huella en Colombia.....	18
Figura 10: Nueva demanda de hidrógeno y derivados de bajas emisiones en Colombia.....	19
Figura 11: Desarrollo de las aplicaciones del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia.....	19
Figura 12: Reducción de emisiones por consumo de H ₂ en cada sector	21
Figura 13: Principales focos de demanda de hidrógeno a nivel global	22
Figura 14: Pilares de la Hoja de Ruta	23
Figura 15: Metas de país en materia de hidrógeno a 2030	25
Figura 16: Estrategia nacional a 2050 en materia de hidrógeno de bajas emisiones	26
Figura 17: Ejes de actuación	27
Figura 18: 4 ejes de actuación y 27 líneas de trabajo para el desarrollo del hidrógeno	28
Figura 19: Plan de socialización de la hoja de ruta.....	47
Figura 20: Modelo de gobierno de la Hoja de Ruta del Hidrógeno.....	48

Prólogo

La Hoja de ruta del Hidrógeno tiene por objeto contribuir al desarrollo e implantación del hidrógeno en Colombia reforzando así el compromiso del Gobierno con la reducción de emisiones de acuerdo con los objetivos del Acuerdo de París del 2015. El Gobierno Colombiano cuenta con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) a través de su División de Cambio Climático y Sostenibilidad y su División de Energía para el desarrollo de esta Hoja de Ruta.

Colombia dispone de las condiciones para aprovechar la oportunidad del hidrógeno y convertirse en un líder regional de la transición energética gracias a su privilegiada ubicación geográfica y un marco regulatorio y político estable, capaz de atraer inversiones a largo plazo. La hoja de ruta toma como punto de partida los análisis de capacidad de producción, demanda, potencial exportador y regulación para proponer un plan de despliegue del hidrógeno en Colombia.

El hidrógeno está suscitando un gran interés como un instrumento clave dentro del proceso de transición energética. El hidrógeno es el elemento más sencillo y ligero de la tabla periódica y su versatilidad como materia prima industrial, combustible y vector energético para el almacenamiento y transporte de energía, permite un gran número de aplicaciones, algunas de las cuales no se han desarrollado completamente aún. Asimismo, el hidrógeno no tiene emisiones de GEI directas durante su uso final ni prácticamente ninguna otra emisión contaminante. Dada su reactividad, el hidrógeno no suele presentarse aisladamente en la naturaleza teniendo que extraerse a partir de agua, hidrocarburos o biomasa requiriendo un consumo de energía que puede dar lugar a emisiones de CO₂. Cuando se utilizan energías renovables o se capturan las emisiones de CO₂ en su producción, el hidrógeno se convierte en una alternativa para la descarbonización de múltiples usos siendo tanto más interesante cuanto más complejo sea la electrificación de estos.

El hidrógeno de bajas emisiones contribuirá a acelerar la consecución de los objetivos de la estrategia de descarbonización de Colombia. Como vector energético el hidrógeno acelerará despliegue de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable como la energía solar y eólica mediante el almacenamiento estacional de energía y su transporte a los centros de demanda.

En el sector industrial, el hidrógeno reemplazará progresivamente el uso de combustibles y materias primas de origen fósil en industrias para las que hoy existen pocas alternativas de bajas emisiones. Asimismo, el hidrógeno proporciona una alternativa para aquellos modos de transporte donde la electrificación no es viable. El hidrógeno permitirá la reducción de la dependencia de energéticos importados y podrá facilitar en el largo plazo un desarrollo industrial basado la creación de nuevas cadenas de valor de productos de bajas emisiones gracias al uso de hidrógeno.

El hidrógeno de bajas emisiones debe hacer frente inicialmente a una brecha de costo respecto al hidrógeno producido a partir de fuentes fósiles. Colombia dispone de los recursos renovables para la producción de hidrógeno verde con costos competitivos, una matriz energética descarbonizada además de recursos de gas y carbón que, combinados con captura, almacenamiento y utilización de CO₂, diversifica las opciones de suministro de hidrógeno de bajas emisiones.

El desarrollo de la producción de hidrógeno y la adaptación de los sectores económicos para su uso requerirá grandes inversiones para el desarrollo de tecnología y la creación de infraestructuras. Las principales economías han creado grandes planes de inversión e incentivos para desarrollar cadenas de valor completas en torno al hidrógeno de bajas emisiones. Estos planes se combinan con una serie de desarrollos regulatorios, una política de I+D alineada con una política industrial y la creación de mercados que incentiven el uso de hidrógeno. Colombia podrá acelerar la adquisición de capacidades nacionales y posicionarse a nivel global en este mercado emergente a través de acuerdos de cooperación para el acceso a tecnología, financiación de proyectos para la exportación y autoabastecimiento.

1. El hidrógeno y la oportunidad para Colombia

1.1. El hidrógeno en el marco de la descarbonización global

La lucha contra el calentamiento global ocasionado por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) se ha convertido en una prioridad internacional. Los Acuerdos de París de 2015 recogen la necesidad de mantener el calentamiento global muy por debajo de los 2°C. En este sentido la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia compromete una reducción de emisiones del 51% en 2030 respecto al escenario de referencia con el objetivo de alcanzar la carbono-neutralidad hacia mediados de siglo.

En este contexto, el hidrógeno es una herramienta para la consecución de estos objetivos cuyo papel será clave en el largo plazo para descarbonizar ciertos sectores de difícil electrificación donde no hay otros energéticos de bajas emisiones que resulten viables técnica y económicamente. Esta situación es similar a la de otras economías globales por lo que el hidrógeno de bajas emisiones dará lugar a un mercado global donde Colombia jugará un papel destacado.

El auge del hidrógeno a nivel mundial se debe a su gran versatilidad. El hidrógeno es el elemento más simple de la tabla periódica y enormemente reactivo de ahí que no se encuentre normalmente libre en la naturaleza sino combinado en otras sustancias. Esto hace que el hidrógeno no sea una fuente de energía, sino un vector energético dado que debe usarse energía para su producción.

Actualmente existen diversas formas de producir hidrógeno caracterizándose por los insumos utilizados y las tecnologías empleadas. El hidrógeno puede clasificarse según la sostenibilidad del vector energético que depende en gran medida de la tecnología de producción y la fuente de energía. De este modo la clasificación se hace en función de las emisiones que lleva asociadas. La Comisión Europea ha adoptado esta clasificación en su estrategia para el hidrógeno¹:

- **Hidrógeno a partir de electricidad**, producido mediante electrolisis, independientemente de la fuente de la electricidad. Hay que recordar que la sostenibilidad de este hidrógeno depende del parque de generación eléctrica. Si en Europa el factor de emisión promedio sería de 14 kgCO₂eq/kgH₂, a nivel mundial ese valor subiría hasta los 26 kgCO₂eq/kgH₂¹, mientras que en Australia podría alcanzar los 54 kgCO₂eq/kgH₂². En el caso de Colombia, se ha estimado un menor factor de emisión de 8,2 kgCO₂eq/kgH₂ de acuerdo a los datos de XM³. Hay que subrayar que los valores normalmente obtenidos por esta vía suelen ser superiores al factor de emisión del reformado con vapor del metano (SMR), que se sitúa alrededor de los 9,5 kgCO₂eq/kgH₂⁴. No obstante, Colombia, por su mix energético con alta presencia hidráulica consigue un factor de emisión algo inferior.
- **Hidrógeno renovable** (o hidrógeno limpio), producido mediante electrolisis, a través de electricidad de fuentes renovables. Dentro de esta categoría también se incluye el biohidrógeno obtenido a partir de la biomasa. Este tipo de hidrógeno se considera que tiene emisiones prácticamente nulas.
- **Hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles**, producido mediante procesos que usan un combustible fósil como materia prima, como por ejemplo el reformado del gas natural o la gasificación del carbón, con factores de emisión de 9,5 kgCO₂eq/kgH₂ para el gas natural, y de 20 kgCO₂eq/kgH₂ para el carbón.

¹ Comisión Europea (2020): A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe

² Barnes, A., Yafimava, K., (2020): EU Hydrogen Vision

³ XM(2019): Factor de emisión 164,38 gCO₂/kWh; IEA (2019), The Future of Hydrogen: eficiencia 50 kWh/kg

⁴ IRENA (2019): Hydrogen: A Renewable Energy Perspective.

- **Hidrógeno a partir de combustibles fósiles con CCS**, subcategoría de la categoría anterior, que utiliza la captura y almacenamiento de carbono (CCS), con factores de emisión que pueden oscilar entre 1 y 2 kgCO₂eq/kgH₂⁵.
- **Hidrógeno de bajas emisiones**, puede incluir tanto el hidrógeno a partir de combustibles fósiles con CCS como el hidrógeno a partir de electricidad, siempre que sus factores de emisión sean sustancialmente inferiores a los de las formas de producción actuales.

En los últimos años, se ha venido utilizando y desarrollando un código de colores que simplifica la clasificación del hidrógeno según la fuente de energía que se usa para producirlo y, a veces, también según el proceso de producción. Los tipos de hidrógeno más mencionados son:

- **Hidrógeno verde**, producido mediante electrolisis a partir de electricidad proveniente de fuentes de energía renovables que se corresponde con el hidrógeno renovable. De acuerdo con el artículo 5 del proyecto de Ley de Transición energética se define como hidrógeno verde al hidrógeno producido a partir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, tales como la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, el calor geotérmico, la solar, los mareomotriz, entre otros; y se considera FNCR.
- **Hidrógeno azul** se denomina hidrógeno azul al producido a partir de fuentes fósiles que incorporan captura y almacenamiento de emisiones de CO₂. El proyecto de Ley de Transición Energética lo define como hidrógeno azul al que se produce a partir de combustibles fósiles, especialmente por la descomposición del metano (CH₄) y que cuenta con un sistema de captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS), como parte de su proceso de producción. El hidrógeno azul se considera FNCE.
- **Hidrógeno gris**, producido a partir de combustibles fósiles, principalmente gas natural y carbón, sin subsecuente captura y almacenamiento de carbono.

Esta última clasificación será la utilizada a lo largo del presente documento para diferenciar entre las distintas rutas de producción de hidrógeno en Colombia.

El papel esperado del hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados en la descarbonización de múltiples sectores ha despertado el interés de las economías más importantes y ha propiciado el desarrollo de proyectos, iniciativas y estrategias públicas de impulso al despliegue del hidrógeno entre las que se enmarca la presente Hoja de Ruta. Los recursos naturales de cada país y los objetivos de descarbonización marcados definirán el tipo de hidrógeno de bajas emisiones producido.

Actualmente 30 países han desarrollado sus propias hojas de ruta del hidrógeno o planes energéticos en los cuales el hidrógeno juega un papel clave en sus estrategias de reducción de emisiones. La estrategia de la Comisión Europea resulta especialmente ambiciosa y considera movilizar entre 180 y 470 billones de euros de financiación público-privada abarcando desde la investigación y desarrollo de tecnologías hasta incentivos para la instalación de proyectos de generación de hidrógeno verde. Las rutas de hidrógeno de bajas emisiones de origen fósil tendrán un presupuesto menor de entre 3 y 18 billones de euros. Adicionalmente los diferentes estados miembros también proporcionarán sus propios incentivos donde destacan Alemania con un programa de apoyo público de 9 billones de euros (2 billones de euros se destinarán a acuerdos internacionales) o Francia con 9 billones de euros. Otras grandes economías como Japón o Corea del Sur también destinarán varios billones de dólares para la financiación de proyectos relacionados con la economía del hidrógeno.

El interés en el desarrollo de proyectos de hidrógeno renovable en el ámbito privado también se ha acelerado de forma muy importante. A febrero de 2021 se habían anunciado 228 proyectos

⁵ CE, Comisión Europea, (2020). *A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe*.

relacionados con hidrógeno en toda su cadena de valor a nivel global de los cuales 17 correspondían a proyectos de producción con una escala superior al gigavatio (más de 1 GW de potencia renovable o 200.000 toneladas/año de producción de hidrógeno de bajas emisiones). Europa concentra el 55% de los proyectos seguida por Australia, Japón y Corea del Sur⁶. El renovado interés en el hidrógeno se explica principalmente por la necesidad de acelerar el proceso de descarbonización global, las rápidas reducciones en el costo de la energía renovable, la evolución de tecnologías clave en la cadena de valor del hidrógeno y el apoyo público a la transición energética que se ha visto incrementado como parte de la estrategia recuperación económica tras la pandemia del COVID-19.

Por tanto, a nivel global, se espera un crecimiento exponencial de la demanda actual de 75 Mt en 2019⁷, compuesta fundamentalmente por hidrógeno gris, a más de 800 Mt de hidrógeno de bajas emisiones en 2050, en los escenarios más optimistas⁸.

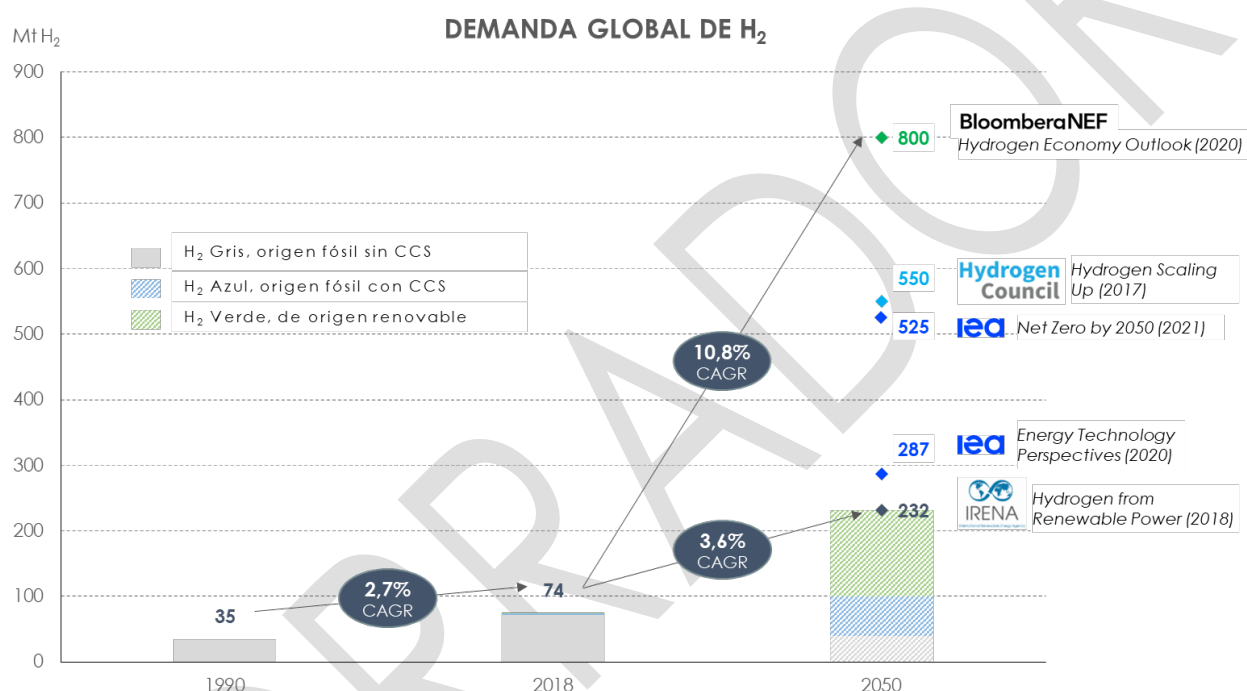


Figura 1: Demanda global de hidrógeno

La nueva demanda se deberá principalmente a los potenciales nuevos usos del hidrógeno en todos los sectores. El hidrógeno facilita una mejor integración de energías renovables no convencionales y habilita el almacenamiento estacional de energía necesario para asegurar la estabilidad en la generación eléctrica causada la variabilidad de fuentes renovables. En el sector del transporte, el hidrógeno surge como una alternativa para sustituir a los combustibles fósiles proporcionando ventajas relevantes en cuanto a autonomía y tiempos de repostaje comparado con los vehículos eléctricos de batería. De la misma manera, para reducir la huella de CO₂ de procesos industriales, el hidrógeno sustituirá a los combustibles fósiles en la provisión de calor industrial de alta temperatura y como materia prima en algunos procesos, como la refinación y la producción de acero. Por último, también en los edificios tanto del sector residencial como comercial, el hidrógeno puede sustituir a los combustibles fósiles que se utilizan para proveer calefacción y agua caliente. En todas estas

⁶ Fuente. Hydrogen Council (2021): Hydrogen Insights

⁷ Energy Technology Perspectives, IEA (2020).

⁸ Escenario NEO Climate Scenario en BloombergNEF (2020): Hydrogen Economy Outlook

aplicaciones, el hidrógeno será una alternativa medioambientalmente sostenible si se produce con una reducida huella de CO₂.

Además, el hidrógeno se puede transformar en otras sustancias que pueden tener aplicaciones directas en industria o movilidad o ser consideradas simplemente como portadores de energía alternativos. El análisis de la competitividad en producción de derivados del hidrógeno también es esencial para evaluar el potencial de un país en producción de hidrógeno de bajas emisiones debido a que el manejo y transporte del hidrógeno es complejo y precisa de nuevas inversiones de infraestructura. Sin embargo, el hidrógeno puede transformarse en productos líquidos fácilmente transportables tales como amoníaco, metanol y otros derivados como otros combustibles sintéticos o líquidos orgánicos portadores de hidrógeno.

El amoníaco representa el 27% del consumo de hidrógeno en la actualidad⁹, siendo sus aplicaciones más importantes la producción de fertilizantes y su uso en industria química. Se espera un crecimiento anual del 1,5% hasta 2030 derivado de la creciente demanda de fertilizantes por el aumento de la población, aunque se proyectan nuevos usos adicionales para el amoníaco de bajas emisiones como combustible marítimo o en generación eléctrica.

Por otro lado, la producción de metanol consume el 11% del hidrógeno a nivel mundial. El metanol se utiliza en la fabricación de productos químicos y como combustible para el transporte. La tasa de crecimiento esperada para la demanda de metanol es del 3,6% anual hasta 2030.

Al igual que otras geografías, Colombia considera que el hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados serán una pieza fundamental en el cumplimiento de sus objetivos de descarbonización y actuarán como un nuevo motor económico del país. La consecución de las dichas metas se apalancará sobre las capacidades diferenciales de Colombia que abarcan desde el aprovechamiento sostenible de sus cuantiosos y variados recursos naturales a la existencia de un marco legislativo estable y comprometido con la descarbonización.

1.2. Fortalezas de Colombia en materia de hidrógeno

1.2.1. Recursos naturales abundantes para la producción de H₂ de bajas emisiones

Colombia es un país privilegiado en cuanto a la diversidad y disponibilidad de recursos naturales que cubren sus necesidades energéticas actuales y que sientan las bases para la producción futura de hidrógeno de bajas emisiones.

En primer lugar, Colombia cuenta con importantes reservas de petróleo, gas natural y carbón que le proporciona una posición cercana a la autosuficiencia en combustibles. En concreto, las reservas nacionales de gas natural y carbón pueden ser utilizadas para la producción de hidrógeno azul cuya huella de CO₂ oscila entre 1 y 2 kgCO₂/kgH₂.

Las reservas de gas natural se estiman en alrededor de 2.949 Gpc (7,7 años)¹⁰ estando los principales campos de producción en los Llanos Orientales, el Valle Inferior del Magdalena y La Guajira. Además, Colombia puede importar gas natural a través del puerto de Cartagena y próximamente entrara en operación una segunda planta en el puerto de Buenaventura asegurando de esta manera el suministro para el país en el largo plazo. Con respecto al carbón, Colombia es el mayor productor de Latinoamérica y uno de los principales exportadores. Las reservas probadas de carbón superan las 4.500 Mt¹¹ y se encuentran ubicadas principalmente en los departamentos de La Guajira

⁹ IEA (2019): *The Future of Hydrogen*

¹⁰ Ministerio de Minas y Energía (2021): <https://www.minenergía.gov.co/en/historico-de-noticias?sessionid=ydCR+fPQaV99DDbjYnFKQrhz.portal2?idNoticia=24291206>

¹¹ Agencia Nacional de Minería (2021): <https://www.anm.gov.co/?q=rueda-de-negocios-carbon-termico-en-colombia>

y Cesar. Considerando la producción anual de ambos energéticos, Colombia podría abastecer con holgura la demanda de hidrógeno de bajas emisiones tanto a medio como a largo plazo, siendo las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ el aspecto a desarrollar en los próximos años para poder explotar estos recursos existentes. Además, se está evaluando la posibilidad de explotar yacimientos de hidrógeno natural aunque la determinación tanto de su localización como de potencial se encuentra en un estado incipiente.

De igual modo, Colombia dispone de recursos para la generación renovable equiparables a la de las mejores zonas a nivel mundial. Por un lado, su oferta hídrica es seis veces el promedio mundial y tres veces el de Latinoamérica. Su orografía y régimen pluviométrico presenta condiciones óptimas para la generación hidroeléctrica en gran parte del territorio nacional llegando a suponer el 70% de la generación eléctrica del país.

Por otro lado, el gran potencial eólico del norte del país y un atractivo potencial solar en conjunto del territorio, unidos al importante descenso de los costos de las tecnologías renovables no convencionales, han permitido un rápido despliegue de FNCER aumentando la participación desde menos de un 1% en 2018 a más del 12% de la matriz energética para el 2022 alcanzando así los 2400 MW instalados. En especial, algunas zonas costeras del norte del país como Guajira, Magdalena, y Atlántico poseen una combinación de recurso renovable que asegura una producción competitiva de hidrógeno verde. En primer lugar el recurso eólico en la costa es comparable en intensidad y constancia al obtenible en condiciones “offshore” con factores de planta que superan el 60%. El recurso solar también abundante en estas regiones donde las instalaciones de tecnología solar fotovoltaica alcanzan factores de planta en torno a 19-20%. Estas condiciones posibilitarán costos de producción de hidrógeno verde similares a los obtenidos a partir de fuentes fósiles desde finales de la presente década.

1.2.2. Un posicionamiento geográfico estratégico

Colombia se encuentra ubicada en un enclave geográfico estratégico. En primer lugar, Colombia es el nexo de unión entre América Central y América de Sur teniendo fronteras y, por tanto, redes de transporte distribución y comercio con otros cinco países. Presenta una red eléctrica interconectada con países vecinos que se extenderá en la próxima década con una interconexión adicional con Ecuador y una nueva línea con Panamá.

Además Colombia se halla entre dos océanos, posición que la sitúa como nodo de comercio marítimo y exportación. Colombia cuenta con 10 zonas portuarias siendo Cartagena en el Caribe y Buenaventura en el Pacífico, los puertos de mayor relevancia. La gran mayoría de los puertos cuentan con una infraestructura desarrollada para en la importación/exportación de crudo y gas que puede reacondicionarse para el transporte y almacenamiento de hidrógeno y derivados.

Por todo ello, Colombia podría convertirse en un hub logístico de hidrógeno abasteciendo a los países cercanos tanto por mar como por tierra. Además, los costos competitivos esperados para el hidrógeno de bajas emisiones en Colombia favorecerán la exportación de hidrógeno hacia otros mercados de gran demanda, impulsando a su vez el comercio de otros productos en toda la cadena de valor del hidrógeno.

1.2.3. Un ecosistema empresarial sólido e innovador

Colombia cuenta con un tejido empresarial dinámico y emprendedor con amplia experiencia en la industria minera, producción de petróleo y gas, refinación de combustibles, generación de energía y en el manejo y transporte de gases. Este conocimiento y el aprovechamiento de la infraestructura industrial existentes son un excelente punto de partida para acelerar el desarrollo de la producción de hidrógeno. Sin embargo, la industria colombiana es mucho más amplia y diversificada por lo que se postula como un actor clave a lo largo de toda la cadena de valor. El

tejido empresarial colombiano busca maximizar la captura de valor extendiendo y diversificando sus actividades que engloban la producción de equipos y tecnologías claves en la cadena de valor del hidrógeno, el desarrollo y operación de proyectos y, por último, el aprovechamiento del hidrógeno de bajas emisiones para la obtención de productos de bajas emisiones a través de la industria transformadora.

En este sentido, se ha constituido la Asociación Nacional del Hidrógeno que reúne a socios del ámbito empresarial y la academia para promover el desarrollo nacional de la industria del hidrógeno. El crecimiento y la consolidación de la entidad generará las sinergias entre empresas para desarrollar proyectos que combinen producción y demanda y dará cabida a nuevas oportunidades de negocio y de innovación.

1.2.4. Contexto político-regulatorio estable y propicio al desarrollo de proyectos de hidrógeno

El Gobierno Nacional está completamente comprometido con la descarbonización de la economía. En primer lugar, el ministerio de medioambiente anunció en noviembre de 2020 la meta de reducción del 51% de las emisiones de gases efecto invernadero del país para el año 2030. Este compromiso está enmarcado en el proceso de actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia, conocida como NDC, donde se establecen acciones ambiciosas para enfrentar los efectos del cambio climático de cara a los próximos 10 años¹². En este sentido, se está evaluando la puesta en marcha del sistema de cupos transables como posible medida para incentivar el uso de fuentes de energía más sostenibles. Este sistema proporcionaría las adecuadas señales económicas para la transición de la demanda actual de hidrógeno hacia las distintas formas de producción de bajas emisiones y abrirá la puerta a la sustitución de energéticos fósiles por hidrógeno en nuevas aplicaciones apuntalando una nueva demanda.

Los excelentes recursos naturales colombianos le permitirán competir con otros países en el futuro mercado del hidrógeno de bajas emisiones. Sin embargo, para posicionarse en este mercado, Colombia deberá atraer recursos financieros nacionales e internacionales para desarrollar los primeros proyectos comerciales tanto a nivel de producción como de demanda local. En línea con los resultados obtenidos con la promoción de proyectos de energías renovables no convencionales, el Gobierno de Colombia ha incluido al hidrógeno de bajas emisiones, que engloba tanto hidrógeno verde como azul, dentro del Proyecto de Ley de Transición Energética al considerarlo una pieza clave dentro de la estrategia de descarbonización.

Por tanto, se espera un ulterior impulso al desarrollo de proyectos de generación renovable para la producción de hidrógeno verde siguiendo la tendencia iniciada en 2014 por la aprobación de la Ley 1715 que ha hecho posible la puesta en marcha de los primeros proyectos de energías solar fotovoltaica y energía eólica en el país así como la organización de subastas de energías renovables no convencionales que han acelerado exponencialmente la participación de FNCER en la matriz energética colombiana.

Por otro lado, el apoyo al hidrógeno de bajas emisiones del Gobierno Nacional también comprenderá la actividad minera y gasista del país a través de la explotación de nuevos recursos mediante la investigación y explotación de recursos críticos en la cadena de valor del hidrógeno de bajas emisiones y una transición justa mediante la reconversión de proyectos de minería e hidrocarburos para la generación de hidrógeno de bajas emisiones y la captura y almacenamiento de carbono.

¹² <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4877-colombia-reducira-en-un-51-sus-emisiones-de-gases-efecto-invernadero-para-el-ano-2030>

El Desarrollo de la hoja de ruta del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia requerirá de un importante esfuerzo de inversión público-privado para el desarrollo de infraestructuras de producción, transporte y usos finales de hidrógeno de bajas emisiones y por tanto se ha establecido un marco de mecanismos de apoyo atractivo, estable y predecible que proporcione las garantías adecuadas para los inversionistas.

Con el objetivo de incentivar el desarrollo de proyectos competitivos de hidrógeno y facilitar la búsqueda de acuerdos internacionales que atraigan la inversión y las capacidades tecnológicas necesarias, la Ley 2099 de Transición Energética de 10 de Julio de 2021 fija un marco fiscal atractivo para la inversión en fuentes no convencionales de energía contribuyendo a la recuperación de la economía. El hidrógeno verde y azul juegan un papel central en la misma al ser considerados como FNCER y FNCE respectivamente y a ambos les serán aplicación los beneficios de la Ley 1715 de 2014 durante un periodo de 30 años. La exención de pago de derechos arancelarios, la exclusión del IVA, la depreciación acelerada y la deducción del impuesto de la renta del 50% de la inversión, son poderosos instrumentos de apoyo para garantizar la competitividad de los proyectos de hidrógeno de bajas emisiones en cualquier eslabón de la cadena de valor y proporcionan seguridad a los inversores.

A nivel de inversión directa, la Ley 2099 extiende el ámbito de actuación del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE) a la financiación y/o ejecución de proyectos viables en cualquier eslabón de la cadena del valor del hidrógeno verde. Dichas inversiones se priorizarán de acuerdo con su impacto en la reducción de emisiones en línea con los objetivos marcados y la creación de riqueza y puestos de trabajo.

Los beneficios, incentivos e inversiones previstos en la Ley 2099 suponen un poderoso gesto de apoyo y compromiso de Colombia con el despliegue del hidrógeno de bajas emisiones posicionándola como un país de referencia en los futuros mercados de este nuevo vector energético.

2. Competitividad del hidrógeno nacional

El Gobierno de Colombia tiene un compromiso claro con la descarbonización de su matriz energética a la vez que promueve la sostenibilidad a largo plazo de las capacidades productivas del país. En este sentido, **el hidrógeno de bajas emisiones es una palanca para una transición paulatina y justa hacia una economía descarbonizada**: en primer lugar, permite el reemplazo de los combustibles fósiles en aquellos sectores donde la reducción de emisiones resulta especialmente compleja. Por otro lado, se fomenta el desarrollo de una nueva cadena de valor, incluyendo la investigación y el desarrollo de conocimiento, el despliegue industrial de las tecnologías renovables y la implantación del uso del hidrógeno en diversas actividades como el transporte.

El primer paso en el despliegue del hidrógeno consiste en promover la producción competitiva de hidrógeno de bajas emisiones aprovechando los diversos y abundantes recursos naturales del país, tanto para la producción de hidrógeno azul como de hidrógeno verde.

2.1. Producción de hidrógeno azul

Al hidrógeno que se produce a partir de **hidrocarburos**, generalmente gas y carbón, se le denomina hidrógeno gris. Cuando a estos procesos se aplica captura y almacenamiento de CO₂, este hidrógeno pasa a denominarse hidrógeno azul. Colombia cuenta con amplias reservas de recursos fósiles, siendo especialmente abundante el carbón, que podrán ser destinados a la producción de hidrógeno azul.

La evolución esperada del LCOH azul y gris en Colombia para las próximas décadas se muestra en la Figura 2. Se puede observar que los costos del H₂ azul se mantienen prácticamente constantes debido a que la reducción de costos de las tecnologías de captura de CO₂ se ve compensada por el aumento de los precios de los combustibles. El LCOH del H₂ gris, por el contrario, aumentan progresivamente por el impacto de los costos de las emisiones de CO₂¹³.

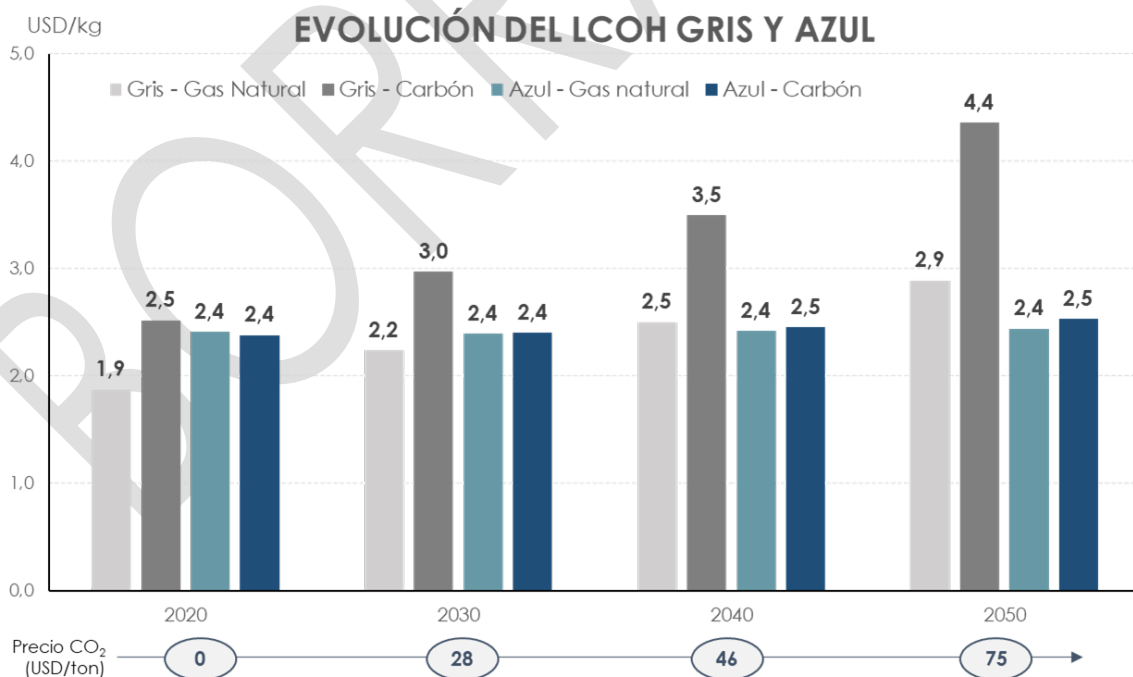


Figura 2: LCOH gris y azul a partir de gas natural y carbón

¹³ Se ha planteado un costo de 20 USD/tCO₂ a partir del año 2023, aumentando dicho precio un 5% anualmente

Es necesaria la implementación de un mecanismo que grave el costo de las emisiones CO₂ para proporcionar señales de mercado que incentiven el H₂ azul frente al gris. En caso contrario, el primero nunca será competitivo al no poder compensar el sobrecosto de la captura y almacenamiento de CO₂. Los resultados se han estimado sobre la base de la implementación del sistema de cupos transables de emisiones GEI definido en la Ley 1931 de 2018.

Por otro lado, desde un punto de vista técnico, deberá identificarse localizaciones preparadas para el almacenamiento de CO₂, además de disponer de tecnologías e infraestructura para su captura y transporte, siendo estos aspectos prioritarios dentro de esta hoja de ruta.

Además, el aprovechamiento de las infraestructuras existentes de las industrias minera, petrolífera y gasista dará lugar valores del LCOH aún más competitivos acortando los plazos para el punto de equilibrio frente a proyectos de nueva construcción, cuyos valores de LCOH son los presentados en la Figura 2.

En consecuencia, el hidrógeno azul haría posible una descarbonización temprana de determinadas aplicaciones industriales, como el sector de refinación. Además, la producción de hidrógeno azul puede implementarse en todas las regiones de Colombia que cuenten con recursos fósiles de abasteciendo la demanda local. De esta forma el hidrógeno azul resulta una alternativa de bajas emisiones para la transición progresiva de los sectores extractivos del país a la vez que se aprovechan las grandes reservas de gas y carbón y el know-how experto de la industria colombiana. El hidrógeno azul servirá de base para iniciar la ampliación de la cadena de valor del hidrógeno en Colombia hasta el desarrollo competitivo a gran escala del hidrógeno verde.

2.2. Producción de hidrógeno verde

Se denomina hidrógeno verde al obtenido mediante el uso de energías renovables en el proceso de electrólisis del agua. Colombia impulsará la producción de hidrógeno verde como herramienta esencial en el abatimiento de emisiones aprovechando su potencial para las FNCR.

Además de contar con una un sistema de incentivos favorables para el desarrollo de proyectos de H₂, Colombia se beneficiará de las reducciones de costos de la tecnología de electrólisis y de las tecnologías de generación renovable para el desarrollo del hidrógeno verde, especialmente de la reducción de costos de la energía solar fotovoltaica.

Para ello, se ha evaluado el recurso eólico y solar en toda la geografía colombiana determinando 8 áreas climáticas.

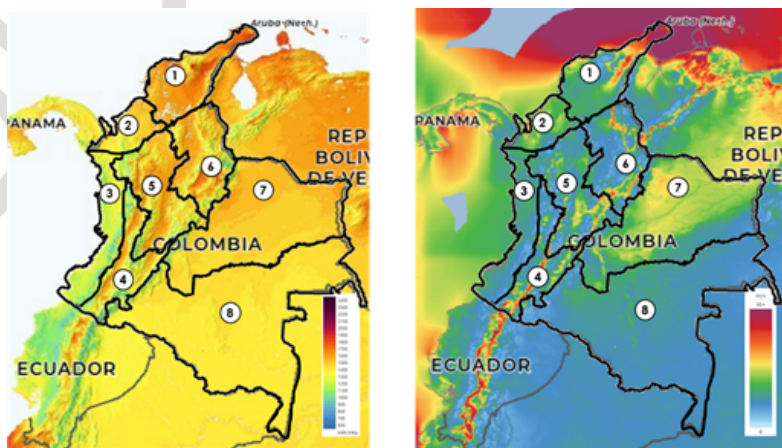


Figura 3: Separación de Colombia por zonas de recurso renovable¹⁴

Cada una de estas regiones está compuesta por varios departamentos o particiones de los mismos:

1. Caribe Norte: Guajira, Magdalena, Atlántico, Norte de Bolívar, Norte de Sucre
2. Caribe Sur: Córdoba, Norte de Antioquia, Norte de Choco
3. Pacífico: Sur de Choco, Oeste de Valle del Cauca, Oeste de Cauca y Oeste de Nariño
4. Andes Sur: Huila, Este de Valle del Cauca, Este de Cauca y Este de Nariño, Quindío
5. Andes Centro: Tolima, Cundinamarca, Antioquia, Risalda
6. Andes Norte: Boyacá, Santander, Norte de Santander, Sur de Bolívar, Sur de Sucre
7. Orinoquia: Vichada, Meta, Casanare, Arauca
8. Amazonia: Guainía, Guaviare, Vaupés, Caquetá, Putumayo, Amazonas

En la Figura 4 se muestra la evolución del LCOH entre 2020 y 2050 en las distintas regiones del país. Se observa que a partir de 2030 será posible producir hidrógeno verde en algunas regiones a un costo comparable al hidrógeno azul dando lugar a un mix de producción robusto, fiable y competitivo.

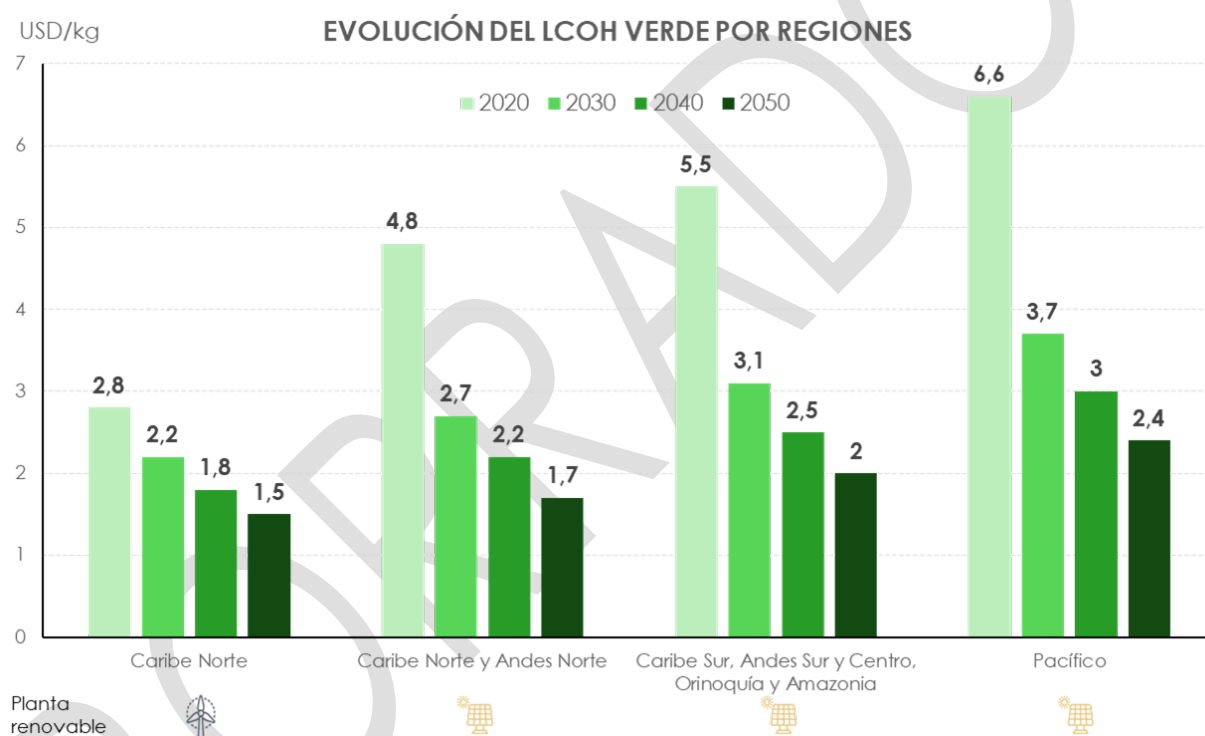


Figura 4: LCOH verde con factor de capacidad renovable moda en las distintas regiones

Los resultados presentados en la Figura 4 se corresponden con los valores de potencial renovable moda, es decir, los encontrados con más frecuencia en cada región climática. Sin embargo, se han identificado zonas específicas donde los valores de LCOH pueden resultar aún más competitivos. De hecho, se constata la existencia de un gran potencial eólico en ciertas áreas de la región de Caribe Norte, llegándose a alcanzar factores de planta de hasta un 63% en el departamento de La Guajira, potencial equiparable al de las mejores zonas del mundo. Adicionalmente, se pueden alcanzar costos de producción de energía solar muy competitivos, llegando a factores de planta del 21% en las regiones de Caribe Norte y Andes.

¹⁴ Separación por zonas climáticas realizada en base al análisis de la competitividad del hidrógeno de bajas emisiones elaborado para la Hoja de Ruta de Colombia. Fondo de imagen obtenido del Global Solar Atlas.

Por tanto, la selección de zonas con factores de planta elevados para el desarrollo de proyectos renovables dedicados a la producción de hidrógeno verde será clave en el corto plazo para reducir los costos hasta un 25%, tal y como se puede apreciar en la Figura 5:

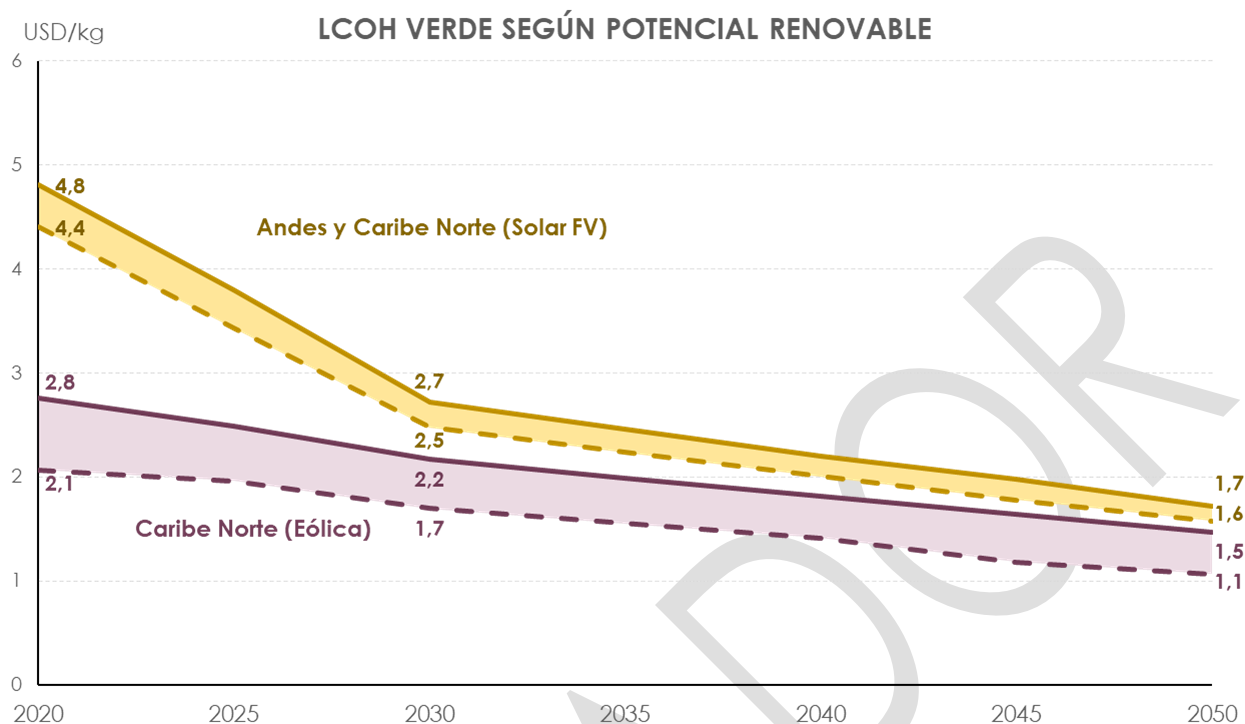


Figura 5: LCOH a partir de solar y eólica en zonas de potencial renovable moda y máximo

Los costos más competitivos, alcanzados mediante el uso de energía eólica en Caribe Norte, son comparables a los de otros países de referencia. Así, por ejemplo, el valor de LCOH obtenido en 2030 de 1,7 USD/kg es un valor muy similar a los objetivos de referencia establecidos en las estrategias de hidrógeno de Australia (1,6 USD/kg) y Chile (1,5 USD/kg). Colombia se posiciona por tanto como un actor relevante a nivel global en el futuro mercado de hidrógeno.

El recurso solar del país también podrá ser aprovechado en muchas regiones para abastecer la demanda interna, especialmente a partir de 2030 cuando se espera una importante reducción de los costos para la tecnología solar fotovoltaica.

Hasta ese momento la producción de las plantas renovables dedicadas podrá ser complementada con energía de red en todas las regiones conectadas, explotando así el importante recurso hídrico del país. El uso de la energía de la red se espera también en los primeros proyectos piloto con el objetivo de fomentar un despliegue más rápido del uso del hidrógeno en la parte de la demanda.

2.3. Evolución del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia

Considerando las distintas perspectivas de evolución de costos de las tecnologías de bajas emisiones y los recursos naturales de Colombia, se espera que el hidrógeno bajo en carbono se imponga progresivamente en distintas aplicaciones. La comparativa de la evolución del LCOH tanto azul como verde se muestra en la Figura 6, tomando los costos de hidrógeno gris como referencia.

Los resultados obtenidos indican tres principales fases de despliegue del hidrógeno de bajas emisiones en el horizonte 2020-2050:

- A corto plazo, el H₂ azul es la mejor opción de bajas emisiones. Sin embargo, ya en 2030, la producción de H₂ verde en las zonas con mejor recurso eólico del país (Guajira) comienza a presentarse como la alternativa más competitiva.
- 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. De hecho, a partir de 2035, el H₂ azul (a partir de gasificación de carbón o reformado de GN) resultaría más competitivo incluso que el H₂ gris debido al aumento de los precios del CO₂ y el descenso de costos de las tecnologías de captura.
- A partir de 2040, el H₂ verde se impondrá como la alternativa más competitiva en todo el territorio colombiano.

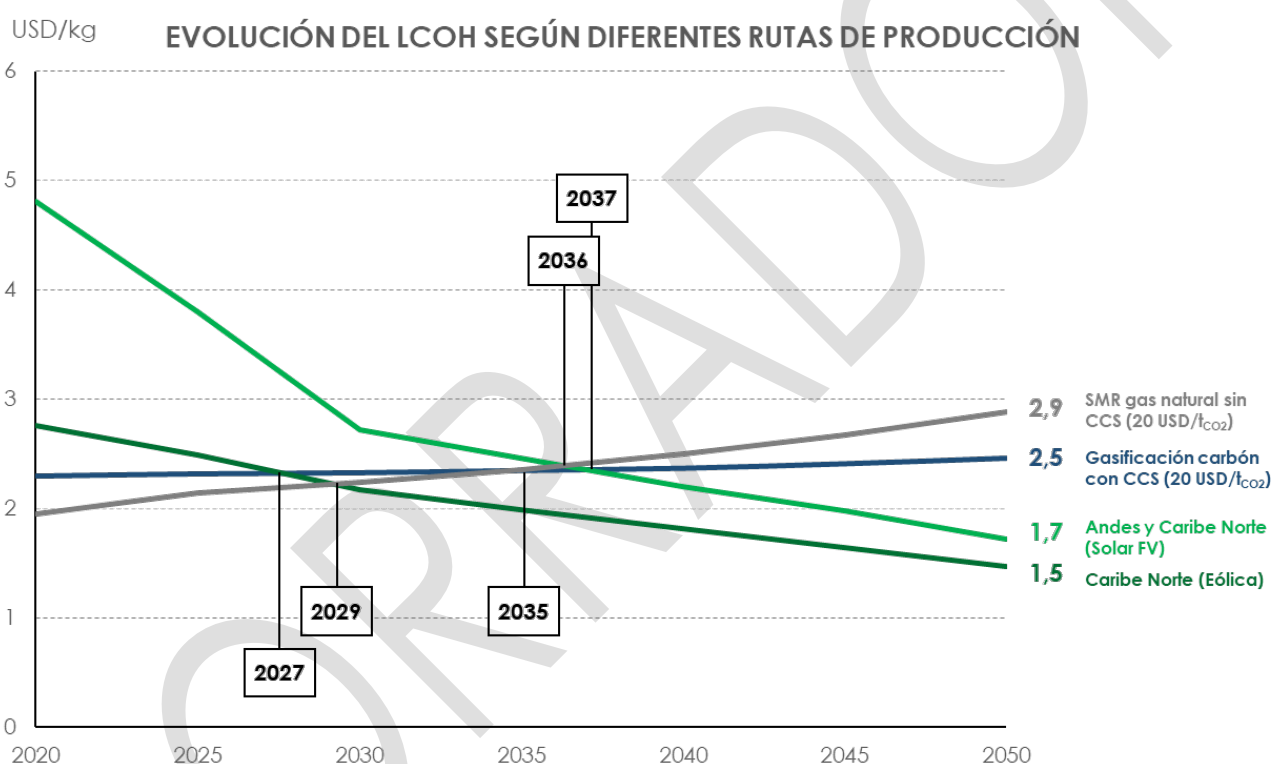


Figura 6: Comparativa del LCOH según las rutas de producción^{15,16}

Las tres fases de despliegue se pueden observar en la Figura 7 donde se indica además el LCOH bajo en emisiones (USD/kg) más competitivo en cada región considerando el potencial renovable moda.

¹⁵ El H₂ azul a partir de gas natural tiene costos muy similares al obtenido con carbón, por lo que solo se muestra una de las 2 alternativas

¹⁶ Se muestra el LCOH verde para las zonas de potencial moda de cada región

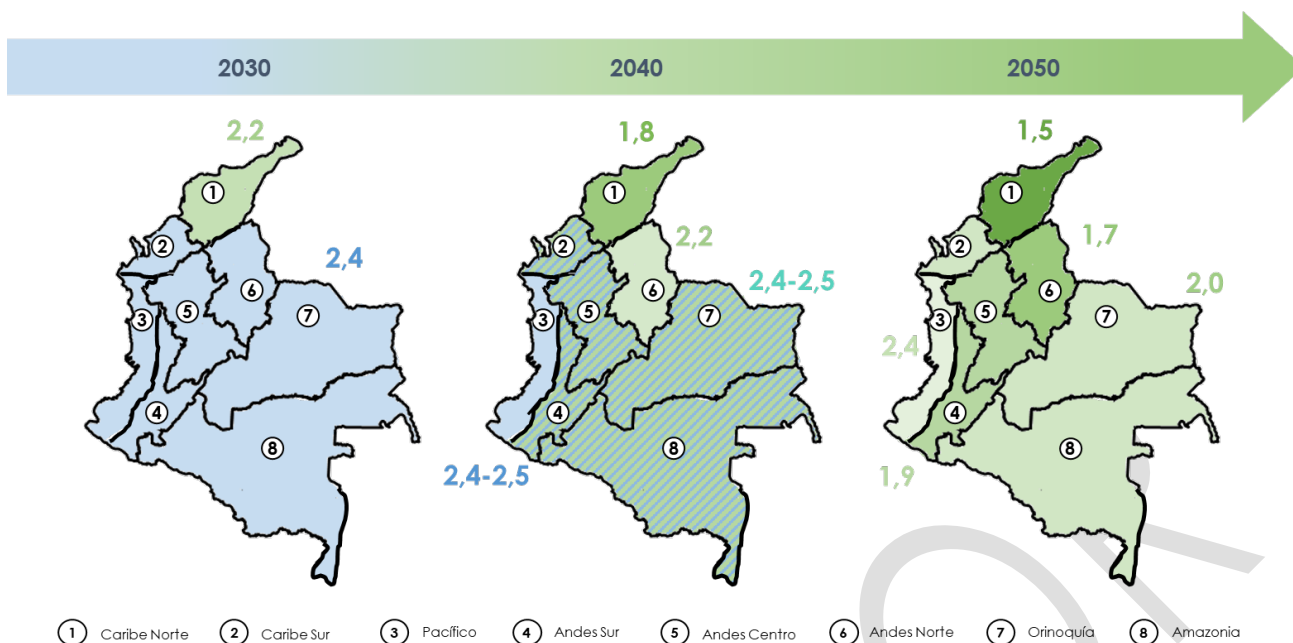


Figura 7: Competitividad de hidrógeno de bajas emisiones según LCOH moda en Colombia

Por tanto, el H₂ azul dispone de una ventana de oportunidad limitada al corto/medio plazo aunque su uso puede contribuir a la descarbonización de sectores industriales importantes en el país. Además, la producción temprana de H₂ azul podría facilitar también el despliegue del hidrógeno gracias al desarrollo de las tecnologías de transporte, distribución y almacenamiento así como resolver retos técnicos asociados a la captura, transporte y secuestro de CO₂ en Colombia.

El hidrógeno verde será la ruta de producción de referencia para abastecer la demanda futura de H₂ de bajas emisiones. Así mismo, la competitividad a nivel internacional de los costos obtenidos en las costas del Caribe posibilitará la creación de un nuevo mercado de exportaciones que transformará la balanza comercial nacional hacia energéticos de menores emisiones.

3. Demanda nacional y exportación de hidrógeno y derivados

En la actualidad, el hidrógeno a nivel global se consume como materia prima en diversas actividades industriales como la refinación, la industria química o la siderurgia. De hecho, en Colombia, la demanda anual de hidrógeno, estimada en 150 kt, se produce mediante reformado de gas natural (hidrógeno gris) y se consume principalmente en las refinerías. El resto de la demanda se distribuye entre la producción de fertilizantes y otros usos industriales menores, utilizándose en muchos casos hidrógeno electrolítico producido con electricidad de la red.

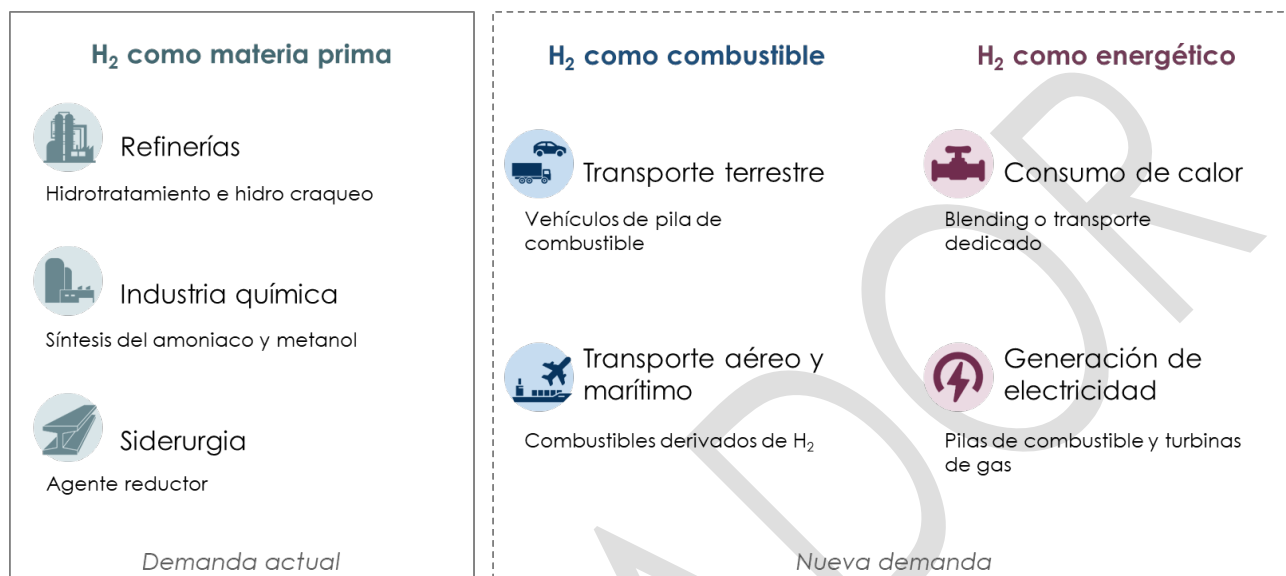


Figura 8: Aplicaciones actuales y futuras del hidrógeno

Sin embargo, el hidrógeno de bajas emisiones se presenta como un nuevo vector energético clave en la transformación y descarbonización de la economía colombiana. En primer lugar, el hidrógeno y sus derivados ofrecen oportunidades para la modernización y el desarrollo de múltiples aplicaciones industriales además de sustituir a los combustibles fósiles en otros sectores como el transporte o la generación eléctrica.

A nivel internacional, Colombia formará parte de un nuevo mercado energético que abarca tanto los países cercanos de Latinoamérica como los grandes focos de demanda de hidrógeno de bajas emisiones en otros continentes, contribuyendo así a su apertura internacional.

3.1. Demanda esperada de hidrógeno y derivados de bajas emisiones

En el futuro, los nuevos usos del hidrógeno y sus derivados provocaran en Colombia un aumento exponencial de la demanda total de hidrógeno de bajas emisiones en el horizonte 2020-2050. Las principales fuentes de demanda serán el sector transporte y la industria, aunque el porcentaje relativo de cada sector varía a lo largo del periodo tal y como se muestra en la Figura 9.

A corto plazo se espera un crecimiento moderado de la nueva demanda de hidrógeno de bajas emisiones llegando a las 120 kt en 2030. La demanda industrial será la primera en desarrollarse, motivada por la descarbonización de procesos que consumen hidrógeno actualmente en Colombia: la refinación de combustibles y la producción de fertilizantes. Por otra parte, se estima que la demanda del sector transporte comenzará a partir de 2026, fundamentalmente en el transporte terrestre pesado (autobuses y camiones).

Hacia 2040, el sector transporte experimentará un fuerte crecimiento, equiparándose su demanda a la del sector industrial. En esta década también se espera la aparición de los primeros proyectos relativos al uso del hidrógeno de bajas emisiones en otras industrias y en generación eléctrica.

En la década entre 2040 y 2050 se consolidarán en Colombia los nuevos usos del hidrógeno de bajas emisiones estimándose la demanda interna en aproximadamente 1850 kt para 2050. El sector transporte se alza como el principal demandante de hidrógeno, alcanzando el 64% de la demanda total, es decir, 1180 kt de hidrógeno. Este aumento considerable se deberá tanto a la irrupción del hidrógeno de bajas emisiones en el transporte aéreo y marítimo como al crecimiento de su demanda en el transporte por carretera. En el sector industrial los nuevos usos del hidrógeno de bajas emisiones se reparten de manera equilibrada entre los sectores de fertilizantes, minería y siderurgia, mientras que la refinación se mantiene como el subsector con mayor demanda. Por último, la demanda en el sector eléctrico continúa representando un porcentaje relativamente pequeño (de alrededor del 3% de la demanda total de hidrógeno) equivalente a 37 kt en 2050.

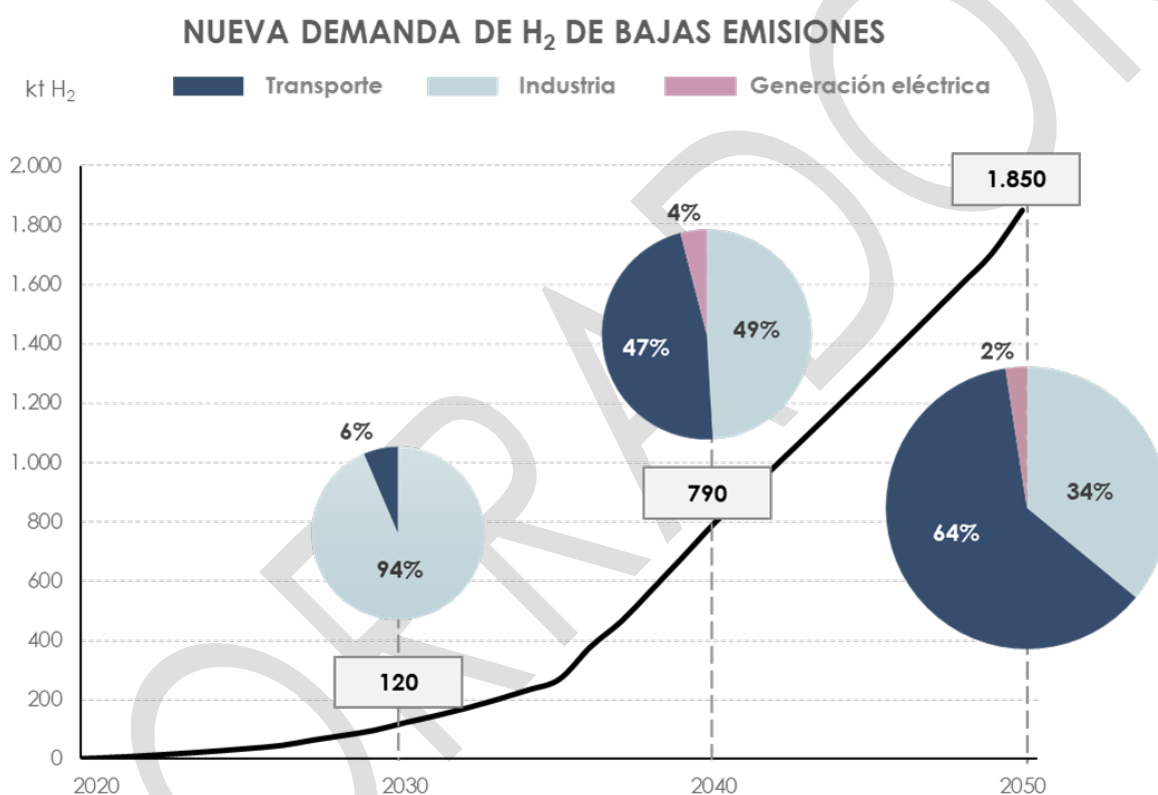


Figura 9: Evolución prevista de la nueva demanda de hidrógeno de baja huella en Colombia

La demanda de hidrógeno de bajas emisiones contempla tanto la demanda relacionada con la utilización directa del hidrógeno como la producción de derivados del hidrógeno que permiten la descarbonización de algunas aplicaciones donde el hidrógeno puro no resulta tan competitivo o presenta dificultades en su transporte y distribución.

De acuerdo con los resultados obtenidos, un 40% de la demanda de hidrógeno a 2050 será utilizada para abastecer la producción de derivados de bajas emisiones, principalmente en forma de amoníaco y de combustibles sintéticos. El amoníaco se utilizará inicialmente en la producción de fertilizantes, reduciendo así las importaciones de Colombia en este ámbito e impulsando esta industria a nivel local. Además, el amoníaco de bajas emisiones transformará la demanda de combustibles en el transporte marítimo sustituyendo a los combustibles fósiles. De manera similar, en el transporte aéreo, la falta de alternativas para mitigar sus emisiones forzaría la utilización de combustibles sintéticos.

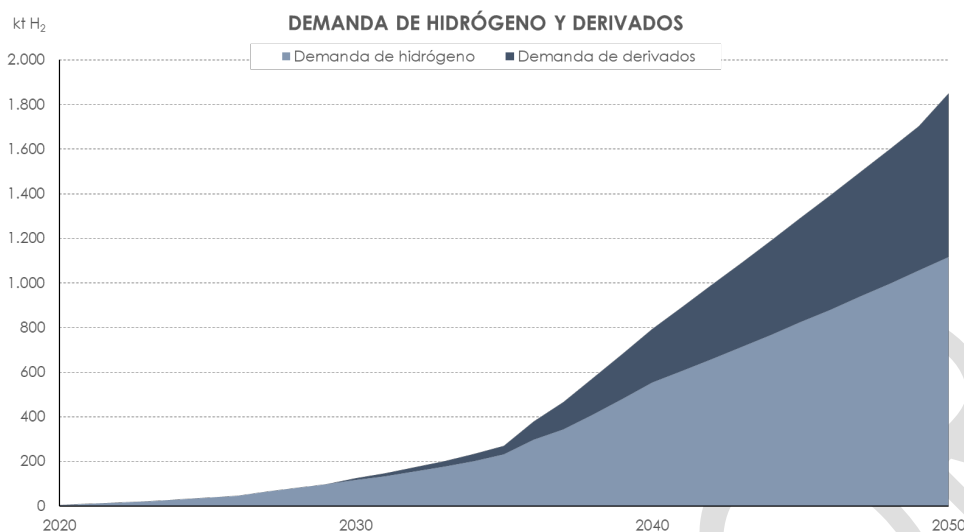


Figura 10: Nueva demanda de hidrógeno y derivados de bajas emisiones en Colombia

La penetración esperada del hidrógeno en cada subsector mencionado se sintetiza en la Figura 11. El año de inicio del uso del hidrógeno es similar al año previsto como punto de equilibrio, cuando el uso del hidrógeno es competitivo frente a la alternativa convencional fósil, pero se adelanta pues se tiene en cuenta, no sólo la competitividad en costos, sino la realización de proyectos piloto y demostraciones llevadas a cabo por empresas que deseen desarrollar conocimiento tecnológico.

En el eje vertical se muestra la probabilidad de adopción que depende de la madurez tecnológica, la dificultad de desarrollo de la cadena de valor y la existencia de alternativas más competitivas que el hidrógeno para descarbonizar la aplicación. El diámetro de las circunferencias representa la demanda de hidrógeno prevista en 2050 para cada uso.

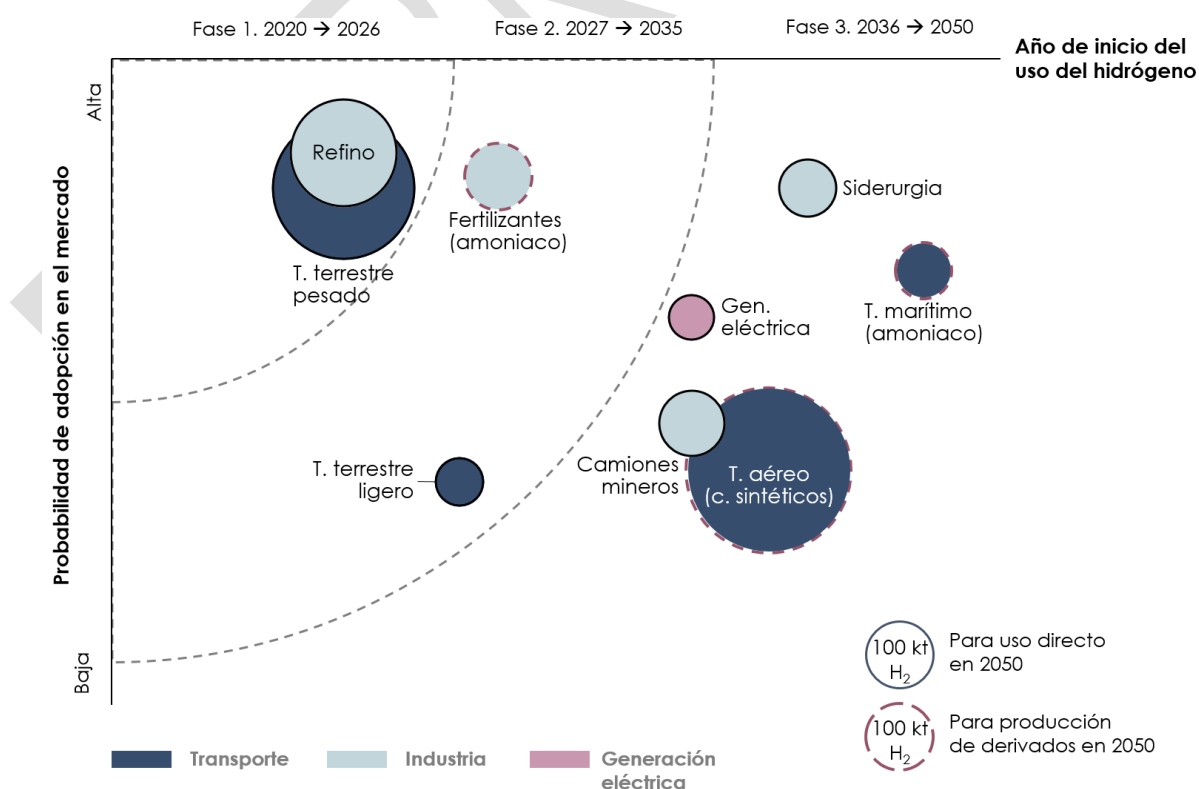


Figura 11: Desarrollo de las aplicaciones del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia

La penetración del hidrógeno por aplicaciones tendrá lugar en tres fases diferenciadas en función de la probabilidad de adopción en el mercado del hidrógeno para cada uso final:

- **Fase 1. Aplicaciones existentes (2020 → 2026):** El hidrógeno de bajas emisiones comenzará a consumirse en las refinerías como vía de remplazo del hidrógeno gris. Parte de este hidrógeno será azul, proveniente de la aplicación de captura y almacenamiento de CO₂ en plantas de reformado de gas natural con vapor existentes. Esta fase también contará con la penetración del hidrógeno en el sector del transporte terrestre pesado (camiones y autobuses) que, aunque con una demanda relativamente pequeña (0,4 kt en 2026), comenzarán a tener peso mediante proyectos piloto y casos de uso particulares (p. ej. descarbonización del transporte público).
- **Fase 2. Aplicaciones emergentes (2027 → 2035):** El hidrógeno comenzará a ser competitivo y a utilizarse en nuevos sectores. En esta fase entrarán unas aplicaciones con capacidad de fomentar la industria en Colombia: la producción de fertilizantes nitrogenados bajos en emisiones que reduzcan las importaciones actuales. Además, la bajada en costos del hidrógeno verde darán lugar a la entrada de vehículos de transporte ligero a partir de 2029.
- **Fase 3. Aplicaciones disruptivas (2036 → 2050):** En esta última fase se producirá un gran despliegue del hidrógeno en las aplicaciones anteriores, pues el uso de hidrógeno verde será más competitivo que las alternativas fósiles. En paralelo, se abrirán nuevas oportunidades para el hidrógeno, que comenzará a demandarse para aplicaciones que actualmente están poco maduras tecnológicamente. Estas nuevas aplicaciones permitirán descarbonizar nuevos sectores tales como el transporte marítimo y aéreo mediante derivados, la generación eléctrica flexible en plantas de ciclo combinado alimentadas por hidrógeno o pilas de combustible, la producción de acero primario mediante reducción directa con hidrógeno (DRI), o la industria minera mediante el uso de camiones mineros de pila de combustible.

3.2. Abatimiento de emisiones asociadas al uso de hidrógeno

La introducción del hidrógeno de bajas emisiones en procesos en los que sustituye a combustibles o insumos de origen fósil contribuirían a la reducción de las emisiones de CO₂ del país. Para el caso de Colombia, la introducción del hidrógeno de bajas emisiones puede llegar a abatir más de 13 Mt de CO₂ en 2050, lo que supondría alrededor del 14% de todas las emisiones de usos energéticos y procesos industriales del año 2019 (99 Mt de CO₂).

Alineado con la distribución de la demanda de hidrógeno, la mayor parte de las emisiones abatidas se dan en los sectores transporte e industria. A 2030 la reducción de emisiones vendrá fundamentalmente dada por la penetración del hidrógeno en el sector industrial, mientras que el sector del transporte toma un papel secundario. No obstante, esta distribución cambia con el tiempo, llegando el transporte a suponer el 70% de las emisiones abatidas a 2050.

Las mayores reducciones de emisiones se dan en el sector transporte, donde el transporte aéreo es el subsector que supone un mayor abatimiento de emisiones, especialmente en el largo plazo (5050 kt de CO₂ abatidas en 2050) debido a la alta intensidad en carbono del sector y las pocas alternativas que existen para descarbonizarlo. No obstante, este sector comienza su desarrollo en torno al hidrógeno de bajas emisiones más tarde que el transporte terrestre. En segundo término, el transporte por carretera, principalmente transporte pesado (camiones y autobuses), es el subsector que conlleva una mayor reducción de emisiones, pudiendo alcanzar hasta 4150 kt de CO₂ abatidas en 2050. Dentro del sector industrial, el sector del refino se posiciona como el tercer sector donde se da una mayor reducción de emisiones, pudiendo alcanzar 1700 kt de CO₂ en 2050. Estos tres

sectores son claramente los dominantes en cuanto a abatimiento de emisiones y deben, por tanto, ser los sectores prioritarios.

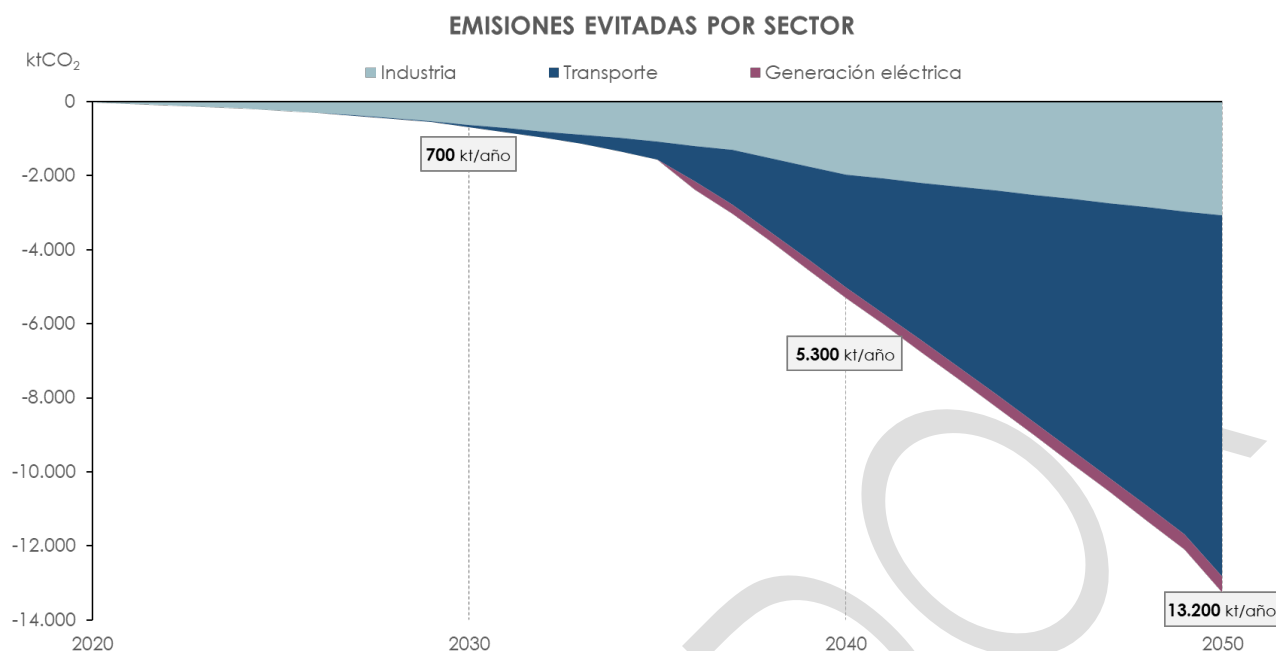


Figura 12: Reducción de emisiones por consumo de H₂ en cada sector

El refino y el transporte pesado por carretera son las aplicaciones que antes alcanzan la paridad en costos con su alternativa fósil (antes de 2030). Por ello, estas aplicaciones serán prioritarias a la hora de desplegar nuevos proyectos de hidrógeno puesto que permitirán traccionar la nueva demanda contribuyendo a una descarbonización en el corto plazo.

3.3. Potencial de exportación

Colombia aspira a convertirse en un referente en la economía global del hidrógeno gracias a sus excepcionales recursos renovables y al decidido impulso del gobierno para favorecer su despliegue. Por ello, Colombia competirá en los mercados internacionales del hidrógeno de bajas emisiones, alcanzando en el largo plazo un potencial exportador equiparable a sus actuales exportaciones de carbón.

Mientras Colombia puede aprovechar sus abundantes energéticos y recursos hidráulicos y de FNCER para producir el hidrógeno que sirva la demanda doméstica, en el norte del país se ambiciona la creación de un hub logístico de exportación aprovechando el destacado potencial eólico y solar de la región, especialmente el recurso eólico de muy alta calidad en la península de La Guajira. El hub de exportación de hidrógeno del Caribe podrá servir la demanda de hidrógeno en mercados situados tanto en el Atlántico como en el Pacífico. Este hub estaría estratégicamente situado, encontrándose cerca de Norteamérica, con salida directa hacia los mercados europeos a través del Caribe y con acceso a los mercados asiáticos bien a través del canal de Panamá o desde los puertos colombianos del Pacífico previo transporte por ducto. Colombia también estaría idóneamente posicionada para servir las pequeñas demandas de hidrógeno que puedan desarrollarse en los países de América Central.

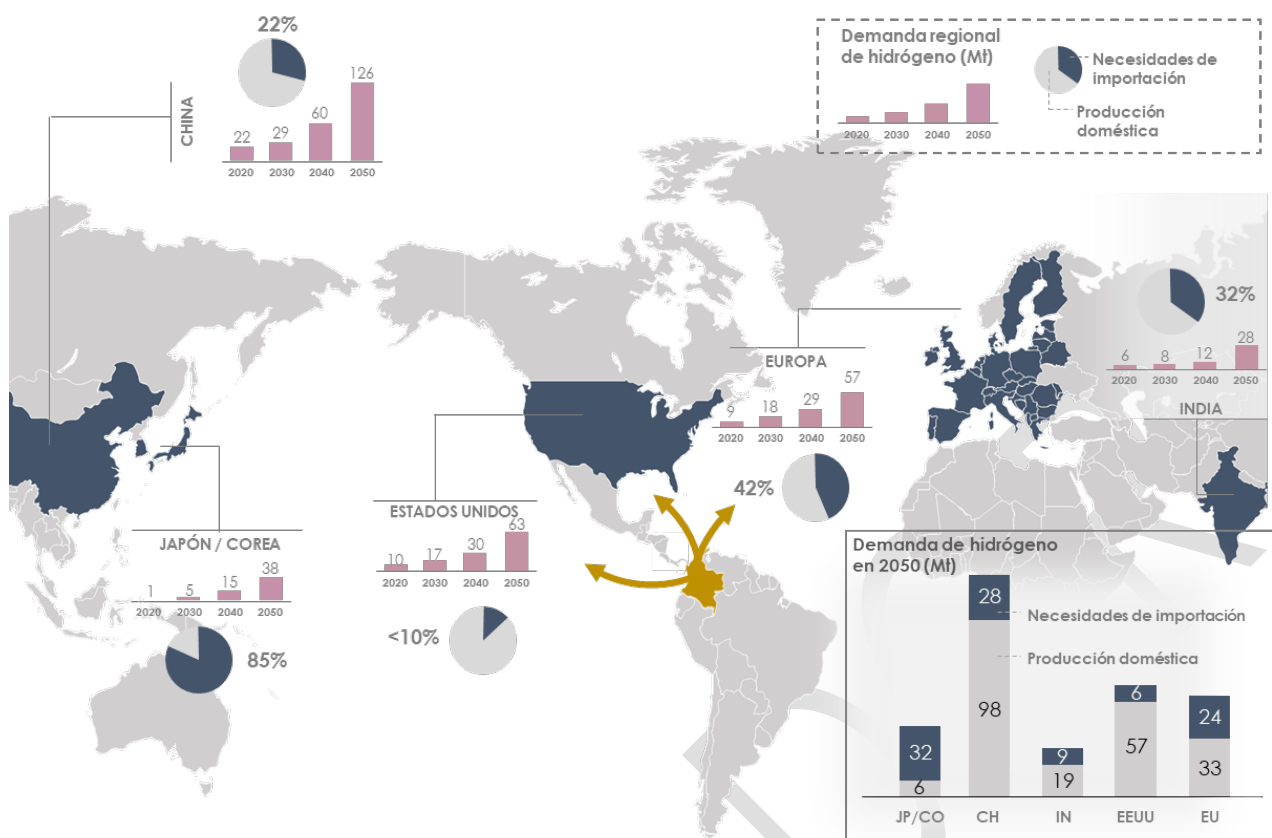


Figura 13: Principales focos de demanda de hidrógeno a nivel global¹⁷

A nivel global, existen tres grandes regiones donde se concentrará la demanda de hidrógeno y especialmente la demanda de hidrógeno de importación. Asia será el principal foco de demanda de hidrógeno, con una demanda total de más de 190 Mt en 2050 y con necesidades de importación grandes tanto en términos absolutos (China) como en términos relativos (Japón, Corea e India). En Europa, se desarrollará una demanda de aproximadamente 60 Mt de hidrógeno en 2050 que será cubierta por producción local, por exportadores cercanos (Marruecos, Noruega, etc.) y eventualmente por otros exportadores como Colombia. En Estados Unidos la demanda de hidrógeno podría llegar a alcanzar también las 60 Mt de hidrógeno en 2050. Sin embargo, el buen recurso renovable que puede encontrarse en muchas regiones del país, sus abundantes y competitivos recursos fósiles y su constante apuesta por la independencia energética sugieren que, de darse una demanda de importación de hidrógeno en Estados Unidos, esta será pequeña en términos relativos.

¹⁷ Mapa de i-deals elaborado mediante el análisis de las estrategias de hidrógeno publicadas por los diferentes países y regiones.

4. Horizonte 2030 y 2050

4.1. Pilares de la Hoja de Ruta

La estrategia elaborada se cimienta en 5 pilares que buscan el desarrollo social, medioambiental y económico de Colombia, y que son el fruto de un trabajo colaborativo de múltiples actores públicos y privados.



Figura 14: Pilares de la Hoja de Ruta

1. El hidrógeno como una pieza clave en la descarbonización nacional

Colombia se ha comprometido con un ambicioso objetivo de descarbonización durante la próxima década con vistas a objetivos más ambiciosos en el largo plazo. El hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados serán una herramienta más para una descarbonización profunda de la economía y su despliegue atenderá a razones de costo-beneficio. El hidrógeno tendrá cabida en aplicaciones en las que la electrificación no es viable o no hay otros energéticos adecuados desde un punto de vista de costo, ambiental o técnico. Aplicaciones como el transporte pesado de larga distancia, el transporte aéreo y marítimo, así como distintos sectores industriales se beneficiarán de estos energéticos.

El hidrógeno verde facilitará además el despliegue e integración de mayor capacidad de generación de FNCER favoreciendo una economía sostenible, facilitando la gestión del sistema y habilitando el transporte y el almacenamiento de energía.

2. El desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno como vía hacia una economía de exportación de bajas emisiones

Colombia dispone de un posicionamiento geoestratégico entre 2 océanos con acceso a las principales economías, así como de áreas geográficas con recursos naturales para la producción de energía renovable equiparables a las mejores del mundo. Esto permitirá a Colombia competir en un mercado global en el que las grandes economías industriales importarán hidrógeno de bajas emisiones para cumplir sus objetivos de descarbonización. Para ello, será necesaria la cooperación con dichos países de modo que se pueda acceder a tecnología, capacitación e inversión que posicionen a Colombia en un mercado incipiente.

La exportación de energéticos de origen fósil es uno de los pilares de la balanza comercial colombiana. Sin embargo, la transición global hacia una economía de bajas emisiones dará lugar a una progresiva reducción de las exportaciones de estos energéticos hacia nuestros principales clientes internacionales y su uso en la propia Colombia. La producción y exportación de hidrógeno aprovechando los recursos naturales colombianos equilibrará la disminución del peso de los energéticos tradicionales en nuestra economía.

El hidrógeno atraerá inversiones y generará nuevos empleos de manera que la descarbonización sea un impulso para la economía colombiana. El Gobierno y las autoridades aprovecharán el hidrógeno, no solo para su exportación sino para el desarrollar nueva capacidad industrial nacional.

El hidrógeno habilita el desarrollo de nuevas cadenas de valor que impulsarán la economía colombiana. Colombia puede atraer oportunidades dentro de las cadenas de valor tecnológicas mediante la producción de bienes de equipo para la producción, transporte, almacenamiento y transformación de hidrógeno a través de cooperación internacional. Asimismo, la utilización del hidrógeno producido con bajos costos en Colombia abre la puerta para el establecimiento de industrias de bajas emisiones que lo utilicen para la obtención de productos de bajas emisiones evitando el complejo transporte a largas distancias que incrementa los costos de los productos finales.

El fomento de la innovación, el apoyo a la industria local y la atracción de inversión serán claves para maximizar la creación de riqueza y puestos de trabajo mediante la extensión de la cadena de valor del hidrógeno y la creación de clústeres industriales.

3. El hidrógeno como habilitador de una transición energética justa

El hidrógeno de bajas emisiones es una oportunidad para la transición justa de los sectores afectados por la descarbonización a la vez que abre nuevas puertas para la creación de nuevo tejido industrial que aprovecha la competitividad del hidrógeno producido en Colombia.

El despliegue de la industria del hidrógeno de bajas emisiones en zonas mineras y petroleras se beneficiará del aprovechamiento de las infraestructuras y capacidades existentes permitiendo una transición justa y equilibrada. De igual forma, el hidrógeno verde abre nuevas oportunidades de desarrollo local en nuevas regiones con alto potencial de producción de energías renovables contribuyendo a un desarrollo económico equilibrado y cohesivo entre territorios.

4. El Gobierno Nacional comprometido con el despliegue del hidrógeno de bajas emisiones

El Gobierno tiene un claro compromiso con el despliegue del hidrógeno de bajas emisiones como motor de desarrollo económico, social y medioambiental. Sin embargo, estamos en las primeras fases de creación de esta industria a nivel global y debe establecerse un marco regulatorio y de incentivos que favorezca la implantación de los primeros pilotos.

El Gobierno desarrollará en el corto plazo un marco regulatorio transparente, predecible y estable, junto con una estrategia de incentivos, y comenzará con el planeamiento integrado de infraestructuras que permitan los primeros despliegues. Dichas iniciativas involucrarán al sector privado, la academia y la sociedad civil como actores clave en el despegue de la industria en Colombia.

5. El hidrógeno como vía de vertebración del territorio y herramienta de desarrollo inclusivo

El desarrollo de la economía del hidrógeno pondrá en el centro a las comunidades desde el inicio, teniendo en cuenta su situación actual, necesidades, aspiraciones y capacidades. El Gobierno y autoridades locales pondrán en marcha un plan de socialización que traslade el potencial del hidrógeno para transformar económicamente las comunidades mediante la generación equilibrada de riqueza y empleo a la vez que se capacita el personal y se protegen los recursos naturales, las personas y el medio ambiente.

Se involucrará a las comunidades en el dialogo a cerca de las oportunidades para el territorio de la las FNCER en general, y el hidrógeno en particular, situándolas en el centro de la planeación territorial y económica. El diálogo involucrará también a los promotores para definir las mejores prácticas para el desarrollo económico local favoreciendo la creación compartida de valor.

4.2. Metas a 2030

Se han establecido ambiciosas metas nacionales a 2030 cuya consecución permitirá desarrollar las capacidades técnicas e industriales y la experiencia necesaria para poder aprovechar el todo el potencial futuro del hidrógeno.

Los instrumentos principales para alcanzar los objetivos fijados a 2030 son las medidas descritas en los ejes de actuación que se detallan en el capítulo siguiente.



Figura 15: Metas de país en materia de hidrógeno a 2030

En lo relativo a la **producción de hidrógeno de bajas emisiones** se espera a 2030:

- Instalar **al menos 1 GW de electrólisis** que se ubicarán tanto en regiones de alto recurso renovable como La Guajira, como en lugares próximos al consumo con el objetivo de minimizar los costos asociados al transporte.
- Alcanzar un **hidrógeno verde** competitivo, logrando **costos de 1,7 USD/kg** cuando se produzca en las zonas de recurso renovable óptimo.
- Producción de al menos **50 kt de hidrógeno azul** mediante la construcción de nuevas plantas y aplicación de captura y almacenamiento de CO₂ (CCS) a plantas existentes.

Respecto a la **demanda de hidrógeno**, se prevé una importante penetración en sectores industriales, principalmente en refinación e industrias química y fertilizantes, así como un comienzo de la demanda en el sector de transporte terrestre. En estos sectores se espera alcanzar a 2030:

- Flota de al menos **1.500 – 2.000 vehículos ligeros** de pila de combustible para transporte de pasajeros y carga. Se considera esencial fomentar el desarrollo de hidrogeneras en grandes núcleos de población, fomentando la adquisición de vehículos de hidrógeno para aplicaciones de gran recorrido como taxis o furgonetas de reparto.
- Flota de al menos **1.000 – 1.500 vehículos pesados** de pila de combustible para transporte de pasajeros y carga. Se pondrá foco en el despliegue de hidrogeneras en rutas de gran tránsito de vehículos que conecten ciudades del país, fomentando la adopción de esta tecnología por empresas de transporte de mercancías y pasajeros. Además, derivado de la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Sostenible¹⁸, se prevé una importante participación del hidrógeno dentro de la flota de buses intermunicipales del país.

¹⁸ 100% de los vehículos públicos adquiridos para transporte masivo eléctricos o con cero emisiones a 2035

- Red de al menos **50 – 100 hidrogeneras** de acceso público para el repostaje de los vehículos anteriores. Estas estaciones se concentrarán en grandes núcleos de población y rutas comerciales, garantizando una alta demanda de hidrógeno y su viabilidad económica.
- Consumo de un **40% de hidrógeno de bajas emisiones en el sector industrial** respecto del total del hidrógeno consumido en el sector, considerando tanto el consumo de hidrógeno como materia prima, como su uso como fuente energética.

Las metas anteriores habilitarán dos objetivos transversales:

- Movilizar más de **2.500 millones de dólares de inversión** durante el periodo 2020/30, las cuales provendrán mayormente del sector privado, pero que contarán con el apoyo público necesario en los casos en los que se precise. Esta inversión generará un efecto multiplicador en toda la cadena de valor del hidrógeno en términos de creación de riqueza y empleo.
- Contribuir a la descarbonización de Colombia con el **abatimiento de 2,5 – 3 millones de toneladas de CO_{2eq}** durante el periodo 2020/30 gracias al uso de hidrógeno de bajas emisiones. Además, se estima que a 2030 se eviten aproximadamente la emisión anual de 0,7 millones de toneladas de CO_{2eq}.

4.3. Ambición a 2050

La estrategia nacional a largo plazo se divide en dos periodos principales:

- **Horizonte temporal anterior a 2030:** El hidrógeno de bajas emisiones penetra únicamente en aquellas aplicaciones más competitivas. Este periodo destaca por una estrecha colaboración público-privada que habilitará y fomentará el desarrollo del mercado.
- **Horizonte posterior a 2030:** El hidrógeno es competitivo en un gran número de aplicaciones, lo que desencadena un gran aumento de la demanda tanto a nivel nacional como internacional. Durante este periodo comienza la exportación a otras geografías y se habilitan las aplicaciones de menor madurez tecnológica.

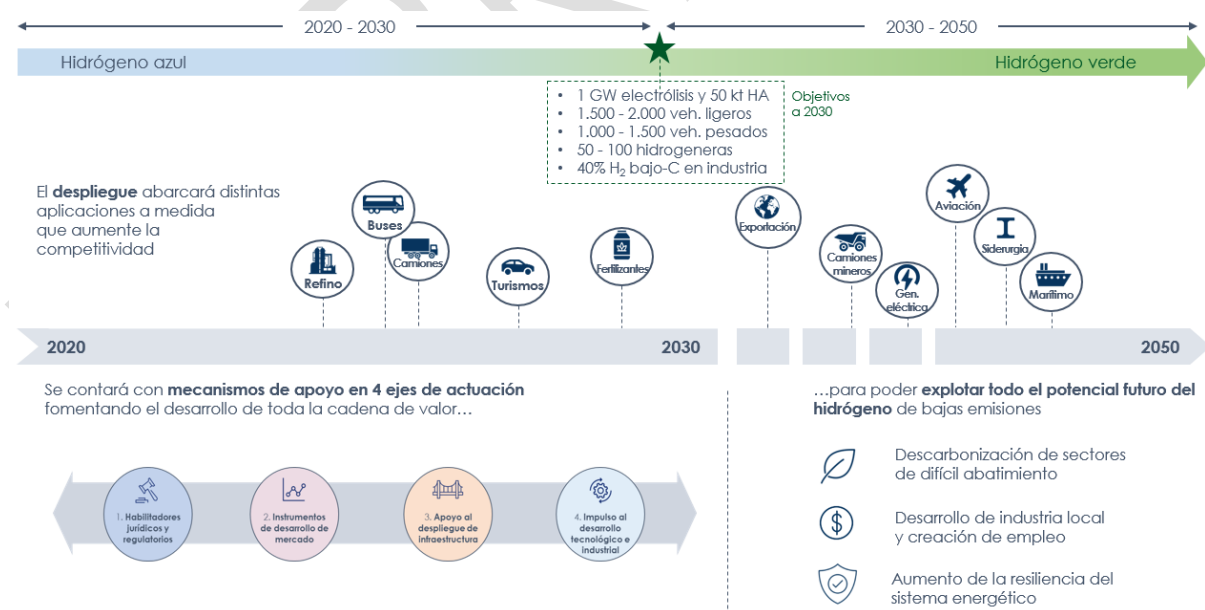


Figura 16: Estrategia nacional a 2050 en materia de hidrógeno de bajas emisiones

5. Nuestro compromiso enmarcado en 4 ejes

El Gobierno Nacional ha establecido 4 ejes de actuación sobre los cuales se han definido una serie de medidas e instrumentos orientados a garantizar el correcto desarrollo del mercado del hidrógeno de bajas emisiones. Será responsabilidad de los ministerios competentes velar por que las medidas definidas se apliquen y financien en base a las partidas presupuestarias y a los planes financieros existentes.

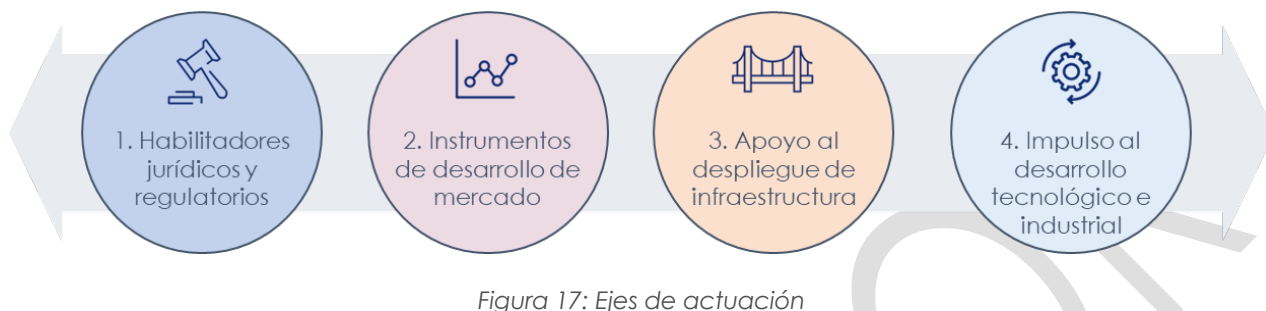


Figura 17: Ejes de actuación

1. **Habilitadores regulatorios:** Medidas orientadas a establecer un marco regulatorio claro, coherente y justo. En primer lugar, la regulación aplicable debe ser precisa y estable a fin de proporcionar certidumbre, fomentando así la inversión privada y el desarrollo de proyectos. Además, un régimen normativo y de fiscalización adecuado da lugar a una competencia justa entre vectores energéticos y empresas, permite velar por los intereses de todas las partes interesadas incluyendo usuarios finales, inversores, operarios y población, así como proteger el medioambiente.
2. **Instrumentos de desarrollo de mercado:** Mecanismos y herramientas destinados a incentivar la transición desde las soluciones convencionales basadas en combustibles fósiles a tecnologías limpias de hidrógeno, fomentando tanto la producción como el consumo de hidrógeno de bajas emisiones.
3. **Apoyo al despliegue de infraestructuras:** Acciones orientadas a facilitar el despliegue efectivo y coordinado de infraestructuras de transporte y distribución de hidrógeno, solventando así la que se considera una de las principales barreras al uso del hidrógeno en la actualidad. Estas acciones tendrán en cuenta la interacción con la infraestructura de transporte de electricidad y gas natural, así como las estaciones de servicio existentes en Colombia a fin de aprovechar sinergias y minimizar los costos del despliegue.
4. **Impulso al desarrollo tecnológico e industrial:** Medidas destinadas a garantizar el desarrollo de la industria de manera sostenible y con desarrollo de valor socioeconómico para el país. Estos instrumentos se apalancarán en los recursos técnicos e industriales existentes, impulsando el desarrollo tecnológico nacional y la elaboración de una normativa técnica que vele por la seguridad de todos.

5.1. Mapa de actuación

Para cada uno de los ejes mencionados se han definido varias líneas de trabajo, subnivel que permite entender los ámbitos de actuación en materia de hidrógeno sobre los que trabajarán los distintos órganos de administración nacionales durante la próxima década.

Se distinguen tres fases temporales en las que se abordarán las líneas de trabajo:

- **Fase 1. Sentar las bases del hidrógeno:** Acciones a realizar en el corto plazo (periodo inferior a 2 años), tales como definición de leyes o elaboración de estudios técnicos y planes de capacitación, con el objetivo de establecer unos cimientos sólidos para el correcto desarrollo del mercado.
- **Fase 2. Habilitar e impulsar el desarrollo del mercado:** Tareas orientadas a promover el uso del hidrógeno de bajas emisiones. Estas medidas serán llevadas a cabo en el corto/medio plazo (periodo inferior a 5 años). Las primeras medidas se enfocan a incentivar y mitigar el riesgo de los primeros participantes, mientras que las más tardías buscarán conseguir el escalado del hidrógeno a lo largo de toda la cadena de valor.
- **Fase 3. Monitorizar y habilitar nuevos usos:** Acciones a realizar en el medio/largo plazo (entre 5 y 10 años) con objeto de dar seguimiento y garantizar la correcta implementación de las medidas de los periodos anteriores, así como hacer posible la entrada del hidrógeno en aquellas aplicaciones de menor madurez.

A continuación, se muestra el mapa de líneas de trabajo, algunas afectan distintos ejes de actuación debido al carácter transversal y versatilidad del hidrógeno. En los apartados siguientes se recopilan las medidas concretas dentro de cada línea.

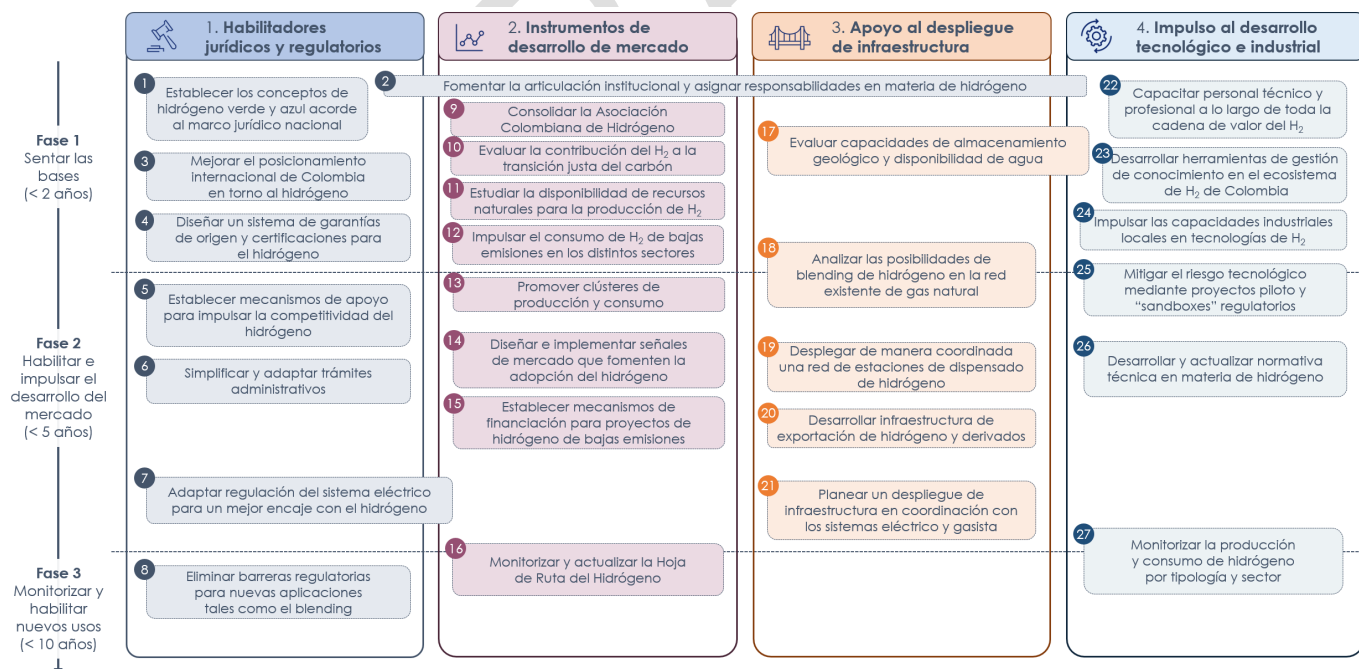


Figura 18: 4 ejes de actuación y 27 líneas de trabajo para el desarrollo del hidrógeno

5.2. Habilitadores regulatorios

Fase 1. Sentar las bases del hidrógeno

1. Establecer los conceptos de hidrógeno verde y azul acorde al marco jurídico nacional

- Consolidar las definiciones y taxonomía de hidrógeno verde y azul teniendo en cuenta las emisiones de CO₂ asociadas

La Ley 2099 de 2021 aprobada el 10 de julio de 2021 pretende modernizar la regulación actual en materia de energía, con el objetivo de lograr una transición energética efectiva y dinamizar el mercado energético. Una de las principales medidas que adopta es la reforma de la Ley 1715 de 2014, que representa la norma más relevante en Colombia en materia de fomento de fuentes no convencionales de energía (FNCE) y de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), y que contempla incentivos y beneficios fiscales para aquellos que realicen inversiones en estas fuentes. La nueva Ley incluye al hidrógeno verde y azul como FNCER y FNCE, respectivamente.

Esta inclusión permite aplicar los beneficios e incentivos tributarios a los proyectos de hidrógeno verde y azul, y proporciona claridad y certidumbre sobre el apoyo de las administraciones públicas colombianas al desarrollo del hidrógeno de bajas emisiones.

Cabe destacar que la Ley 1715 únicamente define al hidrógeno verde y azul desde el punto de vista tecnológico. El hidrógeno verde es considerado FNCER pudiendo ser producido a partir de fuentes tales como la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar o la mareomotriz. El hidrógeno azul es considerado FNCE y será aquel producido a partir de combustibles fósiles cuando se disponga de un sistema de captura, uso y almacenamiento de CO₂ (CCUS). No obstante, todavía se requiere una definición más precisa, no solo desde el punto de vista tecnológico, sino que contemple umbrales de emisiones de CO₂ para el hidrógeno. Este punto es abordado en la línea de trabajo número 4 sobre el sistema de garantías de origen y certificaciones.

2. Fomentar la articulación institucional y asignar responsabilidades en materia de hidrógeno

- Establecer mesas de trabajo para identificar y asignar competencias institucionales entre los distintos ministerios

En lo que concierne la organización institucional, el desarrollo de la industria del hidrógeno genera nuevas necesidades regulatorias y requiere la asignación de responsabilidades.

Debido al carácter transversal y el amplio rango de aplicaciones del hidrógeno, será crucial que la articulación tenga en cuenta todos los Ministerios relevantes en materia de hidrógeno tales como el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, el Ministerio de Transporte, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, entre otros.

El sector energético colombiano cuenta con un marco institucional robusto, en el que el Gobierno, a través de sus Ministerios, define los objetivos estratégicos y las directrices normativas para cada sector, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) desarrolla la planificación conjunta de largo plazo y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) elabora la regulación de los sectores energéticos.

La reciente Ley 2099 de 2021, mediante los artículos 21 y 23, abre una cláusula general de competencia al Gobierno Nacional para definir los mecanismos de para promover la innovación, investigación, producción, almacenamiento, distribución y uso de hidrógeno. Esto habilita un

escenario multi-actor, donde varias entidades del orden nacional jugarán un rol activo en la regulación y planeación del rol del hidrógeno en sus respectivos sectores.

En este contexto, se establecerán mesas de trabajo con los distintos agentes involucrados a fin de evaluar si la organización existente en materia de energía es válida también para el sector del hidrógeno de bajas emisiones. El elemento de mayor novedad es probablemente la integración de sistemas energéticos que el hidrógeno traerá consigo. Por este motivo, la actividad de cada institución y los intercambios entre ellas deberían considerar el acoplamiento entre los sectores eléctrico y gasista, teniendo en cuenta que los cambios normativos en un sector pueden tener repercusiones en otro.

3. Mejorar el posicionamiento y cooperación internacional de Colombia en torno al hidrógeno

- Explorar acuerdos internacionales de colaboración en torno al hidrógeno

Se considera esencial establecer acuerdos internacionales con otros países, tanto de carácter bilateral como multilateral, que tendrán por objetivo crear alianzas de cooperación en materia de hidrógeno. En una primera etapa los acuerdos se enfocarán al intercambio de conocimiento, tecnología y experiencias, para posteriormente explorar el co-desarrollo y la co-inversión en proyectos de consumo local y la exportación de hidrógeno o productos derivados.

Apoyándose en el Ministerio de Relaciones Exteriores y la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional, se utilizará la red actual de acuerdos comerciales de Colombia para explorar sinergias y oportunidades de cooperación. Además, se incentivará el diálogo con países cercanos para impulsar la cooperación regional y el posicionamiento de Latinoamérica en materia de hidrógeno.

- Fomentar la participación en foros y comités internacionales de hidrógeno

Se continuará promoviendo la participación de Colombia en mesas redondas con instituciones internacionales, tales como las que ya se han llevado a cabo con la Asociación Internacional de la Energía (IEA), la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Consejo Mundial de la Energía (WEC) o la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA).

La integración del país en plataformas internacionales que buscan acelerar la innovación, promover políticas y compartir experiencias en materia de hidrógeno será una prioridad para fomentar la adopción nacional de las mejores prácticas.

Se impulsará la participación de instituciones públicas y empresas privadas en los principales grupos de trabajo internacionales en materia de hidrógeno. Para ello, se dará apoyo institucional y financiero a aquellas empresas que muestren interés por posicionarse en estos foros.

Además del impulso a la participación en foros, se buscará la inclusión de empresas colombianas en los comités técnicos de desarrollo de normativa internacional y estándares de hidrógeno.

- Desarrollar campañas de divulgación del recurso renovable de Colombia y el potencial del hidrógeno verde local

Se dará a conocer al exterior el alto potencial renovable de Colombia con fines de atraer a empresas y capital extranjero para desarrollar proyectos de hidrógeno en el país.

Se debe dar a conocer mundialmente que regiones como La Guajira disponen de condiciones para la generación renovable excepcionales con una velocidad media del viento de 9 m/s (el doble del promedio mundial), y una radiación solar un 60% mayor que el promedio mundial. Además, Colombia está dentro de los 10 países que concentran el 46% de la oferta hídrica internacional.

4. Diseñar un sistema de garantías de origen y certificaciones para el hidrógeno

- Involucrar a Colombia en los grupos de trabajo internacionales para adquirir conocimiento

Con objeto de aprender de la experiencia internacional, se fomentará la participación en grupos de trabajo internacionales para adquirir conocimientos de otros sistemas de garantías de origen y certificaciones. En el caso de plataformas en las que la participación está restringida a ciertos países, se tratará de incluir a Colombia con el rol de observador.

Esta involucración permite adoptar las mejores prácticas internacionales, así como el desarrollo de un sistema de garantías y certificación nacional alineado con el de potenciales países importadores.

- Diseñar un sistema de garantías de origen a través de mesas de trabajo con la industria y demás partes interesadas

La reciente Ley 2099 de 2021 trae consigo la definición, desde un punto de vista tecnológico, del hidrógeno verde y azul como FNCER y FNCE, respectivamente. Este es un primer paso para definir y clarificar la visión nacional entorno a este nuevo vector energético. Sin embargo, se considera esencial diseñar un sistema de garantías de origen o seriación que, además de tener en cuenta la ruta de producción, considere el máximo de emisiones u otros factores ambientales para poder comercializar el hidrógeno como verde o azul.

Las garantías de origen y los certificados son uno de los aspectos más relevantes en la incipiente regulación del sector del hidrógeno, pues es indispensable elaborar un mecanismo que haga posible trazar con seguridad el origen y la reducción de emisiones que este vector permite alcanzar. Es necesario definir el procedimiento, los requisitos, así como el organismo responsable, para la emisión de garantías de origen. Este sistema proporcionará las señales de precio adecuadas a los consumidores finales y será la base para establecer futuros mecanismos de apoyo.

En este momento no existe un estándar internacional definido siendo el europeo el más avanzado. Por tanto, en esta fase se avanzará a nivel nacional en la asignación de responsabilidades y en la definición de los mecanismos de certificación más apropiados, los actores involucrados, el marco de gobierno y las formas mediante las cuales el esquema podría ser validado a nivel local e internacional. Esta definición se realizará en colaboración con la industria y demás agentes relevantes a través de mesas de trabajo específicas.

- Desarrollar una herramienta de monitorización del sistema de garantías de origen y certificaciones

Además de establecer un esquema de garantías de origen y certificación de hidrógeno, se deberá desarrollar un sistema que garantice una correcta monitorización, reporte y verificación de las mismas.

Fase 2. Habilitar y fomentar el desarrollo del mercado

5. Establecer mecanismos de apoyo para impulsar la competitividad del hidrógeno

- Implementar medidas de apoyo a la producción de hidrógeno de bajas emisiones

El elevado costo de producción actual es una de las principales barreras al desarrollo de proyectos de hidrógeno. Por este motivo, es necesario la identificación de incentivos que den seguridad a los inversores y permitan impulsar los primeros proyectos a escala piloto, para posteriormente, fomentar el desarrollo con tamaños mayores que puedan beneficiarse de economías de escala.

La Ley 2099 de 2021 incentiva la inversión en toda la cadena de valor del hidrógeno verde y azul, pues extiende las disposiciones del capítulo III de la Ley 1715 de 2014 a estos tipos de hidrógeno y, además, mejora los incentivos aplicables a las FNCE. Por tanto, las inversiones, los bienes, equipos y maquinaria destinados a la producción, almacenamiento, acondicionamiento y distribución gozarán de los beneficios de deducción en el impuesto de renta, exclusión de IVA, exención de aranceles y depreciación acelerada.

El Gobierno Nacional evaluará, a medida que avance el desarrollo del mercado, si los incentivos establecidos son suficientes o se requiere un impulso mayor. En caso de considerarse necesario, la Ley 2099, específicamente los artículos 21 y 23, permiten la definición de otros mecanismos o incentivos de apoyo para promover la innovación y el desarrollo de la industria del hidrógeno. Las medidas irán destinadas a incentivar el hidrógeno verde o azul frente al de origen fósil, o sobre aquel cuyo origen no se pueda trazar.

- **Implementar medidas de apoyo a la demanda doméstica de hidrógeno**

La falta de demanda constituye otra clara barrera al desarrollo de proyectos de hidrógeno tanto de producción como de infraestructura, dado que, para que los proyectos sean viables económicamente, deberán existir aplicaciones de uso final que den lugar a casos de negocio viables. Las medidas orientadas a fomentar la demanda dan lugar a un enfoque tecnológico más neutral, que podría ser más resiliente hacia innovaciones en el lado de la oferta.

Los incentivos de la Ley 2099 anteriormente mencionados para la producción son también de aplicación para el uso final y reelectrificación del hidrógeno. El Gobierno evaluará si se precisan mayores incentivos para que tenga lugar la transición desde las tecnologías basadas en combustibles fósiles a tecnologías de hidrógeno de bajas emisiones.

El fomento de la demanda doméstica favorecerá el desarrollo temprano de la industria, permitiendo ganar la experiencia y los conocimientos necesarios para poder aprovechar en el futuro todo el potencial subyacente al hidrógeno.

- **Definir los bienes, equipos y maquinaria de hidrógeno que puedan ser certificados para acceder a los beneficios de la Ley 2099 de 2021**

La UPME debe certificar los proyectos de inversión en FNCE para que quienes inviertan en este tipo de proyectos accedan a los incentivos tributarios y arancelarios de la Ley 2099.

Con la inclusión del hidrógeno verde y azul como FNCE, se establece que las inversiones, los bienes, equipos y maquinaria destinados a hidrógeno verde y azul podrán gozar de los beneficios de deducción en el impuesto de renta, exclusión de IVA, exención de aranceles y depreciación acelerada, cuando la UPME los certifique.

Para dar cumplimiento a este nuevo rol de la UPME, será necesario establecer una lista de bienes, equipos y maquinaria para la producción, almacenamiento, acondicionamiento, distribución, reelectrificación, investigación y uso final del hidrógeno verde o azul.

- **Actualizar la guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 2099 al hidrógeno**

Con la colaboración del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), se actualizará la guía práctica desarrollada para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014¹⁹.

¹⁹ UPME (2016): Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014

Esta actualización actualizará los incentivos a los indicados por la nueva Ley 2099 de 2021, la cual modifica positivamente los incentivos de la Ley 1715, y pondrá foco en mostrar la aplicabilidad de los incentivos al hidrógeno verde y azul.

6. Simplificar y adaptar trámites administrativos

- Revisar los permisos y procedimientos para la ejecución de proyectos de hidrógeno incluyendo aspectos ambientales y usos de suelo

Actualmente, la producción y manejo de hidrógeno es considerada una actividad industrial dado que el hidrógeno se clasifica como una mercancía o sustancia peligrosa. Esto implica las actividades relacionadas con el hidrógeno están sometidas a rigurosas evaluaciones de impacto ambiental, principalmente la actividad de almacenamiento, independientemente de la fuente empleada para su producción.

En este contexto, y considerando el impacto ambiental positivo del hidrógeno de bajas emisiones, se llevará a cabo una revisión de los permisos y trámites necesarios para la puesta en marcha y operación de proyectos, a fin de facilitar, en la medida de lo posible, su desarrollo. En materia ambiental, en este punto es importante mencionar que al hidrógeno verde y azul ser catalogadas como FNCER y FNCE respectivamente, les es aplicable el régimen especial establecido en la ley 1715, donde la Autoridad Ambiental Nacional (ANLA) y Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) están llamadas a establecer un ciclo de evaluación rápido para proyectos de FNCE. Se recomienda que estas autoridades ambientales realicen estudios que para cuantificar los impactos ambientales de este tipo de proyectos, analizar los trámites ambientales que requerirán este tipo de proyectos y eliminar los trámites innecesarios para agilizar la obtención de permisos y licencias ambientales.

Asimismo, se recomienda que los municipios incluyan dentro de los Esquemas de Ordenamiento Territorial los sitios dentro de su territorio donde se pueden establecer proyectos de hidrógeno. Recordemos que la ley 1715 de 2014 declara las actividades de producción y utilización de FNCE como de utilidad pública e interés social, por lo que tiene primacía en lo referente a ordenamiento territorial y esta declaratoria, gracias a la ley 2099 de 2021, es extensible a proyectos de hidrógeno verde y azul. Se recomienda que las entidades territoriales analicen las normas básicas de edificación y usos de suelo de una manera que favorezcan el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde y azul en su territorio.

- Reducir los trámites administrativos para proyectos de hidrógeno de bajas emisiones

Se promoverán medidas regulatorias que simplifiquen y faciliten el desarrollo de proyectos de hidrógeno azul y verde. Entre estas medidas se encuentran la aprobación conjunta de proyectos, la simplificación de trámites para el despliegue de líneas de conexión directa entre plantas renovables dedicadas y electrolizares y la construcción de hidroductos o acondicionamiento de gasoductos existentes.

Para el caso particular del hidrógeno verde en el que es preciso abordar el desarrollo de proyectos conjuntos de FNCER dedicados para la producción de electricidad renovable (eólica y/o solar fotovoltaica) y de electrólisis para la producción de hidrógeno, será necesario un abordaje conjunto de su tramitación. Este nuevo enfoque podrá reducir retrasos en el procedimiento administrativo, el cual representa una barrera para la inversión y el despliegue de las FNCER.

Esta adaptación requiere una modificación de la regulación a nivel sectorial, la cual se llevará a cabo evitando poner en riesgo la sostenibilidad financiera del sistema eléctrico y gasista actual.

7. Adaptar regulación del sistema eléctrico para un mejor encaje con la producción de hidrógeno

- Permitir la participación de electrolizadores en servicios de flexibilidad de red

La regulación del sistema eléctrico será actualizada para permitir la provisión de servicios de flexibilidad (servicio de AGC o participación en el cargo por confiabilidad) por parte de los electrolizadores siempre que la tecnología cumpla con los requisitos técnicos exigidos. Estos servicios por un lado aumentarán la resiliencia del sistema eléctrico ante un escenario de alta penetración de FNCER no gestionables y, por otro lado, proporcionarán a los proyectos de electrólisis ingresos adicionales abaratando el costo final de producción de hidrógeno.

- Garantizar una fiscalidad energética justa

Para mejorar la competitividad del hidrógeno se considera esencial que la fiscalidad energética garantice una competencia justa entre vectores, eliminando, por ejemplo, los impuestos que gravan la electricidad colombiana para los retiros de los electrolizadores.

Fase 3. Monitorizar el desarrollo y permitir nuevos casos de uso

8. Eliminar barreras regulatorias para nuevas aplicaciones tales como el “blending”

- Revisar y actualizar el RUT para permitir el “blending”

El transporte de gas natural en Colombia está regulado por Reglamento Único de Transporte (RUT), el cual, a pesar de no prohibir explícitamente la inyección de hidrógeno, establece unos parámetros mínimos de calidad del gas que resultarían imposibles de cumplir si se inyectasen mezclas de hidrógeno en la red.

Por este motivo, en el caso de considerarse la posibilidad de admitir mezclas de hidrógeno en la red gasista será necesario modificar el RUT. Este proceso de rectificación podría ser iniciado por el Consejo Nacional de Operación de Gas Natural (CON-Gas) o por la CREG, quienes, tras revisar la experiencia nacional e internacional, podrán hacer propuestas de reforma, teniendo en cuenta las observaciones de todos los agentes involucrados.

La revisión del RUT deberá contemplar también la posible inyección de gas natural sintético obtenido a través de hidrógeno de bajas emisiones. La inyección de este gas sintético es considerada como una herramienta transitoria que puede ayudar a aumentar el consumo de hidrógeno de bajas emisiones mediante su transformación en un producto derivado que puede ser inyectado en la red de gas natural cumpliendo los requisitos actuales del RUT.

5.3. Instrumentos de desarrollo de mercado

Fase 1. Sentar las bases del hidrógeno

9. Consolidar la Asociación Colombiana de Hidrógeno

- Fortalecer el tejido industrial mediante la colaboración de actores relevantes

La consolidación de la Asociación de Hidrógeno de Colombia es necesaria para promover e impulsar el desarrollo y el crecimiento de las tecnologías del hidrógeno a nivel nacional y poner en valor y fortalecer el tejido industrial del país.

Mediante la participación de socios de toda la cadena de valor (academia, promotores de proyectos de energías renovables, ingenierías, fabricantes de equipos, empresas de transporte,

industrias, etc.) será posible construir un entorno favorable y lograr una industria nacional fuerte con visión internacional.

La asociación ha de ser el punto de encuentro del sector agrupando a las empresas, instituciones, centros tecnológicos y universidades con actividades relacionadas con el hidrógeno. Uno de los principales objetivos será compartir mejores prácticas y promover leyes y normativa para la regulación del hidrógeno. Además, se buscarán acuerdos con otras asociaciones que presenten sinergias y se elaborarán grupos de trabajo para detectar y solventar brechas que frenen el desarrollo del mercado.

10. Evaluar la contribución del hidrógeno a la transición justa del carbón

- Analizar la viabilidad de transición de plantas de carbón hacia producción de hidrógeno azul

La reestructuración de la demanda global de carbón debido a los objetivos de descarbonización, que implican una reducción acelerada en sus usos en algunos mercados (principalmente en Europa y Norteamérica), impactarán negativamente en la demanda y los precios de las exportaciones.

En este contexto, se realizarán estudios para evaluar la viabilidad comercial del uso de plantas carboníferas para la producción de hidrógeno. El hidrógeno azul a partir de carbón se presenta como una posible alternativa para la transformación de las compañías mineras hacia la utilización más sostenible de los recursos.

- Desarrollar un plan de transformación del capital humano para acelerar el despliegue del hidrógeno

La descarbonización de la economía requerirá nuevos trabajos, conocimientos y competencias. El aprovechamiento del capital humano existente en sectores impactados por el proceso de transición energética y la actualización de sus conocimientos y competencias será un objetivo para el gobierno nacional, agentes sociales, empresas y academia y habilitará una transición justa.

Se evaluará el rol del hidrógeno como herramienta de transformación, permitiendo la reubicación de trabajadores a los sectores de las energías renovables o el hidrógeno. Para ello será necesario una colaboración con el sector privado para detectar las necesidades de personal en estos nuevos sectores y formar a los profesionales en tecnologías tales como la solar, la eólica, la electrólisis o la captura y almacenamiento de CO₂.

11. Estudiar la disponibilidad de recursos naturales para la producción de hidrógeno de bajas emisiones en Colombia

- Cuantificar el potencial renovable en los distintos departamentos de Colombia

Se impulsará el desarrollo de herramientas para la toma de decisiones en materia de recurso renovable, tales como los atlas climatológicos y mapas de radiación y viento realizados por IDEAM y UPME. Estos estudios facilitarán la identificación de las zonas de recurso renovable óptimo y estarán disponibles para facilitar a las empresas el desarrollo de proyectos.

En lo relativo al potencial renovable, actualmente se conoce de potencial en la región de La Guajira, donde el potencial eólico terrestre es de más 20 GW y el solar alcanza los 42 GW. Aunque La Guajira es la región que presenta el mejor recurso renovable y, en consecuencia, el costo nivelado del hidrógeno más competitivo, el análisis y desarrollo del potencial de otras regiones permitirá abastecer el mercado nacional y exportaciones en el largo plazo, además de disminuir los costos de transporte al producir el hidrógeno en zonas más próximas a su consumo.

En este contexto, se fomentarán estudios para cuantificar el potencial renovable en otras regiones, teniendo en cuenta también nuevas tecnologías como la eólica off-shore, con el objetivo de determinar el potencial de producción de hidrógeno verde total. Esto permitiría tomar las decisiones adecuadas con respecto al balance entre la producción de hidrógeno destinada al consumo nacional y el hidrógeno producido con fines de exportación.

- **Evaluar el impacto del hidrógeno azul en el abastecimiento de gas natural de Colombia**

El hidrógeno azul aparece como una herramienta transitoria para una descarbonización temprana, pero cuya producción precisa del consumo de combustibles fósiles, bien sea carbón o gas natural. Por este motivo, y teniendo en cuenta que Colombia es un país con grandes reservas de carbón (el carbón no supone un factor limitante para el país), se evaluará la viabilidad de desarrollar un suministro local de gas natural que pueda ser dedicado a la producción de hidrógeno azul, ya que la producción con gas natural de importación no se considera competitiva. Además, se analizará la demanda de gas natural estimada para asegurar que potenciales incrementos en la demanda no comprometen el abastecimiento para otros usos.

12. Impulsar el consumo de hidrógeno de bajas emisiones en los distintos sectores

- **Fomentar el consumo de hidrógeno de bajas emisiones en la industria**

EL mercado del hidrógeno se dirigirá hacia aquellos los sectores donde no existen otras alternativas para la descarbonización. El uso actual del hidrógeno en Colombia se concentra en sectores industriales como el de refinación, los fertilizantes y la industria química. Debido a la compatibilidad de la infraestructura, que minimiza la inversión necesaria para la adopción del hidrógeno de bajas emisiones, se consideran estos sectores como los más propensos a la utilización de hidrógeno de bajas emisiones en el corto/medio plazo. No obstante, el hidrógeno tiene cabida en muchas otras industrias donde puede ser utilizado como materia prima o para la producción de calor.

Se llevarán a cabo mesas técnicas con asociaciones, representantes del sector privado y ministerios, especialmente el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, a fin de evaluar el establecimiento de objetivos de penetración de hidrógeno de bajas emisiones en algunos sectores industriales, especialmente en aquellos que no se prestan a la electrificación y no presenten alternativas sostenibles costo-eficientes. Estos objetivos irán acompañadas de mecanismos de apoyo destinados a facilitar la inversión privada, protegiendo en todo momento la competitividad industrial del país.

Entre los mecanismos de apoyo se destaca la necesidad de diseñar e implementar mecanismos de financiación que faciliten la adaptación de procesos y equipos al consumo de hidrógeno.

Por último, se impulsará la elaboración de estudios por subsector, que permitan entender y diseñar estrategias de descarbonización a largo plazo. Por ejemplo, mientras que en el sector residencial hay algunos equipos certificados para el uso de mezclas de hidrógeno y metano, el sector industrial destaca por contar con un gran número de aplicaciones que no han sido evaluadas en detalle. Por tanto, se considera que algunos productores químicos que utilizan gas natural como materia prima podrían necesitar ajustar sus procesos si se comenzase a inyectar hidrógeno en la red gasista.

- **Realizar de planes de penetración de hidrógeno de bajas emisiones en el transporte terrestre, marítimo y aéreo**

Se prevé una gradual aceleración en la introducción de hidrógeno en el transporte derivada del crecimiento en la demanda energética y a los, cada vez más exigentes, objetivos de descarbonización.

En lo relativo al transporte terrestre, el hidrógeno contribuirá a la Estrategia Nacional de Movilidad Sostenible de Colombia, ayudando a la mejora de la calidad del aire, evitando la generación de dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas e hidrocarburos sin quemar. Se prevé una importante contribución en los sistemas masivos de transporte público, el transporte pesado de mercancías y en los vehículos ligeros de uso intensivo como los taxis.

En este proceso es crucial la participación de los gobiernos locales que, a través de la renovación de la flota del transporte público, pueden impulsar la adopción del hidrógeno en el transporte terrestre fomentando así el despliegue de infraestructura de recarga.

En el transporte aéreo, fluvial y marítimo se plantea una posible coordinación con entidades y reguladores internacionales como la Organización Marítima Internacional (IMO) o la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) para realizar un plan de descarbonización de estos sectores a nivel nacional. Con respecto al transporte marítimo, la IMO ha adquirido un compromiso de reducción del 50% de las emisiones a 2050 respecto a los niveles de 2008. La IATA establece una reducción de emisiones del 50% a 2050 con respecto a los niveles de 2005.

- **Identificar barreras para el consumo de hidrógeno en sectores residencial y terciario**

El sector de los edificios, tanto residencial como terciario, podrá ser un consumidor de hidrógeno bien mediante el uso de pilas de combustible de pequeña escala para micro-cogeneración o mediante la combustión de hidrógeno en los equipos conectados a la red de gas natural para producción de calor. Mientras que el primer caso se considera poco probable por sus altos costos frente a la electrificación, la inyección de hidrógeno en la red de gas es percibida como una opción transitoria que permite fomentar el escalado de la producción de hidrógeno de bajas emisiones.

No obstante, el impulso en estos sectores requiere la realización previa de estudios que determinen las consideraciones técnicas, de seguridad y de disponibilidad de equipos adaptados para la operación con mezclas elevadas de hidrógeno.

- **Desarrollar un programa de socialización abierta en materia de hidrógeno acercando estas tecnologías a las comunidades**

El hidrógeno es un gas de difícil manipulación cuyo rango de aplicaciones actuales se limita a unos pocos sectores industriales que lo consumen como materia prima. Sin embargo, la reducción de costos de producción y el desarrollo de tecnologías permitirán su uso en nuevos sectores y le convierten en uno de los pilares de la transición energética.

No obstante, actualmente existe un alto grado de desconocimiento, tanto social como profesional, sobre sus posibilidades de aplicación y ventajas asociadas, lo que dificulta la aceptación del mismo como una alternativa sostenible y segura.

Se promoverán estrategias y campañas de comunicación con la ciudadanía y potenciales industrias y empresas consumidoras, con el fin de acercar el potencial y beneficios del hidrógeno a toda la sociedad colombiana, reduciendo el riesgo percibido y dando a conocer las oportunidades de descarbonización e industrialización que presenta.

Se tendrá un diálogo temprano y cercano con grupos de interés con el fin de conocer el potencial de la región y los beneficios, identificando también los riesgos y posibles medidas de acción a implementar. El diálogo dará como resultado una mejor comprensión de la realidad que se quiere intervenir al tomar en cuenta la experiencia de la población, fomentando el desarrollo de proyectos de manera sostenible tanto ambiental como socialmente.

Fase 2. Habilitar y fomentar el desarrollo del mercado

13. Promover clústeres de producción y consumo

- Identificar áreas que aglomeren potenciales consumidores y productores de hidrógeno

Se llevarán a cabo talleres y mesas de trabajo con la participación de administraciones públicas departamentales, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), potenciales empresas consumidoras de hidrógeno y promotores de proyectos con el objetivo de definir aquellas regiones con capacidad para convertirse en clústeres de hidrógeno.

Se consideran clústeres aquellas áreas del país que, por su desarrollo industrial o su cercanía a puertos u otras infraestructuras relevantes para la cadena de suministro del hidrógeno, demandarían grandes volúmenes de hidrógeno mediante el agregado de consumos.

Entre las regiones a considerar destacan: Barranquilla y Cartagena (con el complejo industrial de Mamonal), Bogotá, Medellín, Bucaramanga y zonas de Manizales, Pereira, Armenia, Ibagué y Barrancabermeja, entre otros. No obstante, todos los territorios de Colombia podrán ser considerados si administraciones y empresas permiten agrupar una demanda suficiente. Además, se evaluará la posibilidad de promover la creación de estos clústeres en zonas que se estén viendo afectadas negativamente por el proceso de transición energética, como pueden ser, por ejemplo, las regiones mineras.

- Fomentar la cooperación regional entre empresas y agentes públicos para ganar economías escala

Una vez se identifiquen las regiones y actores interesados en el hidrógeno, se impulsará el desarrollo de proyectos de tamaño relevante, que puedan beneficiarse de economías de escala y facilitar un suministro de hidrógeno competitivo.

No obstante, se debe tener en cuenta que muchas tecnologías fundamentales para la economía del hidrógeno necesitan terminar su desarrollo y existen riesgos significativos a su implementación. Por este motivo, se impulsará la colaboración público-privada a fin de facilitar la movilización de las inversiones privadas que se necesitan para el despliegue inicial de estas tecnologías.

14. Diseñar e implementar señales de mercado que fomenten la adopción del hidrógeno

- Diseñar un sistema de precio a las emisiones e implementar el Programa Nacional de Cupos Transables de Emisión

Un elemento clave para la creación de una demanda interna de hidrógeno de bajas emisiones es la fijación de un precio al carbono que refleje las externalidades del uso de combustibles fósiles. Este mercado de emisiones, previsto en forma de cupos transables de emisión, ya se encuentra en fase de elaboración bajo las competencias del Ministerio de Medioambiente.

Se establecerá una mesa técnica que involucre actores públicos y privados, para discutir una tarificación justa a las emisiones. Además, se tendrán en cuenta la experiencia de otras geografías, así como las recomendaciones internacionales de instituciones como el Fondo Monetario Internacional (FMI) o la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) sobre tasas efectivas al carbono.

15. Establecer mecanismos de financiación para proyectos de hidrógeno de bajas emisiones

- Diseñar nuevos instrumentos de financiación público-privada

La producción de hidrógeno de baja huella requiere inversiones iniciales elevadas, tanto si se trata de hidrógeno verde como azul. A pesar de que, en general, las tecnologías de captura de CO₂, generación renovable y electrolizadores pueden considerarse en fase avanzada de desarrollo, aún no son totalmente maduras en términos de costos esperándose reducciones en los próximos años. Por este motivo, se considera esencial desarrollar nuevos mecanismos de financiación que aceleren el despliegue de estas tecnologías.

Además de los fondos del FENOGÉ y los incentivos tributarios vigentes, se evaluarán otros instrumentos como préstamos de bajo interés, emisión de bonos verdes por parte de las empresas nacionales o rondas de financiamiento público exclusivo para proyectos de hidrógeno de bajas emisiones. Este financiamiento buscará apoyar a empresas y consorcios nacionales e internacionales para el desarrollo de proyectos en el país.

Además de los mecanismos existentes, la Ley 2099 autoriza al Gobierno Nacional a financiar, con aportes del Presupuesto General de la Nación y el Sistema General de Regalías, la participación de las entidades territoriales en los proyectos de generación, distribución, comercialización de FNCER, entre las cuales se incluye el hidrógeno verde.

- **Atraer financiación internacional**

La cooperación internacional es considerada una herramienta fundamental para incentivar la inversión en proyectos de hidrógeno en Colombia. Por este motivo, se promoverá la creación de consorcios formados por empresas nacionales extranjeras.

Se aprovecharán las oportunidades otorgadas por instituciones y programas multilaterales e internacionales. Se considera crucial apalancarse en estas instituciones e iniciativas para poder desarrollar los estudios y proyectos piloto de hidrógeno que se requieren a nivel nacional.

La cooperación internacional se apoyará en instituciones nacionales como el Ministerio de Relaciones Exteriores, la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional de Colombia y ProColombia, las cuales jugarán un papel fundamental para poner en valor la red de acuerdos comerciales de Colombia y establecer colaboraciones con embajadas y gobiernos en otros países.

Fase 3. Monitorizar el desarrollo y permitir nuevos casos de uso

16. Monitorizar y actualizar la Hoja de Ruta del Hidrógeno

- **Revisar la evolución tecnológica y la consecución de los objetivos del país**

Al encontrarse la industria del hidrógeno de bajas emisiones en un estado de desarrollo incipiente, es de esperar que tengan lugar cambios relevantes en el futuro a nivel de tecnologías y mercados, debiendo adaptarse la política energética.

Será necesario la revisión periódica de la Hoja de Ruta con una frecuencia mínima de 3 años. Esta revisión y actualización permitirá determinar el grado de implantación de las medidas, la cuantificación de su impacto y la adaptación de los objetivos establecidos inicialmente.

5.4. Apoyo al despliegue de infraestructura

Fase 1. Sentar las bases del hidrógeno

17. Evaluar capacidades de almacenamiento geológico y disponibilidad de agua

- **Realizar estudios de potencial para el almacenamiento geológico de CO₂**

De acuerdo con la Ley 2099 de 2021, el Gobierno Nacional desarrollará la reglamentación necesaria para la promoción y desarrollo de las tecnologías de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS). En este contexto, se considera esencial estudiar y validar las zonas y las tecnologías más adecuadas de CCUS para impulsar el desarrollo de hidrógeno azul. Por este motivo, se fomentarán los estudios destinados a analizar, por un lado, el potencial geológico en yacimientos fósiles agotados, acuíferos, cavernas de sal u otros contenedores naturales y, por otro lado, las tecnologías más eficientes para la captura e inyección.

La disponibilidad de tecnologías y para la inyección de CO₂ es crítica para el desarrollo del hidrógeno azul y un desarrollo tardío de estas soluciones impactaría en los tiempos de despliegue del hidrógeno azul como puente hacia el hidrógeno verde pudiendo ser sustituido por este.

- Realizar estudios de potencial para el almacenamiento geológico de hidrógeno

En línea con la medida anterior, los mismos estudios realizados para el almacenamiento geológico de CO₂ permitirán evaluar las posibilidades de almacenamiento de hidrógeno y las tecnologías más eficientes para llevarlo a cabo. Este almacenamiento a gran escala permitiría disponer de grandes reservas energéticas renovables de carácter estacional, que ayudarán a mitigar el impacto de fenómenos climatológicos como El Niño o La Niña.

- Evaluación del stress hídrico en Colombia y fomento del desarrollo e implementación de tecnologías de desalinización

En colaboración con universidades, laboratorios y entidades públicas, se llevarán a cabo estudios regionales de estrés hídrico por la producción de hidrógeno verde a gran escala.

Se impulsará la investigación ya iniciada por universidades y grupos de investigación del país, tales como la Universidad Nacional de Colombia, que busca promover el uso de tecnologías de desalinización. Estas tecnologías permitirán por un lado acabar con la escasez de agua para el consumo de las comunidades locales y, por otro lado, disponer del agua necesaria para la producción de hidrógeno electrolítico.

Fase 2. Habilitar y fomentar el desarrollo del mercado

18. Analizar las posibilidades de “Blending” de hidrógeno en la red existente de gas natural

- Determinar el porcentaje de mezcla de hidrógeno admisible por la red de gas

La experiencia internacional muestra el “blending” como una herramienta viable para fomentar la producción de hidrógeno, valorizar la infraestructura gasista existente y disminuir costos de transporte. Con el fin de evaluar las opciones de “blending” del país, se llevarán a cabo análisis regionales, en colaboración con las empresas gasistas, para determinar los volúmenes máximos de hidrógeno admisibles por la red colombiana.

Se analizarán las necesidades de adaptación de la red de gas (capacidad adicional de compresión, revestimiento interior de las tuberías, adecuación de las estaciones de medición, etc.) para permitir el “blending” sin comprometer la calidad de suministro y la fiabilidad de la infraestructura. Esto podrá llevar a la eventual modificación del RUT, Resolución CREG 071 de 1999, como se indicó en la línea de trabajo 8 sobre la eliminación de barreras regulatorias.

Los análisis partirán de las experiencias y mejores prácticas internacionales, las cuales muestran que la red existente puede llegar a tolerar mezclas de hidrógeno del 5-10% sin necesidad de modificaciones relevantes, y se buscará la cooperación con otros países más avanzados en la materia para simplificar los pilotos a realizar y ahorrar costos. Además, deberá realizarse un

inventario de los diferentes elementos de las redes existentes susceptibles de verse afectados por la presencia de hidrógeno de cara a definir un plan de actualización.

Se estudiará también la posibilidad del reacondicionamiento de ciertos gaseoductos para el transporte de hidrógeno a bajo costo. Por ejemplo, la región de La Guajira cuenta con gran recurso renovable y con una infraestructura de gas con baja utilización debido a la caída de reservas en los yacimientos cercanos. Por tanto, estos gasoductos en desuso podrán ser acondicionados para el transporte de hidrógeno renovable a regiones próximas con gran demanda como Cartagena.

19. Desplegar de manera coordinada una red de estaciones de dispensado de hidrógeno

- Planear y monitorizar el desarrollo de infraestructura de recarga de hidrógeno

La falta de infraestructura de recarga de hidrógeno es una barrera para iniciar el despliegue de la movilidad cero emisiones con hidrógeno. Por otro lado, la falta de vehículos propulsados por hidrógeno desincentiva la inversión en estaciones de dispensado por su difícil rentabilización.

Por este motivo, se considera esencial apoyar el despliegue de infraestructura de recarga de hidrógeno para su uso como combustible y hacerlo de manera coordinada con el despliegue esperado de flota.

Se planificará una red de al menos 20 estaciones de dispensado de hidrógeno de acceso público por cada 1.000 vehículos de pila de combustible. Se tratará de aprovechar la red existente de estaciones de servicio, principalmente aquellas situadas en lugares fácilmente accesibles, y se repartirán por las zonas de mayor tránsito de vehículos manteniendo la máxima distancia posible entre cada estación de dispensado. Para lo anterior, el Ministerio de Minas y Energía de acuerdo con la competencia establecida en el artículo 9 de la ley 1964 de 2019, podrá reglamentar las condiciones necesarias para que en las estaciones de servicio se amplíe la oferta de servicios e incluya infraestructura de recarga de hidrógeno.

Las primeras hidrogeneras se ubicarán en localizaciones estratégicas que garanticen la demanda. Entre estas ubicaciones destacan estaciones de repostaje en ciudades con gran número de población, en las que existan flotas de taxis o autobuses intermunicipales; y rutas comerciales terrestres, donde se impulsarán los llamados corredores de hidrógeno con un elevado tránsito de vehículos pesados de carga y pasajeros.

- Desarrollar una legislación específica para hidrogeneras

Recientemente el Ministerio de Minas y Energía expidió la Resolución 40223 del 9 de julio de 2021, donde establece las condiciones mínimas de estandarización y de mercado para la implementación de infraestructura de recarga para vehículos eléctricos. Sin embargo, esta resolución solo hace referencia a los vehículos puramente eléctricos. En lo relativo a los vehículos de pila de combustible, el Ministerio deberá expedir reglamentación técnica que tenga en cuenta las características específicas de las infraestructuras de dispensado de hidrógeno.

El Ministerio expedirá la reglamentación técnica de acuerdo con la competencia que le otorga el artículo 9 de la Ley 1964 de 2019 y el artículo 6 de la ley 1715 de 2014, en la cual concretará los requisitos administrativos y establecerá los permisos necesarios para su construcción y gestión. Para tal fin, se tomarán como referencia las normas internacionales existentes en materia de hidrogeneras tales como las ISO 13984, ISO 17268, ISO 19880-1, SAE J26201 o SAE J2799.

20. Desarrollar infraestructura de exportación de hidrógeno y derivados

- Elaborar un plan de despliegue de infraestructura de exportación y puertos de acuerdo con la demanda internacional esperada y ambición de exportación

Colombia puede convertirse en un actor relevante en términos de generación y exportación de energía renovable debido a las buenas condiciones climáticas, a la gran superficie disponible para la instalación de plantas renovables y electrolizadores, y a su posicionamiento geoestratégico entre dos océanos.

Para poder aprovechar todo el potencial de país, se impulsarán estudios y planes de desarrollo de infraestructuras portuarias. Los análisis irán destinados a la habilitación y adaptación de los puertos del país para la exportación de hidrógeno. Entre los puertos más relevantes de Colombia en lo relativo a la exportación e importación de combustibles se encuentran Cartagena, Buenaventura, Coveñas y Tumaco. Además, el país cuenta con puertos ubicados en zonas de alto recurso renovable como Puerto Brisa en la región de La Guajira. En los puertos seleccionados se contemplará el desarrollo de infraestructura de acondicionamiento, transformación y almacenamiento de hidrógeno.

El transporte por barco de hidrógeno se hará en forma de hidrógeno líquido o mediante portadores tales como amoníaco, metanol y portadores orgánicos líquidos. Entre estos destaca el amoníaco por ser un compuesto utilizado de forma común en numerosos procesos, producirse a escala industrial con tecnologías maduras y disponer de normativa técnica y estándares consolidados. El puerto de Cartagena ya cuenta con infraestructura para la gestión de exportaciones e importaciones de amoníaco.

- **Impulsar el rol de Colombia como potencial hub logístico en el Caribe**

Además de encontrarse ubicada estratégicamente entre dos océanos, Colombia se encuentra muy próxima a vías de gran tránsito marítimo como el Canal de Panamá. En este contexto, se analizará la posibilidad de convertir el norte del país en un hub de distribución de hidrógeno en el Caribe. Además, el hidrógeno podría ser convertido a derivados como el amoníaco o metanol que pueden utilizarse como combustible marino para transporte nacional e internacional.

Para evaluar la viabilidad del plan, se impulsará la colaboración con aquellos países del Caribe que también se encuentren interesados en explorar y aprovechar esta oportunidad.

21. Planear un despliegue de infraestructura en coordinación con los sistemas eléctrico y gasista

- **Analizar la adecuación de la infraestructura eléctrica existente con respecto a la producción de hidrógeno verde**

Gran parte del potencial renovable de Colombia se encuentra ubicado en zonas en las que la red eléctrica se encuentra en fase de expansión, tales como La Guajira. Aunque en estas zonas se optará por favorecer la conexión directa entre plantas de producción de electricidad renovable y electrolizadores, se deberá también contar con una infraestructura eléctrica que permita aprovechar los vertidos excedentes de las plantas renovables, así como abastecer consumos en horas de baja producción renovable.

Por otro lado, si se opta por la instalación de electrolizadores en regiones de menor recurso renovable pero con acceso a la red eléctrica, siendo estos electrolizadores abastecidos total o parcialmente con electricidad de la red, se deberá analizar el impacto de estas cargas en el sistema eléctrico.

- **Evaluar las ventajas obtenibles por la integración de sistemas ("sector coupling")**

El "sector coupling", entendido como la integración del desarrollo de las infraestructuras de gas y electricidad, es considerado una de las herramientas claves para lograr una descarbonización

gracias el menor costo de transporte del gas en comparación con la electricidad y a la posible planeación conjunta de infraestructura.

El hidrógeno permite aumentar el grado de acople entre los sectores gasista y eléctrico, sectores que aunque llevan mucho tiempo conectados, lo están únicamente en una dirección: el consumo de gas para producción de electricidad. Sin embargo, la electrólisis permite el acople también en la otra dirección, al permitir que la energía eléctrica sea transformada en forma de hidrógeno gaseoso que puede almacenarse y transportarse aprovechando la infraestructura gasista.

No obstante, los beneficios obtenidos por el acople entre sistemas conllevan una mayor dificultad de planeación. Por este motivo, se impulsará la inclusión del rol del hidrógeno dentro de los planes de expansión del sistema eléctrico y del gasista elaborados por la UPME.

La UPME desempeña la planeación centralizada de infraestructura coordinado a los distintos agentes y fomentando un desarrollo eficiente de infraestructura eléctrica y de gas, pero sin tener todavía en cuenta el rol del hidrógeno como elemento de acople entre ambos sectores.

Por tanto, se desarrollará política pública con el objetivo de incluir los estudios de acoplamiento de sectores dentro de un marco normativo que le asignase esta tarea a la UPME.

5.5. Impulso al desarrollo tecnológico

Fase 1. Sentar las bases del hidrógeno

22. Capacitar personal técnico y profesional a lo largo de toda la cadena de valor del hidrógeno

- Incluir el hidrógeno en los planes de formación existentes

En colaboración con las instituciones educativas nacionales, se impulsará la inclusión de las tecnologías del hidrógeno dentro de los planes educativos y titulaciones existentes, tanto de formación profesional como técnica, que tengan relación temática con el hidrógeno.

- Formar y certificar personal local en materia de hidrógeno

El hidrógeno es un gas cuyas propiedades lo hacen difícil de manipular y almacenar debido a su baja densidad y alta inflamabilidad. Por este motivo, la penetración del hidrógeno en nuevas aplicaciones demandará perfiles con competencias técnicas adecuadas para la producción, transporte, almacenamiento y consumo de hidrógeno.

Para que el despliegue del hidrógeno se realice en condiciones de seguridad y sin generar rechazo por parte la población, es fundamental dotar de formación y crear certificaciones que acrediten a los profesionales técnicos de cada sector para trabajar en la economía del hidrógeno. En este contexto, se elaborarán planes de formación, específicos para cada sector, para adaptar profesionales tales como mecánicos de talleres, personal de emergencia o asistentes de carretera al manejo seguro del hidrógeno.

El Ministerio de Trabajo junto al Ministerio de Educación, de Minas y Energía y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) trabajarán por el desarrollo de programas de formación del personal que se requieren para configurar la industria de hidrógeno.

Con el objetivo de maximizar el potencial del hidrógeno en Colombia, se elaborará y ejecutará un plan de formación a los funcionarios públicos de los Ministerios cuyos ámbitos de actuación estén relacionados con el hidrógeno. Esto permitirá la mejor toma de decisiones en materia de este nuevo vector energético, fomentará la aparición de proyectos y oportunidades de descarbonización

mediante hidrógeno, y servirá como punto de referencia para extender posteriormente la formación a ámbitos mayores.

23. Desarrollar herramientas de gestión de conocimiento en ecosistema de hidrógeno de Colombia

- **Crear una base de datos con el registro de proyectos y empresas de hidrógeno**

Se creará un registro centralizado de proyectos y empresas propietarias de instalaciones de producción, acondicionamiento, transporte, distribución, almacenamiento o comercialización de hidrógeno y derivados, con el objetivo de identificar qué tipología y número de empresas están interesadas en participar en proyectos de hidrógeno, determinar los tipos de proyectos posibles, detectar sinergias y compartir mejores prácticas entre empresas.

De acuerdo al artículo 7 parágrafo tercero de la Ley 2099 de 2021, el FENOGÉ podrá crear, gestionar y administrar una plataforma de centralización de información y/o base de datos de proyectos de FNCE y de gestión eficiente de la energía.

24. Impulsar las capacidades industriales locales en tecnologías de hidrógeno

- **Evaluar las fortalezas de la industria local en la cadena de valor del hidrógeno**

La nueva industria del hidrógeno precisa del desarrollo de tecnología a lo largo de toda la cadena de valor. Además, se precisan de múltiples empresas tales como fabricantes, ensambladores, ingenierías, reciclaje de componentes y equipos.

Con fines de aprovechar la oportunidad de crecimiento socio-económico y de recuperación tras la crisis del Covid-19, se impulsará la creación de grupos de trabajo con las instituciones públicas (destacando el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación), asociaciones empresariales y representantes del sector privado, a fin de potenciar la participación de las empresas locales en el desarrollo, fabricación, montaje, instalación o reciclaje de tecnología. Esta colaboración permitirá crear las condiciones propicias para la generación de riqueza y la creación de puestos de trabajo altamente cualificados en Colombia.

- **Apoyo a la I+D+i nacional mediante financiación e impulso a los grupos de trabajo existentes**

El desarrollo del hidrógeno todavía precisa un gran avance tecnológico y, por ello, se considera que más allá del apoyo al despliegue de la producción y de la demanda, Colombia podría incentivar también la innovación tecnológica, sobre todo cuando esto permita la creación y el fortalecimiento de empresas e iniciativas locales. Por este motivo, se impulsarán programas de investigación e innovación orientados a la mejora de las capacidades tecnológicas e industriales del país.

El Gobierno deberá desempeñar un papel central estableciendo ayudas a la i+D+i, impulsando programas de investigación y fomentando la captación de capital privado mediante colaboraciones público-privadas. En Colombia existen diferentes fondos creados por ley que estarían llamados a financiar proyectos de hidrógeno de bajas emisiones: el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTI), que tiene por objeto incrementar la capacidad científica, tecnológica, de innovación y de competitividad regional; el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, que permite a Min Ciencias desarrollar un mecanismo flexible para financiar actividades de ciencia, tecnología e innovación integrando recursos públicos, privados, internacionales y de donación.

Por otro lado, se fomentarán aquellos grupos de trabajo existentes en Colombia entorno al hidrógeno en las distintas universidades del país. Posteriormente, una vez que ya se han potenciado las iniciativas desarrolladas hasta la fecha, se analizará la idoneidad de crear un Centro Nacional de Hidrógeno que sirva como área de testeo y demostración de proyectos piloto y aplicaciones futuras, permitiendo a Colombia no solo posicionarse en la producción de este nuevo vector energético, sino también contribuir a la mejora de la tecnología alrededor del mismo.

Fase 2. Habilitar y fomentar el desarrollo del mercado

25. Mitigar el riesgo tecnológico mediante proyectos piloto y “sandboxes” regulatorios

- Impulsar el desarrollo temprano de pilotos a lo largo de toda la cadena de valor

Con el objetivo de mitigar el riesgo tecnológico, se impulsará el desarrollo de proyectos piloto que determinen la viabilidad, tanto técnica como económica del hidrógeno de bajas emisiones, desde su producción hasta los usos finales. El impulso se llevará a cabo mediante incentivos económicos y administrativos que reduzcan el diferencial de costo debido a la aplicación de tecnologías bajas en emisiones frente a las soluciones convencionales.

Se promoverán pilotos en múltiples ámbitos destacando: las tecnologías de electrólisis, la captura y almacenamiento de CO₂ (CCUS), la infraestructura de distribución de hidrógeno a nivel nacional y el transporte de hidrógeno y derivados a otros países.

En vías de promover la inversión privada y adoptar mejores prácticas, se establecerá un equipo operativo para acompañar la tramitación de permisos y el desarrollo de los primeros pilotos. Esto reducirá la incertidumbre, generará aprendizajes, resolverá fallas de coordinación y posibilitará una introducción segura de las nuevas tecnologías. Además, estos pilotos podrán convertirse en los primeros núcleos de demanda y producción de hidrógeno de bajas emisiones, incentivando el desarrollo de mercado que, posteriormente, beneficiará al resto de actores.

- Habilitar “sandboxes” para proyectos de innovación fuera del marco jurídico vigente

Los “sandboxes” regulatorios son instrumentos que permiten apoyar proyectos innovadores a través del levantamiento, temporal y limitado, a ciertas actividades de regulaciones que tengan un efecto limitante.

Se fomentarán estos habilitadores, pues se considera que a nivel regulatorio también es necesario generar conocimiento en materia de hidrógeno. Por ello, para el desarrollo de proyectos de innovación que no estén permitidos por la regulación vigente, pero que se consideren de interés estratégico, se aplicará un marco regulatorio flexible que fomente el aprendizaje regulatorio y permita analizar el enfoque normativo más eficiente. El aprendizaje se basará en la experiencia internacional de otros países simplificando los pilotos a realizar y disminuir costos.

Un ejemplo claro de aplicación es el desarrollo de proyectos que permitan inyectar pequeños volúmenes de mezcla de hidrógeno en la red de gas natural. Dichos proyectos serían necesarios para entender como varía la calidad de gas, que problemas de operación pueden producirse, y que límites máximos son admisibles en la red gasista con carácter local.

En Colombia, la posibilidad de un sandbox regulatorio se ha introducido legalmente como un mecanismo para promover el emprendimiento en el país a través del artículo 5 de Ley 2069 de 2020, haciendo necesaria su regulación específica para su aplicación en materia de hidrógeno.

26. Desarrollar y actualizar normativa técnica en materia de hidrógeno

- Revisar la normatividad nacional actual mediante grupos de trabajo e identificar los usos donde se requiera incorporar nueva normativa técnica

La normatividad técnica actual no está diseñada con vistas al uso del hidrógeno como un nuevo vector energético. El hidrógeno en la actualidad está regulado como una sustancia peligrosa, resultando esta regulación insuficiente y desactualizada tecnológicamente para la amplia gama de nuevas aplicaciones del hidrógeno.

Resulta fundamental revisar y adaptar la normativa existente para permitir el despliegue seguro de nuevas aplicaciones. Para ello se propondrá la creación de grupos de trabajo que analicen el estado de la reglamentación en materia de hidrógeno, y que elaboren propuestas de disposiciones generales o normas que se consideren necesarias para afianzar su implementación.

Los grupos de trabajo estarán formados miembros expertos tales como representantes del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), representantes del sector privado, universidades, empresas privadas o la Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI). El análisis será realizado abarcando todos los eslabones de la cadena de valor del hidrógeno desde su producción hasta el consumo.

- Adoptar estándares internacionales en la normativa técnica del hidrógeno en Colombia

El desarrollo de normativa técnica partirá de la adopción de estándares internacionales fijados por instituciones tales como la National Fire Protection Association (NFPA), la American Society of Mechanical Engineers (ASME), la Organización Internacional de Normalización (ISO), el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI), la Asociación europea de gases industriales o la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE). Estas instituciones han desarrollado códigos y estándares de aplicación para el hidrógeno cuya adopción simplifica el desarrollo de normatividad.

Por otro lado, se impulsará la colaboración de las empresas nacionales en los foros internacionales y comités técnicos encargados de desarrollar nueva normativa, como pueden ser reglamentos específicos para el uso del hidrógeno en la industria minera.

Fase 3. Monitorizar el desarrollo y permitir nuevos casos de uso

27. Monitorizar la producción y consumo de hidrógeno por tipología y sector

- Desarrollar un sistema de monitorización de la producción y consumo de hidrógeno

Con fines a garantizar el correcto desarrollo del mercado del hidrógeno de bajas emisiones, se impulsará el desarrollo de una plataforma nacional que registre la producción y consumo de hidrógeno en Colombia, diferenciando por tipos de hidrógeno, como el gris, azul o verde, y por sectores de consumo.

Este sistema, que estará integrado con el registro de proyectos y empresas de hidrógeno nacional (primera medida de la línea de trabajo 23), dotará de trazabilidad al hidrógeno de Colombia, facilitará la toma de decisiones en materia de despliegue de infraestructura, permitirá evaluar el grado de cumplimiento de las medidas y objetivos establecidos, y será la base para el sistema nacional de garantías de origen o certificación de hidrógeno de bajas emisiones.

Anexo I. Plan de socialización

En paralelo a la elaboración de esta hoja de ruta, se ha ejecutado el plan de socialización, en el que se han compartido los resultados preliminares de los análisis realizados y se han intercambiado experiencias y mejores prácticas con entidades relevantes para el desarrollo del hidrógeno en Colombia. En dicho plan de socialización, se han recogido las contribuciones de diversas entidades, entre las que se incluyen:

- Entidades públicas
- Asociaciones y grupos empresariales
- Generadores eléctricos
- Transportistas y distribuidores de gas natural
- Productores y consumidores de hidrógeno
- Carboneras
- Empresas de servicios de movilidad
- Ingenierías
- Fabricantes de equipos
- Universidades y centros de investigación
- Organismos multilaterales

El objetivo del plan de socialización ha sido alinear la ambición y objetivos del Ministerio con las de los stakeholders que desarrollarán proyectos de hidrógeno para contribuir a la descarbonización de la economía colombiana.



Figura 19: Plan de socialización de la hoja de ruta

Inicialmente se ha lanzado una consulta preliminar, consistente en una encuesta con preguntas relacionadas con las actividades realizadas para elaborar la hoja de ruta. En esta consulta, han participado 51 entidades nacionales e internacionales aportando su visión particular de las oportunidades y barreras para el desarrollo de la economía de hidrógeno de bajas emisiones en Colombia.

En paralelo al desarrollo del resto de actividades de la hoja de ruta, se han realizado entrevistas en profundidad con 25 actores relevantes (empresas privadas, asociaciones, universidades y organismos multilaterales) para el despliegue del hidrógeno. En estas entrevistas se han intercambiado experiencias y mejores prácticas a implementar en Colombia, y además han servido para complementar los análisis del Ministerio.

Por último, se han validado los principales resultados y conclusiones de cada actividad necesaria para elaborar la hoja de ruta en 9 talleres de trabajo en los que han participado los Ministerios de Energía y Minas, Medio Ambiente, Ciencias y Transporte, y también otras entidades no vinculadas directamente al sector público. En estos talleres, los invitados han podido comentar y valorar los resultados y conclusiones mostrados en esta hoja de ruta.

Anexo II. Gobernanza

Con el objetivo de asegurar el correcto despliegue, seguimiento y evaluación de esta Hoja de Ruta, se considera necesario crear una estructura de gobernanza que monitoree el desarrollo del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia.

Modelo de gobierno

La monitorización de la Hoja de Ruta será liderada por un Comité de Seguimiento, que se encargará de velar por la correcta implantación y desarrollo de las medidas expuestas en los ejes de actuación. El Comité estará integrado por miembros del Ministerio y representantes de otros organismos, tanto públicos como privados, tal y como muestra la Figura 20.

El Comité tendrá la responsabilidad de coordinar con las distintas partes interesadas, tanto públicas como privadas, la ejecución de las medidas expuestas en los ejes de actuación.

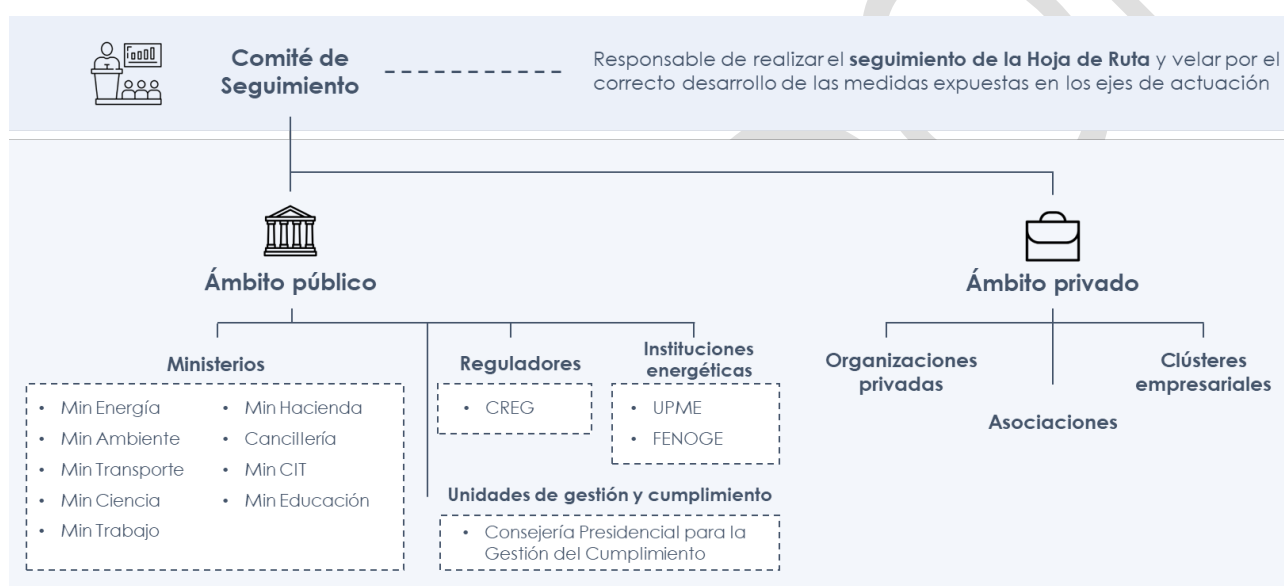


Figura 20: Modelo de gobierno de la Hoja de Ruta del Hidrógeno

Funciones del Comité de Seguimiento

Las funciones a desarrollar por este órgano público-privado son las siguientes:

- Aportar una visión global de la Hoja de Ruta, en cuanto a implementación, monitorización y evaluación de la misma.
- Elaborar recomendaciones generales para explotar las oportunidades del hidrógeno.
- Coordinar a las partes interesadas y desarrollar mesas técnicas en materia de hidrógeno.
- Apoyar activamente a los distintos ministerios en la aplicación de las medidas.
- Impulsar la formación de consorcios y acuerdos, nacionales e internacionales, con el objetivo de atraer inversiones y facilitar la financiación de proyectos.
- Identificar nuevas áreas e iniciativas estratégicas, así como implicarse en su desarrollo.

Para el desarrollo de las funciones indicadas, el Comité de Seguimiento se reunirá con una periodicidad bianual, sin perjuicio de que puedan convocarse reuniones extraordinarias cuando se considere oportuno. Los miembros del Comité podrán requerir la participación puntual de expertos del sector a debatir y tomar decisiones sobre alguna temática específica.

Indicadores de seguimiento

La monitorización y evaluación del progreso se realizará en base a una serie de indicadores. Estos indicadores serán analizados con una periodicidad mínima de 3 años y permitirán obtener una evaluación global de la estrategia, determinar el grado de implementación de las medidas y evaluar el cumplimiento de los objetivos.

Esta revisión será la herramienta principal para llevar a cabo las adaptaciones necesarias a la Hoja de Ruta, velando por que está se mantenga en línea con los desarrollos tecnológicos y las tendencias del mercado.

Los indicadores se han enmarcado en 2 áreas, producción y demanda, y son los siguientes.

Indicadores de **producción** de hidrógeno de bajas emisiones:

- **Número de proyectos desarrollados.** Apoyándose en el registro de proyectos de hidrógeno que se llevará a cabo (primera medida de la línea de trabajo 23), se contabilizará el número de proyectos, las empresas involucradas, la capacidad de producción de hidrógeno, la tecnología utilizada y la ubicación escogida.
- **Capacidad de electrólisis (GW instalados).** De la lista anterior, se extraerán aquellos proyectos de electrólisis, y se registra la capacidad instalada acumulada en Colombia.
- **Volumen de producción (toneladas de hidrógeno).** Se registrará el volumen total de producción de hidrógeno en Colombia, distinguiendo por tipología de hidrógeno (gris, azul o verde) y tecnología utilizada.

Indicadores de **demand**a de hidrógeno de bajas emisiones:

- **Volumen de consumo (toneladas de hidrógeno).** Con vistas a desarrollar una plataforma nacional de monitorización de producción y consumo de hidrógeno (primera medida de la línea de trabajo 27), se pedirá a los productos de hidrógeno que indiquen los contratos con las empresas consumidoras (nacionales o internacionales) o, en su defecto, si es hidrógeno para consumo propio. Este registro permitirá evaluar la penetración del hidrógeno de bajas emisiones en los distintos sectores y subsectores, así como la contribución del mismo a la descarbonización.
- **Número de vehículos.** En colaboración con el Ministerio de Transporte, y tomado como base el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), se contabilizará el número de vehículos de hidrógeno, su tipología (distinguiendo entre livianos de pasajeros, livianos de carga, pesados de pasajeros y pesados de carga), y la penetración que suponen estos vehículos dentro del parque automotriz nacional.
- **Número de estaciones de dispensado de hidrógeno.** En línea con el anterior indicador, se registrará el número de hidrogeneras de acceso público disponibles en el país a fin de garantizar un despliegue coordinado de flota e infraestructura de repostaje.