



Asociación Peruana  
de Hidrógeno



## Bases y recomendaciones para la elaboración de la Estrategia de Hidrógeno Verde en el Perú

Marzo 2022



## INDICE

### **I. Hidrógeno verde: una oportunidad para el clima**

1. Reducción de emisiones en el Perú
2. Emisiones proyectadas
3. Formulación de una nueva medida de mitigación al Cambio Climático relacionada al hidrógeno verde

### **II. Hidrógeno verde: una oportunidad para el Perú**

1. Desarrollo social y territorial
2. Desarrollo de competencias e innovación

### **III. Mercado interno para hidrógeno verde y sus derivados**

1. Potencial demanda nacional
2. Análisis por sectores:

REFINERIAS  
FERTILIZANTES  
TRANSPORTE  
COMBUSTIBLE/TRANSPORTE FERROVIARIO  
CONVERSION DE MONTACARGAS  
COMBUSTIBLES SINTETICOS  
MINERIA  
ACERO  
CEMENTO  
INYECCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE EN REDES DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL

3. Primera aproximación de la potencial demanda nacional de hidrógeno verde

### **IV. Exportación de hidrógeno verde y derivados**

1. Balanza energética de Perú
2. Potencial exportador de hidrógeno verde
3. Potencial exportador de derivados de hidrógeno verde
4. Acciones hacia la carrera por la exportación de hidrógeno o sus derivados

## **V. Implementación de una Política de Hidrógeno Verde**

1. Propuesta de Hoja de Ruta Perú
2. Alcance a toda la cadena de valor
3. Recursos necesarios para la producción de hidrógeno verde
4. Producción
5. Almacenamiento, Transporte y distribución

## **VI. Medidas de Promoción**

1. Políticas de promoción al hidrógeno verde
  - a. Incentivos tributarios y arancelarios
  - b. Incentivos financieros
  - c. Incentivo de la Demanda
2. Proyecto de Ley de promoción del hidrógeno verde (en anexo)

## **ANEXOS**

- Anexo 1: Criterios generales medida de mitigación
- Anexo 2: Contribuciones del sector privado en reducción de emisiones – Casos de Industrias Representativas
- Anexo 3: Seguridad
- Anexo 4: El caso del hidrógeno azul
- Anexo 5: Normas extranjeras
- Anexo 6: Proyecto de Ley de promoción del hidrógeno verde en el Perú

*El presente documento fue realizado por el Comité Estrategia y Regulación de H2 Perú, Asociación Peruana de Hidrógeno, quienes han aportado su experiencia y conocimientos en la identificación de los aspectos relevantes vinculados al desarrollo de una estrategia del Hidrógeno Verde en el Perú. Nuestros más sinceros agradecimientos a los miembros del Comité, quienes demostraron un compromiso muy alto, poniendo su excelencia profesional al servicio de la promoción del hidrógeno verde.*



## Introducción

En el marco de la aceleración de las acciones de mitigación y de adaptación climática para evitar que la temperatura del planeta aumente por encima de 2°C al 2050 respecto a los niveles preindustriales, el hidrógeno verde (en adelante H2V) es considerado hoy como una pieza clave de la descarbonización de gran escala.

El hidrógeno es un vector energético – por ser capaz de contener energía y liberarla cuando sea requerida, un combustible y una materia prima. Cuando es producido a partir de energía 100% renovable es considerado verde, ya que no emite gases de efecto invernadero, ni en su producción, ni en su uso. Entonces, sus aplicaciones pueden contribuir a la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del país, fortalecer la independencia energética y mitigar los desafíos de la variabilidad de los sistemas renovables.

La transición energética hacia la sostenibilidad conlleva intrínsecamente un incremento de la competitividad, mayor productividad, y mejora de la calidad de vida para todos los peruanos. **Para lograr esa transición se debe desarrollar una nueva industria respetuosa con el medioambiente, capaz de generar nuevos empleos y competencias en el país.** El hidrógeno verde **está llamado a ser un gran aliado para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7, 8, 9, 11, 12, 13 y 17** y se postula como uno de los pilares en la transición energética, ya que representa una de las soluciones para descarbonizar múltiples industrias con altas emisiones de CO<sub>2</sub>, especialmente aquellas donde la electrificación no es una alternativa, al tiempo que apoya la integración sectorial requerida para una economía sostenible (sector de la energía renovable con sectores industrial, químico, minero, siderúrgico, etc.).

Sin embargo, el cambio no va a ocurrir de manera inmediata. El desarrollo del H2V en el Perú dependerá en gran medida de una política integrada y sistemática que implemente a corto plazo los esquemas necesarios para soportar las cadenas de valor correspondientes y atraer la inversión; asegurando a mediano plazo la implementación de proyectos replicables, que permitan su incorporación de manera progresiva en la matriz energética. Dicho desarrollo debe ser acompañado de la infraestructura necesaria para la transición, que logre en el largo plazo, cobertura de suministro y un precio competitivo en el mercado doméstico e internacional, que permitan desplazar alternativas energéticas altas en emisiones de carbono y aporten a alcanzar los objetivos de carbono neutralidad al 2050.

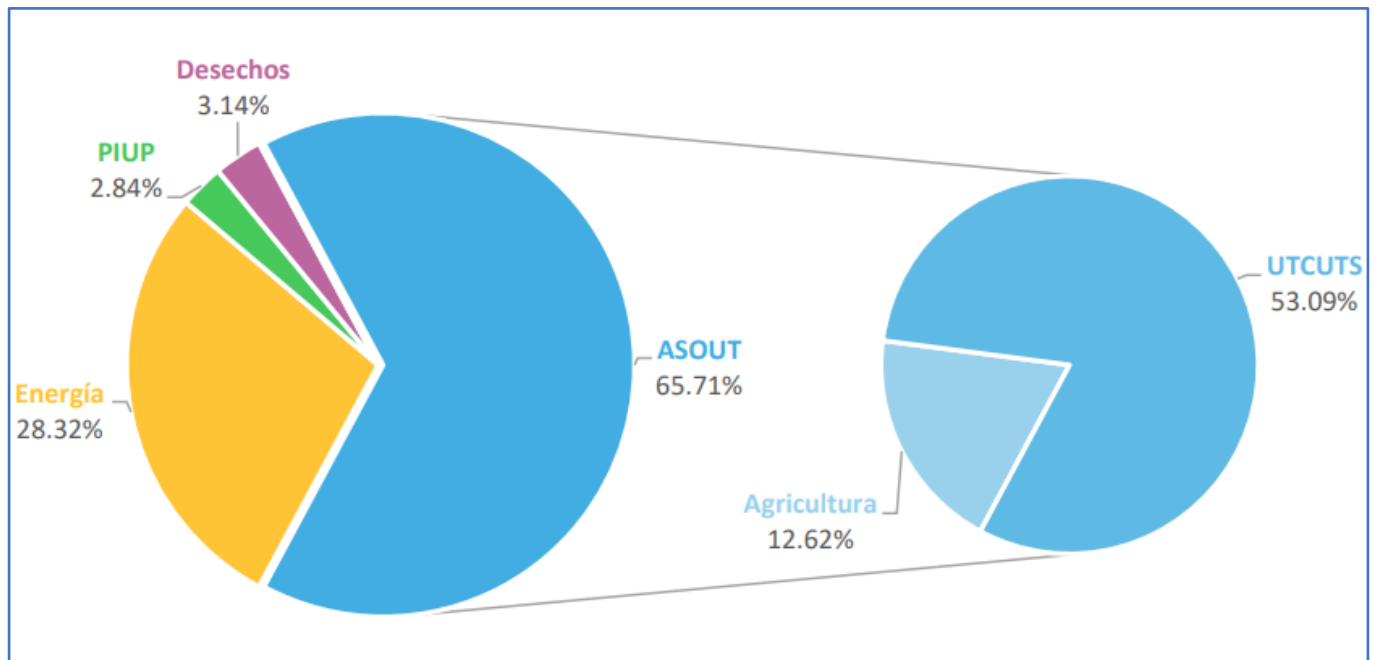
## I. H2V: una oportunidad para el clima

### 1. Reducción de emisiones en el Perú

El Perú cuenta con una Estrategia Nacional sobre Cambio Climático (ENCC) que se soporta sobre dos objetivos estratégicos claros con enfoques de concientización y adaptación ante los efectos adversos de cambio climático, así como fomentar la conservación de las reservas de carbono existentes y promover la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El Ministerio del Ambiente (MINAM), en su último inventario nacional de GEI (INGEI, 2016) <sup>1</sup>, reportó un total de 205,294.17 Gigagramos de dióxido de carbono equivalente (GgCO<sub>2</sub>eq), siendo las dos fuentes de emisiones principales el sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (ASOUT) con un 65.71%, seguido del sector Energía con un 28.32%, cuya principal contribución se atribuye a la quema de combustibles fósiles. Es de especial interés para la industria ser lo más eficiente en sus procesos productivos y transitar hacia una descarbonización de su matriz energética, alineados a los objetivos del país.

**Figura N° 1.** Emisiones de GEI 2016 por sectores



*Fuente: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2016. MINAM, 2021. PIUP: Procesos Industriales y uso de productos. ASOUT. Agricultura, Silvicultura y otros usos de la Tierra. UTCUTS: Uso de la Tierra, cambio de uso de la Tierra y Silvicultura*

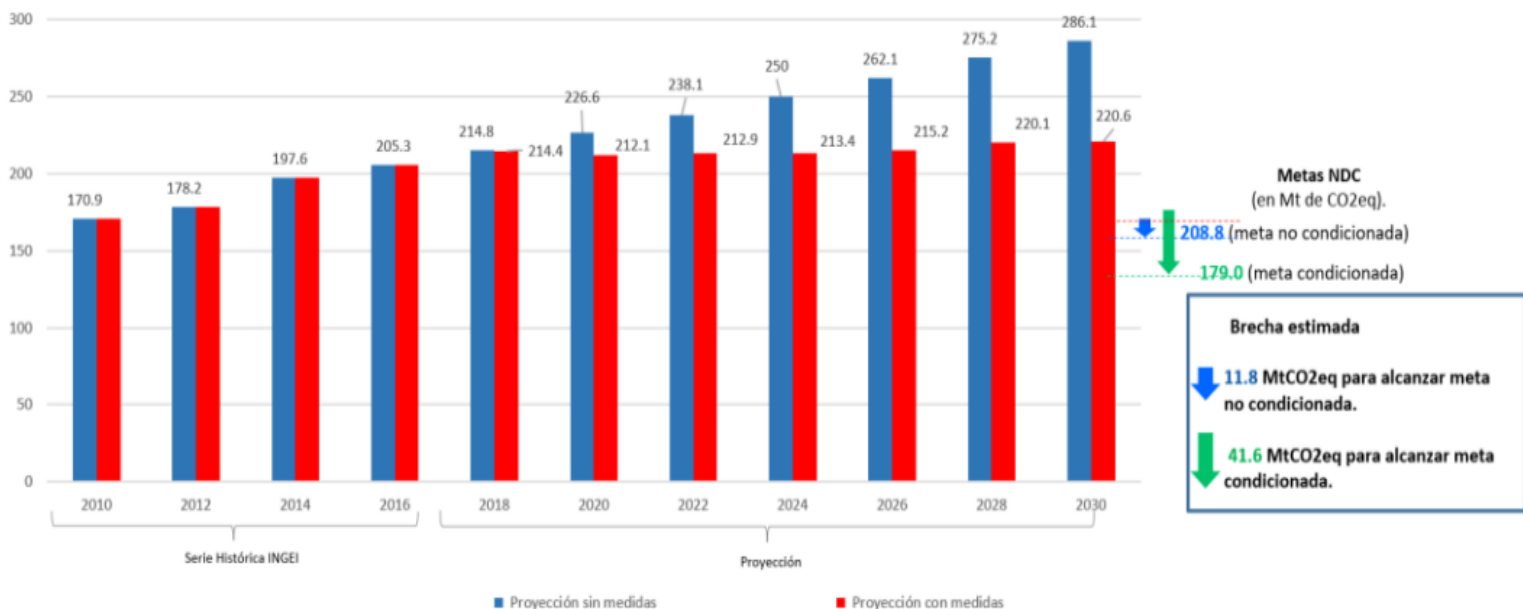
<sup>1</sup> Inventario Nacional de GEI. Infocarbono, 2016.

## 2. Emisiones proyectadas

Durante el año 2020, el MINAM realizó el estudio de Proyección de los Escenarios de Emisiones de GEI considerando los 5 sectores de la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC), donde se proyectaron las emisiones para cada sector del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), a partir de la serie histórica 2010-2016, bajo diferentes escenarios de implementación de las 62 medidas de mitigación formuladas a la fecha.

A continuación, se presentan los resultados. La primera proyección (en barras azules) muestra la tendencia hasta el año 2030 de las emisiones del país a partir de los INGEI 2010 – 2016, sin considerar las medidas a ser implementadas en los años posteriores. Una segunda proyección, en barras rojas, indica el nivel de emisiones que alcanzaremos en caso de implementar el total de las 62 medidas de mitigación formuladas a la fecha. El resultado muestra que existiría aún una brecha para asegurar el cumplimiento de las NDC de 41.6 MtCO<sub>2</sub>eq.

**Figura N° 2.** Proyección de emisiones de GEI con implementación de medidas y brecha de mitigación para alcanzar la meta climática nacional (en MtCO<sub>2</sub>eq)



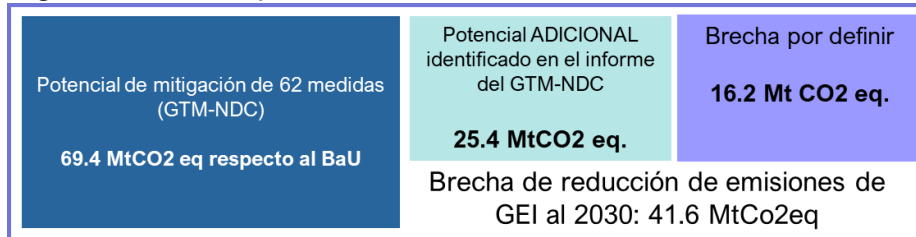
*Informe de Conclusiones (2021). MINAM, 2021.*

*Fuente: Proyección de los escenarios nacionales de emisiones y remociones de GEI considerando los 5 sectores de la NDC del Perú. Informe de Conclusiones (2021).<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Informe de Conclusiones (2021). MINAM, 2021.

Tomando en cuenta el potencial de mitigación adicional identificado en el Informe Final del GTM-NDC<sup>3</sup> de 25.4 MtCO<sub>2</sub>eq, quedaría aún una brecha por cubrir de 16.2 MtCO<sub>2</sub>eq, la que tendría que ser abordada a través de nuevas medidas de mitigación, así como con metas más ambiciosas en medidas existentes.

**Figura N° 3.** Brecha para alcanzar la reducción de GEI del 40% en el 2030



Fuente: MINAM, 2021.

### 3. Formulación de una nueva medida de mitigación al Cambio Climático relacionada al H2V

En consecuencia, la integración de la promoción y del desarrollo de oferta y demanda de hidrógeno verde como medida para mitigar el cambio climático es esencial, por ejemplo, definiendo una meta de producción y consumo del hidrógeno verde al 2050 en el Perú.

#### Recomendaciones para la formulación de la nueva medida:

##### Aplicabilidad

Se identifica el desarrollo de una estrategia de H2V como una nueva medida de Contribución Determinada a nivel Nacional (GTM-NDC) aplicable en Perú.

Esta iniciativa se enmarca en una nueva medida dado que su Programación Tentativa no ha sido aprobada previamente a través del Grupo de Trabajo Multisectorial de la Contribución Determinada a nivel Nacional (GTM-NDC), ni su Programación Tentativa ha sido propuesta por la Comisión de Alto Nivel del Cambio Climático (CANCC) para que forme parte de la NDC.

##### Formulación de la Medida de Mitigación

La formulación de esta nueva medida de mitigación relacionada a la promoción de H2V a nivel nacional puede iniciar mediante la presentación de una Programación Tentativa (PT), o de un Contenido Mínimo (CM). La PT puede ser presentada por cualquier autoridad sectorial, autoridad regional, autoridad local, o actor no estatal<sup>4</sup>; mientras que el CM solo puede ser presentado por autoridades regionales, autoridades locales, o actores no estatales.

<sup>3</sup> Informe final del Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas

<sup>4</sup> En caso la medida se realice en territorio de un pueblo indígena u originario, la PT debe ser presentada por la organización representativa local, regional o nacional de la que forma parte.

### **Contenido Mínimo (CM)**

Si las autoridades regionales, autoridades locales, o actores no estatales, desean dar aportes a la formulación o la actualización de medidas de mitigación y no pueden presentar una PT5, pueden presentar un Contenido Mínimo (Anexo 5 de la “Guía para la formulación y actualización de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático de la Contribución Determinada a nivel Nacional (NDC) del Perú”).

El MINAM, como autoridad nacional en materia de cambio climático, debe prestar asistencia técnica durante este proceso y, de esta forma, fomentar la articulación institucional en los diferentes niveles de gobierno y la participación de los diversos actores no estatales para la implementación de la NDC de mitigación.

### **Leer en Anexos:**

**Anexo 1:** Criterios generales medida de mitigación

**Anexo 2:** Contribuciones del sector privado en reducción de emisiones: Casos de Industrias Representativas

---

<sup>5</sup> Al no contar con los recursos económicos, humanos, o técnicos necesarios.



## **II. H2V: una oportunidad para el Perú**

El hidrógeno verde permite una verdadera integración de fuentes renovables en todos los sectores: energía eléctrica, transporte, gas, industrias pesadas estratégicas como minería, fertilizantes verdes, refinerías, etc.; y una descarbonización de sectores donde no es viable la electrificación.

Los beneficios del H2V no solo se encuentran a nivel ambiental: su rol de nuevo protagonista del sector energético implica el desarrollo de una nueva industria, cuyas aplicaciones buscan reemplazar en gran medida el uso de los combustibles fósiles y promover una energía que cumpla con los requerimientos de la cuarta revolución industrial.

Al tener una cadena de valor amplia<sup>6</sup> el hidrógeno produce mayores impactos económicos en los países a través de la inversión y generación de empleo directo e indirecto, permitiendo a su vez mejorar la calidad de vida e ingresos en los polos de desarrollo. Esta nueva industria requerirá el desarrollo de capacidades y el fomento de la investigación científica y la innovación en centros de formación técnicos y universidades del país. Una oferta planificada de capacitación formal y en el trabajo permitirá adquirir y desarrollar nuevos conocimientos que mejorarán la empleabilidad de los jóvenes, el reingreso de la fuerza laboral afectada por la pandemia, la posibilidad de extrapolar experiencia laboral hacia los mercados de energías limpias, así como alimentar el espíritu empresarial tan necesario en una economía en desarrollo como es la peruana.

### **4. Desarrollo social y territorial**

La industria del H2V tiene el potencial de generar nuevos empleos, vinculando profesionales de distintas disciplinas y con experiencia en industrias como el petróleo, el gas, y la producción industrial, dada la diversidad de usos finales. Al respecto, el desarrollo de una industria del H2V tiene el potencial de generar como mínimo 22 mil, 87 mil y 94 mil empleos en las décadas 2020-2030, 2030-2040 y 2040-2050, respectivamente. Estas estimaciones son realizadas, en su mayoría, sobre la base de factores de empleabilidad para países europeos Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), por lo que se considera el rango inferior del potencial de creación de empleo dada la mayor productividad en estos países<sup>7</sup>.

La transición energética y el éxito de una industria del H2V requiere participación y acompañamiento de la sociedad. Se requiere el apoyo social en el desarrollo del ecosistema necesario para la producción del H2V (*upstream*). Como en todo proyecto, el éxito se vincula a la participación plena y efectiva de las partes interesadas en base a los principios de un proceso libre, previo e informado. Parte de dicho proceso involucra compartir en forma masiva información relativa a los beneficios de la adopción de una estrategia del H2V, las cadenas de valor, y la

---

<sup>6</sup> <https://h2.pe/recursos/>

<sup>7</sup> Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile, (GIZ, 2020)

necesidad de lograr soluciones que sean acordes con los objetivos climáticos considerando el impacto positivo que adoptar dichos parámetros conlleva.

El componente de desarrollo social apareja capacitación en actividades de emprendimiento que permitan fortalecer la cadena de aplicaciones potenciales derivadas de la industria del H<sub>2</sub>V y su adopción por las comunidades e industrias localizadas en las zonas de impacto (*downstream*). La implementación de estrategias y campañas de comunicación con la ciudadanía y potenciales industrias y empresas consumidoras deberá tener como objetivo acercar el potencial y beneficios del hidrógeno a toda la sociedad peruana, reduciendo el riesgo percibido y dando a conocer las oportunidades de descarbonización e industrialización que presenta.

## **5. Desarrollo de competencias e innovación**

El H<sub>2</sub>V generará oportunidades para fomentar la innovación tecnológica y la investigación académica. El Perú cuenta con capital humano con las habilidades necesarias para desarrollar soluciones tecnológicas y así lo demuestra, entre otros, el caso de Industrias Cachimayo que fue el precursor en América Latina respecto de la industria del H<sub>2</sub>V. Un objetivo a mediano y largo plazo debiera incentivar soluciones tecnológicas que se adapten a las necesidades y requerimientos del país, soluciones que aborden desafíos locales prioritarios para el Perú. Este objetivo implica identificar y conectar a los actores que desarrollan actividades de investigación y desarrollo vinculadas a la innovación tecnológica; promover el interés en la población y proveer las herramientas necesarias para el desarrollo laboral. Entre las acciones a ejecutar se incluiría la capacitación del sector público, privado y el académico. Por parte del sector público, es importante contar con funcionarios públicos capacitados en regulación, evaluación, fiscalización del Hidrógeno como tal, sus cadenas de valor, y las externalidades transversales que la industria implica y requiere a diferentes niveles. Por parte del sector privado y la academia debería llevarse a cabo una difusión horizontal de avances y lecciones aprendidas en investigación y desarrollo que puedan ser aplicadas a nivel nacional a través de programas y consorcios.

### III. Mercado interno para H2V y sus derivados

#### 1. Potencial demanda nacional

Según el estudio publicado por H2 Perú, Asociación Peruana de Hidrógeno<sup>8</sup>:

- Los principales centros de consumo se ubican en los departamentos de la costa y en la región sur del país. Estas zonas presentan un alto nivel industrial (minería e industria manufacturera) y por lo tanto permiten un alto potencial de penetración de hidrógeno para el reemplazo de combustibles fósiles.
- Las zonas más propicias para la producción de hidrógeno verde son aquellas que cuentan con un alto potencial en renovables: Sur (solar), Norte y Centro (eólico).
- La cantidad demandada de hidrógeno tiene un impacto relevante en su competitividad, por lo que la creación o visibilidad de nuevos centros de consumo puede justificar el desarrollo de varios centros de producción en un mismo departamento o región.
- Las regiones centro y sur del país son las principales responsables de emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que el hidrógeno podría jugar un papel clave en la descarbonización nacional.
- Los departamentos con una menor demanda potencial podrían crear condiciones específicas de pilotaje e I+D de proyectos relacionados a las aplicaciones del hidrógeno.
- El desarrollo de alianzas público-privadas y centros de conocimiento local permitirán potenciar el despliegue del hidrógeno en Perú (aplicaría para producción y consumo).
- Las principales aplicaciones en las que se espera una mayor demanda de hidrógeno son: movilidad (lideradas por camiones de alto tonelaje del sector minero), industria del amoníaco, cemento, acero y químicos; y el transporte logístico por barcos.

Figura N° 4. Competitividad y potencial de descarbonización del Hidrógeno

### Aplicaciones con mayor potencial para el Hidrógeno: Competitividad en el largo plazo



Fuente: ENGIE Impact

<sup>8</sup> Potencial del Hidrógeno verde en el Perú, realizado por ENGIE Impact para H2 Perú, agosto 2021 [https://h2.pe/uploads/20210908\\_H2-Peru\\_Estudio-final.pdf](https://h2.pe/uploads/20210908_H2-Peru_Estudio-final.pdf)

## 2. Análisis por sectores

El éxito de una estrategia vinculada al H2V requiere de la concurrencia de diversos factores y voluntad de los actores involucrados; así como, del público consumidor. Se necesita conectar e impulsar ambos extremos de la cadena de valor con el mismo nivel de compromiso. Sin generación de fuentes renovables no hay producción de H2V que permita cumplir con las NDC y posicionar la industria peruana en un contexto de carbono-neutralidad. Sin mercado, no hay justificación para una inversión de producción a riesgo. La economía del H2V requiere acciones conjuntas, por lo cual en este acápite se analiza, preliminarmente y a modo indicativo, la demanda potencial por H2V en el país.

### REFINERIAS

El crudo de petróleo es una sustancia compleja de hidrocarburos, por ello es necesario el proceso de refinación que permite la separación y clasificación de las distintas fracciones de hidrocarburos, obteniendo productos tales como gas licuado de petróleo, gasolina, diésel, jet fuel, entre otros. El hidrógeno es usado en varios de los procesos de refinación, entre los que destaca el hidrotratamiento que tiene por finalidad eliminar los productos nocivos para el medio ambiente.

En el Perú se cuenta con 7 refinerías con una capacidad total de procesamiento de aproximadamente 216 MBPD<sup>9</sup>. Las cuatro refinerías más importantes por su nivel de producción son: Refinería La Pampilla perteneciente a la empresa Repsol y las refinerías Talara, Conchán e Iquitos pertenecientes a la empresa estatal Petroperú. En el año 2019, la producción nacional de productos petrolíferos en estas refinerías fue de aproximadamente 154 MBPD<sup>1011</sup>. Actualmente, estas refinerías utilizan hidrógeno en su proceso de refinación, el cual es obtenido a través del reformado del metano, que viene a ser el proceso de obtención de hidrógeno a partir de gas natural y es la alternativa más extendida por sus bajos costos.

En los próximos años, el proceso de refinación en Perú podría convertirse en un potencial consumidor de H2V, reemplazando así el uso actual de hidrógeno gris. Ello representa importantes oportunidades de negocio y una sustancial reducción de emisiones para este sector. Adicionalmente, se proyecta que la demanda de hidrógeno en las refinerías seguirá en aumento debido al incremento de crudo para refinación, así como a mayores exigencias de reducción del contenido de azufre de los combustibles para el transporte.

El potencial de demanda que se estima para esta industria en los siguientes años es el siguiente<sup>12</sup>:

<sup>9</sup> Atlas Minería y Energía en el Perú 2001, Ministerio de Energía y Minas, 2001

<sup>10</sup> Memoria anual 2019, Refinería la pampilla, 2020

<sup>11</sup> Memoria anual 2019, Petroperú, 2020

<sup>12</sup> Para estimar la demanda se utilizó los siguientes supuestos:

- Consumo promedio de hidrógeno en la Refinería La Pampilla: 7,200 Nm<sup>3</sup>/h..
- Producción promedio en la Ref. La Pampilla: 87.5 MBPD.
- Se considera un factor de planta del proceso de refinación del 99%.
- Crecimiento anual de refinación de crudo de petróleo del 2%.

La modernización de la Refinería Talara aumentará la producción de 65 a 95 MBPD para el año 2022, con lo cual la capacidad de producción nacional aumentaría de 216 a 246 MBPD, lo cual acompañaría el crecimiento anual de refinación de crudo de petróleo mencionado previamente.

- Para el año 2030: se demandaría 4,597 ton/año, considerando una contribución de H2V del 40% respecto al total usado.
- Para el año 2040: se demandaría 13,339 ton/año, considerado que todo el hidrógeno usado proviene de H2V.
- Para el año 2050: se demandaría 15,480 ton/año, considerado que todo el hidrógeno usado proviene de H2V.

## FERTILIZANTES

Los fertilizantes son un tipo de sustancia orgánica o inorgánica que contienen nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo, mejorar la calidad del sustrato a nivel nutricional, estimular el crecimiento vegetativo de las plantas, etc.<sup>13</sup> Su utilización ha sido importante en el último siglo y ha permitido respaldar la producción de suficientes productos agrícolas necesarios para preservar la vida humana.

Los abonos orgánicos son generalmente de origen animal o vegetal. Los abonos inorgánicos son sustancias de origen mineral, producidas bien por la industria, o bien por la explotación de yacimientos naturales (fosfatos, potasa). La industria química interviene sobre todo en la producción de abonos nitrogenados, que pasan por la síntesis del amoníaco a partir del nitrógeno del aire<sup>14</sup>. Uno de los métodos para la producción de amoníaco es el proceso de Haber-Bosch, síntesis de amoníaco a partir de nitrógeno del aire e hidrógeno, empleando un catalizador metálico a elevada presión y temperatura. El nitrógeno proviene de la atmósfera mientras que el hidrógeno viene del gas natural.

Cerca del 80% del amoníaco se utiliza para la producción de fertilizantes tales como: nitrato amónico, nitrato amónico cálcico, urea, sulfato, amónico, soluciones de urea-nitrato amónico, entre otros. En la actualidad, existen distintas aplicaciones a nivel mundial que han incorporado unidades de captura, o que han sustituido las plantas de reformado por H2V.

En el Perú, la demanda nacional de fertilizantes es de aproximadamente 1,296 kton/año<sup>15</sup>, de la cual sólo el 2% es de producción nacional a partir de guano de las islas que se origina por acumulación de las deyecciones de las aves guaneras que habitan las islas y puntas de nuestro litoral<sup>16</sup>. El 98% de la demanda nacional es producto importado, por ello, una de las iniciativas del Gobierno actual es la construcción de una planta de fertilizantes en la región Piura. Los objetivos de esta iniciativa incluyen el minimizar la exposición a los crecientes precios internacionales, abastecer la demanda local y convertir al Perú en un país exportador de fertilizantes<sup>17</sup>. Una industria local de fertilizantes podría convertirse en un potencial consumidor de amoníaco, el cual puede ser producido a partir de H2V.

El potencial de H2V que demandaría<sup>18</sup> la producción nacional de fertilizantes es el siguiente:

<sup>13</sup> <https://agro.iberf.es/fertilizacion-suelo/>

<sup>14</sup> <https://es.wikipedia.org/wiki/Fertilizante>

<sup>15</sup> Boletín estadístico mensual "El Agro en Cifras" Setiembre 2021, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

<sup>16</sup> Guano de las Islas, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

<sup>17</sup> <https://infomercado.pe/pedro-castillo-anuncia-construccion-de-una-planta-de-produccion-de-fertilizantes-con-los-fosfatos-de-piura/>

<sup>18</sup> Para el cálculo de la demanda de H2V, primero se determinó la cantidad de amoníaco que se demandaría en el balance estequiométrico de producción del fosfato de amonio, nitrato de amonio y sulfato de amonio. Seguidamente, se estimó la demanda de H2V en función al balance estequiométrico del proceso de Haber-Bosch.



- Para el 2030: se demandaría 8,229 ton/año, considerando que el 30% de producción de fertilizante usa como insumo H<sub>2</sub>V
- Para el 2040: se demandaría 18,503 ton/año, considerando que el 60% de producción de fertilizante usa como insumo H<sub>2</sub>V
- Para el 2050: se demandaría 41,444 ton/año, considerando que la totalidad de producción de fertilizante está en base a H<sub>2</sub>V.

## TRANSPORTE

El hidrógeno es uno de los vectores energéticos que puede contribuir a la descarbonización en el transporte, compitiendo y complementándose con el gas natural vehicular (GNV), los biocombustibles (como el biometano) u otros generados a partir de H<sub>2</sub>V y captura de CO<sub>2</sub>, así como la electrificación. Comparado con la electrificación, el hidrógeno supera las limitaciones de autonomía y elevados tiempos de recarga asociados a los vehículos eléctricos a batería, inclusive en algunas aplicaciones estas ventajas se amplían<sup>19</sup>. Un reporte de Ballard y Deloitte China indica que en una década los autos de celdas de combustible (FCEV) serán muchos más baratos que los vehículos eléctricos puros<sup>20</sup>

En el Perú, al cierre de los primeros ocho meses del 2021, la venta de vehículos híbridos y eléctricos reportó un significativo avance al situarse en 755 unidades vendidas. Los vehículos más vendidos durante en este periodo fueron los híbridos convencionales o HEV (*Hybrid Electric Vehicle*, por sus siglas en inglés) con 715 unidades, seguido de los híbridos enchufables o PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) con 23 unidades y los eléctricos puros o BEV (*Battery Electric Vehicle*) con 17 unidades<sup>21</sup>. Aún no se cuenta con vehículos en base a celdas de combustible (FCEV), posiblemente debido a los altos precios de adquisición y a la falta de una infraestructura de recarga de H<sub>2</sub> para abastecer a dichos vehículos.

A nivel internacional, empresas como Hyundai y Toyota están fabricando mayores números de FCEV y ello podría cambiar el mercado en los próximos años. Considerando las ventajas de almacenamiento y tiempos de recarga, los FCEV pueden utilizarse en soluciones de transporte ligero o pesado, tanto terrestre como marítimo, e incluso aéreo.

- Vehículos ligeros: Aunque aún se tiene precios elevados de adquisición, se espera que en los próximos años se pueda producir una masificación de este tipo de vehículos. En el mercado hay distintos modelos entre los que destacan el Honda Clarity y el Hyundai Nexo, este último presenta una autonomía aproximada de 660 km con un depósito de H<sub>2</sub> de 6.7 kg<sup>22</sup>. La principal desventaja actual para los vehículos ligeros viene a ser el precio poco competitivo vs combustibles tradicionales y autos eléctricos, sumado a la falta de infraestructura y puntos de recarga descentralizados.

- 
- La demanda actual de los fertilizantes importados, que tiene como insumo el amoníaco, es el siguiente (Boletín estadístico mensual "El Agro en Cifras" Setiembre 2021, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego:
    - Importación de fosfato de amonio: 248,318 ton/año
    - Importación de nitrato de amonio: 127,253 ton/año
    - Importación de sulfato de amonio: 250,812 ton/año
  - Se ha considerado un crecimiento anual de demanda nacional de fertilizantes del 3%.

<sup>19</sup> Clean energy and the hydrogen economy, N.P. Brandon, Z. Kurban, 2017

<sup>20</sup> <https://eandt.theiet.org/content/articles/2020/07/hydrogen-or-electric-vehicles-why-the-answer-is-probably-both/>

<sup>21</sup> <https://aap.org.pe/sunarp-venta-de-vehiculos-hibridos-y-electricos-aap-gobierno/>

<sup>22</sup> <https://www.hyundai.com/es/modelos/nexo.html>

- Buses de uso público: Podría presentar una mayor aceptación, sobre todo en ciudades con mayor índice poblacional. El impacto y la visibilidad social, al ser muy utilizados por la población, son factores que favorecen su adopción. Un ejemplo claro es el proyecto JIVE 2 (iniciativa para vehículos de hidrógeno en Europa) que busca desplegar 152 nuevos buses de uso público en base a celdas de combustible y la infraestructura de reabastecimiento asociada en 14 ciudades europeas<sup>23</sup>. Cabe indicar que su implementación puede ser más próxima, ya que minimiza la necesidad de puntos descentralizados de recarga, si tomamos en cuenta una transición ordenada para rutas establecidas.
- Camiones pesados de ruta: Estos vehículos se imponen por encima de los BEV por su eficiencia en el uso de su depósito. El consumo energético que demanda los camiones pesados de ruta es aproximadamente 10 a 15 veces mayor respecto a los vehículos ligeros, por ello se utilizan depósitos de unos 40-50 kg de hidrógeno presurizados a 350 bar<sup>24</sup>.
- Montacargas: son los primeros vehículos con pilas de combustible que se desarrollaron y cuentan con mayor aceptación y desarrollo tecnológico. Presentan uso intensivo, pero consumos relativamente bajos. Almacenan alrededor de 2 kg de hidrógeno a 350 bar, lo que les permite realizar una jornada laboral completa de 8 horas sin repostar<sup>25</sup>. El potencial uso sería en industrias de la cadena de abastecimiento, aeropuertos, embarques, minerías, entre otros.
- Tren: Podría ser una alternativa de transporte sostenible en los próximos proyectos que pudiera implementar el Gobierno principalmente en zonas urbanas que cuenten con una demanda de pasajeros adecuada.

La transición energética en el sector transporte podría implicar una potencial demanda de H2V. El potencial estimado es el siguiente<sup>26</sup>:

---

<sup>23</sup> <https://www.fuelcellbuses.eu/projects/jive-2>

<sup>24</sup> Hidrógeno Vector energético de una economía descarbonizada, Fundación NATURGY, 2020

<sup>25</sup> <https://energia.gob.cl/electromovilidad/transporte-con-hidrogeno/montacargas-h2>

<sup>26</sup> Supuestos:

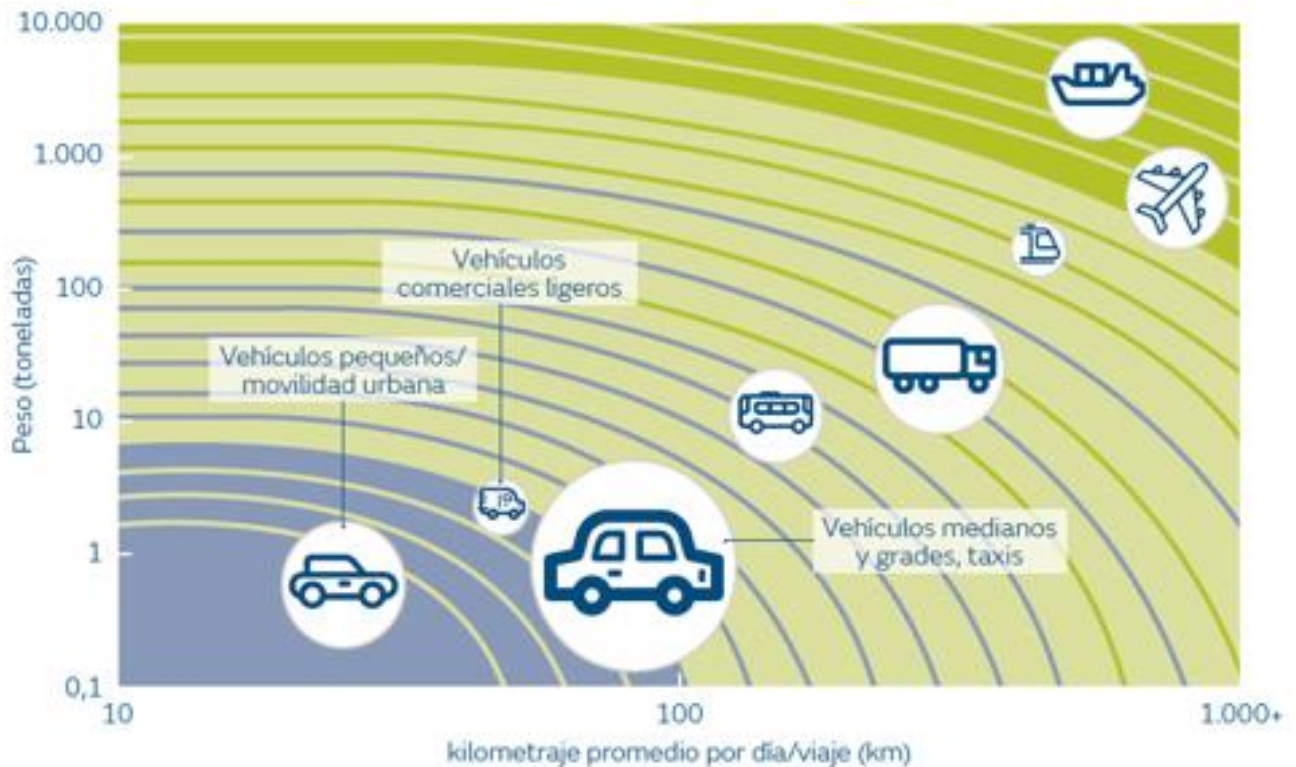
- Consumos enlazados al logro de los objetivos ambientales planteados.
- Consumos de hidrógeno por km de recorrido:
  - o Transporte público: 38 kg hidrógeno por cada 338 km<sup>26</sup>.
  - o Camiones pesados: Se considera un 50% adicional al radio de consumo en transporte público.
  - o Trenes: 100 kg hidrógeno por cada 100km. Se ha considerado que el potencial de demanda se manifieste a partir del 2040.
- Se ha considerado un factor de uso de los vehículos del 0.7
- Kilometraje promedio de diferentes modelos de vehículos - Hidrógeno Vector energético de una economía descarbonizada, Fundación NATURGY, 2020

**Tabla 1: Demanda Potencial de Hidrógeno Verde en el transporte**

Demanda potencial (ton H2/año)	2030	2040	2050
<b>Transporte total</b>	<b>2,456</b>	<b>16,370</b>	<b>84,035</b>
Buses de uso público	862	5,170	27,576
Camiones pesados de ruta	1,163	7,756	34,901
Vehículos ligeros	311	1,556	14,006
Tren	-	1,168	4,672
Montacarga	120	720	2,880

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 5. Kilometraje promedio de diferentes modelos**



Fuente: Fundación Naturgy. Hidrógeno Vector energético de una economía descarbonizada, Fundación NATURGY, 2020

### COMBUSTIBLE/TRANSPORTE FERROVIARIO

El sector de transporte ferroviario es también un potencial consumidor de H2V. Este sector opera actualmente con base en combustibles fósiles que son fuente de emisiones GEI. A nivel nacional se utiliza en su mayor parte para el transporte de carga asociada a la actividad minera y para el transporte de pasajeros con fines turísticos. En este último caso destaca la ruta Cusco – Machupicchu (aproximadamente de 125 km) por su impacto a nivel global para transmitir el mensaje de transformación hacia una economía de carbono cero y en línea con los objetivos

estratégicos del Plan Maestro del Santuario de Machupicchu<sup>27</sup>. A continuación, un resumen de la infraestructura ferroviaria actual y del nivel de consumo de combustible y emisiones de gases de efecto invernadero.

- Longitud de Ferrocarriles

Al año 2018, de acuerdo con la información el Ministerio de Transportes y Comunicaciones<sup>28</sup> existen 1,906 km de infraestructura ferroviaria con operadores que utilizan combustibles fósiles<sup>29</sup>; de los cuales 189 km son de uso público no concesionado, 1,479 km son de uso público concesionado y 238 km son de uso privado.

**Tabla 2: Infraestructura Ferroviaria, Perú 2018**

Régimen de propiedad	Empresa y tramos	Km (al 2018)
Público no concesionado	Gobierno Regional de Tacna Tacna - Arica	60.0
	Ministerio de Transportes y Comunicaciones Huancayo - Huancavelica	128.7
Público concesionado	Ferrovías Central Andina Callao - La Oroya La Oroya - Huancayo La Oroya - Cerro de pasco	489.6
	Ferrocarril Transandino Mollendo - Matarani - Arequipa - Juliaca Juliaca - Puno Juliaca - Cusco - Machupicchu	989.7
	Caripa - Condorcocha	13.6
	Southern Perú Copper Corporation Ilo - Toquepala El Sargento - Cujone	217.7
Privado	Votorantim Metais Santa Clara - Cajamarquilla	7.3
	<b>Total</b>	<b>1906.6</b>

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, elaboración propia.

- Consumo de combustibles y emisiones de gases de efecto invernadero

Según el Balance de Energía del 2019 publicado por el Ministerio de Energía y Minas<sup>30</sup>, el consumo anual de combustible del sector ferroviario es de 219 Miles de Barriles de Diesel B5, con un total de 89 mil Ton. de emisiones de CO<sub>2</sub>. Se podría traducir por una demanda de 23,000-24,000 toneladas de H<sub>2</sub>V por año<sup>31</sup>.

<sup>27</sup> [https://www.culturacusco.gob.pe/dmdocuments/machupicchu/PMSHM\\_DISENO\\_CONSOLIDADO.pdf](https://www.culturacusco.gob.pe/dmdocuments/machupicchu/PMSHM_DISENO_CONSOLIDADO.pdf)

<sup>28</sup> [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/404063/Transportes\\_Ferrovicario\\_1\\_1.xlsx](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/404063/Transportes_Ferrovicario_1_1.xlsx)

<sup>29</sup> Adicionalmente existen 33 km de uso público concesionados de la red del tren eléctrico de Lima metropolitana.

<sup>30</sup> <http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=633>

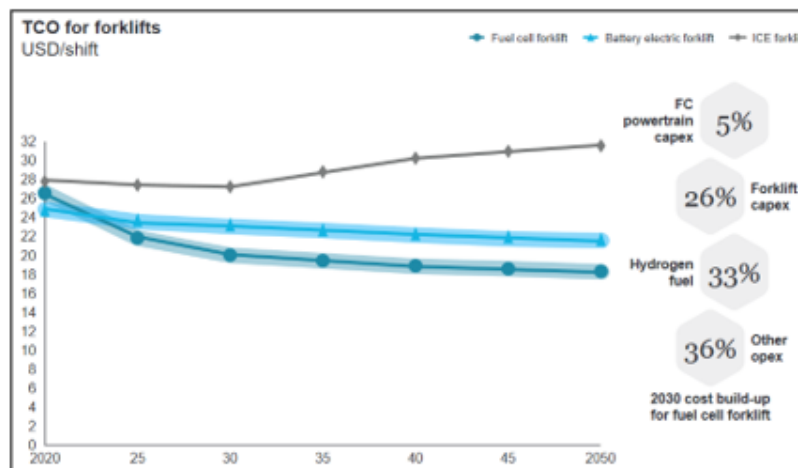
<sup>31</sup> Estimación de elaboración propia, asumiendo: 12.65 kW/kg Diesel > 1,125.85 GW de energía Diesel. Para ~400 GW de energía generada se requiere ~800 GW de energía H<sub>2</sub>, ~23,000-24,000 ton de H<sub>2</sub> anual.

## CONVERSION DE MONTACARGAS

Los montacargas, también conocidos como grúas horquilla, son una de las aplicaciones del hidrógeno que mayor competitividad presentan actualmente frente a la alternativa de combustibles fósiles e incluso frente a los montacargas eléctricos a baterías.

De acuerdo con estudios realizados por el Hydrogen Council<sup>32</sup>, en 2021, los montacargas más económicos fueron los eléctricos a baterías, con un costo total de posesión (TCO por sus siglas en inglés) de 24 USD/operación<sup>33</sup>, seguidos de los montacargas eléctricos a celda de combustible de hidrógeno en 26 USD/operación y, siendo la opción más cara, los montacargas a combustión interna con 28 USD/operación. La proyección de costos de estas tres tecnologías de montacargas señala que para el año 2030 la tecnología más barata será el eléctrico a celda de combustible, con 20 USD/operación mientras que el eléctrico a baterías costará 23 USD/operación y el de combustión interna se mantendrá en 28 USD/operación.

**Figura 6: Proyecciones de TCO según tipo de montacargas**



Fuente: Hydrogen Council [https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness\\_Full-Study-1.pdf](https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf)

Los montacargas eléctricos son relevantes debido a que un alto número de estos equipos operan en almacenes o bodegas techadas, lo que significa que la combustión interna es un riesgo para la salud de los ocupantes y trabajadores del almacén. Ahora bien, aunque tanto eléctricos con baterías como eléctricos a celda de combustible son ambas tecnologías libres de emisiones de GEI, existen diferencias importantes entre ellos:

- CAPEX: los montacargas a baterías pueden ser igual o más costosos que los de celda de combustible, ya que es necesario adquirir dos sistemas de baterías: uno para ser usado mientras el otro es recargado en un sitio dentro del almacén o bodega.
- Disponibilidad de espacio: Los almacenes operando con montacargas eléctricos demandan de un espacio específico para recargar la batería adicional y para hacer las maniobras de cambio de batería. Dicho espacio de recarga de montacargas eléctricos dependerá del número de

<sup>32</sup> Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective (Hydrogen Council, 2020)

<sup>33</sup> El análisis asume que un montacargas opera en un almacén en dos turnos de ocho horas por día con un reabastecimiento de combustible capaz de cubrir ambos turnos.



unidades que se encuentren en operación, mientras mayor número, mayor requerimiento de espacio<sup>34</sup>.

- Recursos humanos involucrados: es necesario disponer de al menos dos operadores para el cambio de batería de los montacargas, ya que por su peso esta sería una operación riesgosa para un solo operador. Por su parte, los montacargas de celda de combustible son recargados de gas por el mismo operador del vehículo.
- Velocidad de operaciones: los montacargas eléctricos a baterías tienen, por la naturaleza de su sistema energético, una pérdida de velocidad conforme se descarga su batería, lo que significa un menor número de operaciones por hora respecto a los montacargas de gas natural, gas LP, diésel o hidrógeno, los cuales conservan el mismo desempeño desde la carga completa hasta agotar su combustible.
- Tiempos de recarga: los montacargas de combustión interna y los de celda de combustible de hidrógeno tienen tiempos de recarga que van de los 3 a 8 minutos, mientras que la operación de desplazamiento al patio de baterías, desconexión de la batería agotada, cambio de batería y retorno al área operativa puede tomar de 20 a 25 minutos que a lo largo de un día de operación puede significar de 60 a 80 minutos desaprovechados.

A pesar de que los montacargas a celda de combustible tienen múltiples ventajas sobre los de batería, existen también desventajas y es que los sistemas de celda de combustible son más ligeros que los de batería y en los montacargas el peso es relevante, ya que de ello depende su capacidad de carga. Esta disminución de la capacidad de carga puede impactar cuando los montacargas trabajan cerca de su peso máximo, sin embargo, incluso en esos casos es posible compensar el peso con contrapesos metálicos (bloques de acero).

Los montacargas de celda de combustible constituyen una tecnología madura. En el mundo actualmente se estiman más de 25 mil unidades operando en países como Estados Unidos, Alemania y Japón. Si bien son una aplicación cuya demanda de hidrógeno es limitada, la adopción de estos vehículos puede representar el desarrollo de un proyecto completo en la cadena de valor del H<sub>2</sub>V, partiendo desde la fuente de energía renovable, pasando por la producción, acondicionamiento, dispensado y hasta el uso final del hidrógeno en un sistema de celda de combustible. Esto tiene un valor muy grande en las etapas tempranas de adopción del hidrógeno dentro de una economía, ya que permite a los desarrolladores de proyectos aprender de toda la cadena de valor, identificar proveedores y aprender sobre la técnica de instalación y operación de electrolizadores, compresores y dispensadores de hidrógeno vehicular.

---

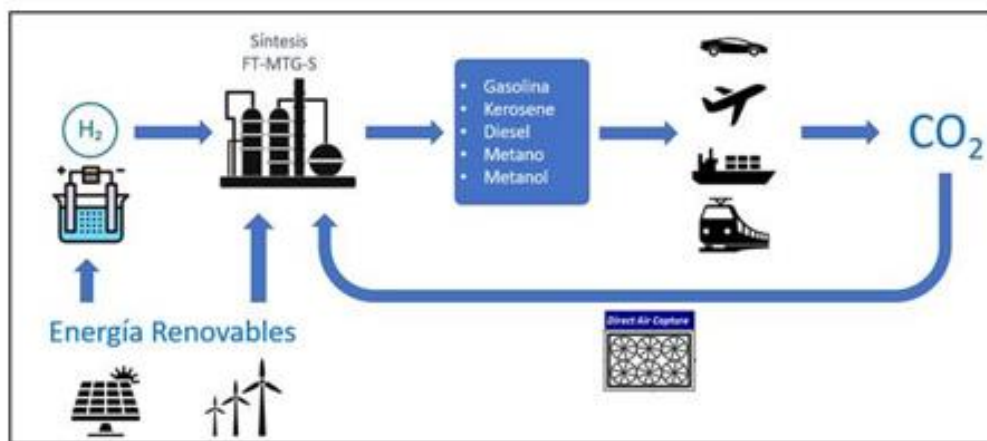
<sup>34</sup> Según estimaciones del Department of Energy (DOE), los montacargas con celdas de combustible solo requerirían el 25% del espacio destinado para cambio y recarga de baterías mientras que en términos generales la relación de área total requerida podría ser en una proporción de 20 a 1. Adicionalmente, los montacargas eléctricos requieren que las instalaciones se encuentren en áreas techadas, con lo cual ocuparían espacio al interior de los almacenes.

## COMBUSTIBLES SINTETICOS

Un hidrocarburo está compuesto por moléculas tipo  $C_x H_y$ , donde “x” es el número de átomos de carbono e “y” es el número de átomos de hidrógeno; de esta manera  $CH_4$  es Metano (Gas Natural) y  $C_{12}H_{26}$  es Diesel (fórmula simplificada).

El hidrógeno, en combinación con  $CO_2$ , puede convertirse en un combustible sintético. La captura de carbono para producción de combustibles sintéticos es preferible que provenga de fuentes no evitables.

**Figura 7: Hidrogeno y Combustibles Sintéticos**



Fuente: ENAP Chile.

Porqué Combustibles Sintéticos y no H2V directamente?

- El  $H_2$  es difícil de transportar (baja densidad energética por  $Sm^3$ ) y su transporte es costoso.
- No existe una infraestructura para su transporte, distribución y uso final a gran escala.
- Para los combustibles sintéticos, ya existe capacidad de almacenamiento, infraestructura de transporte, distribución y el uso final no requiere de adecuación. La infraestructura y logística actual de los combustibles tradicionales son compatibles en su mayoría con la de los combustibles sintéticos carbono-neutrales, así como las tecnologías para su uso final.

En la actualidad los combustibles sintéticos son más costosos que los combustibles convencionales; sin embargo, el costo de la energía es y será uno de los principales factores para la determinación del costo final.

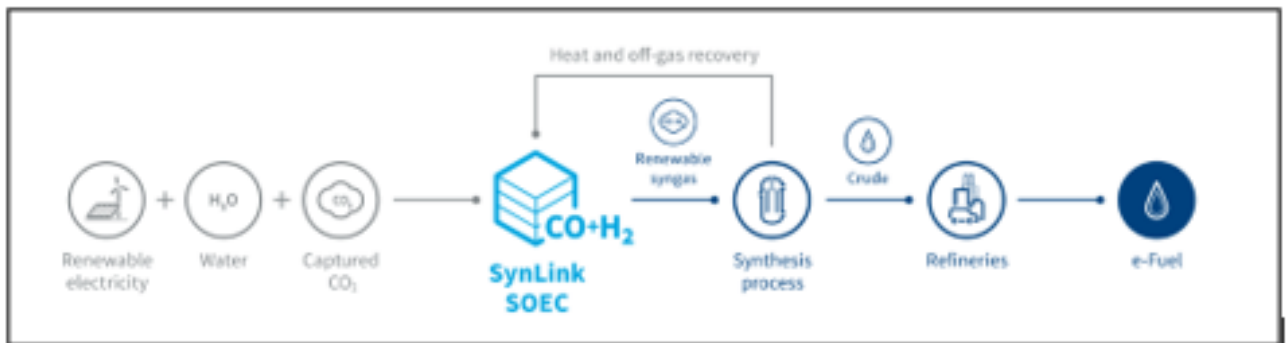
En 2021 comenzó en la región de Magallanes, en Chile, la construcción de Haru Oni; el primer proyecto de eCombustibles de Sudamérica. El piloto obtendrá  $H_2V$  del agua con tecnología de electrolisis suministrada por energía eólica. El  $H_2V$  será combinado con  $CO_2$  capturado de la atmósfera y mediante proceso de síntesis se producirá metanol. A partir de ello, se obtendrá gasolina carbono neutral que podrá ser utilizada en vehículos convencionales sin modificación alguna. La planta piloto tiene previsto iniciar su producción a mediados de 2022, con una producción de alrededor de 350 tn/año de metanol crudo y 130 mil litros/año de e-fuel; ambos combustibles serán almacenados en estanques y transportados en camiones hacia Puerto Mardones, a unos 35 kilómetros del proyecto para su exportación. Más adelante, la capacidad se irá ampliando a 55 millones de litros en una primera etapa (2024) y a alrededor de 550 millones de

litros en el año 2026. Andes Mining & Energy (AME) es el desarrollador principal del proyecto a través de Highly Innovative Fuels (HIF), y tienen como principal offtaker a Porsche, para suministrar el mercado europeo. Porsche ya se encuentra en fase de pruebas con los e-fuels, que utilizará en sus propios vehículos con motor de combustión. También forman parte del proyecto Haru Oni las empresas Enel, ExxonMobil, Siemens Energy, Gasco y ENAP.

Para la producción de jet fuel se usa principalmente Syngas ( $H_2 + CO_2$ ), que es un producto que puede transformarse en varios productos de hidrocarburos. En este caso, el electrolizador procesa simultáneamente vapor de agua y  $CO_2$  para producir syngas en un solo paso.

El syngas puede ser procesado para varios productos incluyendo e-Fuels, sin que se requiera la adaptación de las infraestructuras industriales y de transporte existentes. El proceso para obtener combustible consiste en utilizar el syngas a través de un proceso de síntesis Fischer-Tropsch para obtener crudo renovable y luego refinarlo para obtener el combustible sintético.

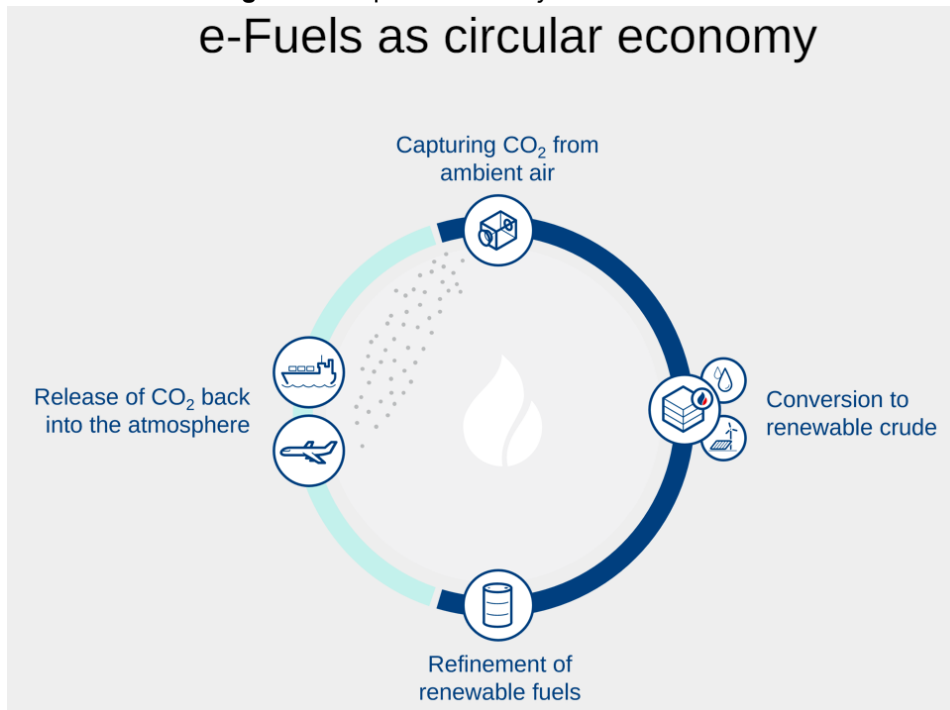
**Figura 8:** Proceso del Syngas



*Fuente: Sunfire.de.*

NORSK e-fuel es el primer piloto a nivel industrial del proceso Power-to-Liquid. El proyecto planea convertirse en la primera planta comercial europea de jet fuel renovable en Noruega. El producto de la primera planta convertirá recursos de energía renovable en 10 millones de litros de jet fuel por año, lo que proveerá suficiente combustible para reducir en 50% las emisiones de  $CO_2$  de las 5 principales aerolíneas domésticas.

**Figura 9:** Esquema del Proyecto Norsk e-fuel



Fuente: [norsk-e-fuel.com](http://norsk-e-fuel.com)

Existen en la actualidad iniciativas de diversas empresas que manufacturan aviones en cuanto al uso del hidrógeno como combustible para aviación. Sobre el particular, Airbus anunció prototipos que podrían operar completamente a hidrógeno y estima que dichas aeronaves podrían entrar en servicio hacia el 2035<sup>35</sup>. Por su parte, el Instituto de Tecnología Aeroespacial de UK (ATI por sus siglas en inglés) se encuentra desarrollando bajo el programa FlyZero<sup>36</sup> prototipos de aviones a hidrógeno, así como identificando y delineando los elementos requeridos para la cadena de valor de repostaje de dicho combustible. Se espera que en el 2022 se compartan los resultados del proyecto. La ATI coincide en el horizonte de mediados de la década del 2030 para que estos aviones entren en operación comercial. Uno de los prototipos de la ATI estaría orientado a los sectores de transporte aéreo que actualmente contribuyen con el 93% de emisiones de carbono de la industria aeronáutica. Parecería que la visión de Boeing sobre los aviones a Hidrógeno se orientaría hacia el 2050<sup>37</sup>.

En la actualidad, las aerolíneas consumen cantidades masivas de jet fuel de procedencia fósil para movilizar personas por el mundo, emitiendo cientos de miles de toneladas de CO<sub>2</sub> por año. En el caso particular del Perú, el sector aeronáutico constituye un nicho interesante, teniendo en cuenta su condición de hub de vuelos para la región, donde generalmente se hace recarga de combustible de las aeronaves. Considerar esta tendencia en los planes de desarrollo y posicionamiento del país en un futuro, su potencial como hub de aviación así como el factor de tráfico turístico, aunado al tiempo que implica el implementar la cadena de valor correspondiente indicaría la conveniencia de incorporar estos temas como parte de una política de desarrollo de la industria del H2V.

<sup>35</sup> [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2020-09-22/aviones-hidrogeno-airbus-cero-emisiones\\_2757564/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2020-09-22/aviones-hidrogeno-airbus-cero-emisiones_2757564/)

<sup>36</sup> <https://www.ati.org.uk/news/one-stop-zero-carbon-emission-global-flight/>

<sup>37</sup> <https://actualidad aeroespacial.com/el-hidrogeno-de-la-ue-no-se-utilizara-ampliamente-en-aviones-antes-de-2050-segun-airbus/>

El marco para estas iniciativas requiere de un compromiso de desarrollar planes de sostenibilidad que incluyan la investigación del hidrógeno como el combustible del futuro<sup>38</sup>. Siete principales fabricantes de la industria emitieron la referida declaración conjunta y un llamado a la acción por parte de la cadena de valor aeroespacial, todo ello como parte del compromiso de lograr carbono neutralidad para el 2050<sup>39</sup>.

## MINERIA

Los camiones mineros de hoy en día consumen grandes volúmenes de combustible cuando mueven cientos de miles de toneladas. En promedio para mover una máquina de estas, que llega a una velocidad máxima de 64 kilómetros por hora, se necesita hasta 40 galones (150 litros) de petróleo por hora<sup>40</sup>.

El desarrollo sostenible en el sector minero busca incorporar el H<sub>2</sub>V en equipos y procesos mineros, enfocándose en aquellos difíciles de electrificar como es el caso de camiones mineros de alto tonelaje. Un ejemplo de ello es la empresa Komatsu que ha anunciado el desarrollo de un camión minero electrificado que pueda funcionar con diversas fuentes de energía, entre ellas la propulsión eléctrica de batería, mediante una catenaria (tipo ferrocarril/tranvía), eléctrica-diésel o incluso con pila de combustible de hidrógeno<sup>41</sup>. Asimismo, Anglo American está avanzando en los planes para convertir su flota de camiones mineros gigantes alimentados con diésel a energía de hidrógeno. El alcance del proyecto estima que se podrían reconstruir más de 400 camiones mineros para usar combustible de hidrógeno, con un proyecto piloto que comenzará en 2021 en la mina de operación a cielo abierto Mogalakwena de Anglo American Platinum Ltd. en Sudáfrica<sup>42</sup>.

En el Perú hay dos proveedores que lideran el suministro de camiones mineros de alto tonelaje, Caterpillar y Komatsu, siendo los modelos más representativos el Cat 797F y el Komatsu 930E, respectivamente.

La transición energética en el sector minero alentará a que el Perú presente una potencial demanda de H<sub>2</sub>V en este sector a una visión al 2050. Este potencial estimado se encuentra en 112,338 toneladas al año para dicho horizonte. Asimismo, y en línea con el compromiso de descarbonización de varias compañías mineras, se estima que para el 2030 se tengan unidades en modo demo que demandaría H<sub>2</sub>V en aproximadamente 5,929 toneladas al año<sup>43</sup>.

<sup>38</sup> <https://investors.boeing.com/investors/investor-news/press-release-details/2021/Aviation-Industry-Chief-Technology-Officers-Issue-Joint-Call-to-Action-to-Deliver-Sustainable-Aviation-Plans/default.aspx>

<sup>39</sup> Las empresas son Airbus, Boeing, Dassault Aviation, GE Aviation, Pratt & Whitney, Rolls-Royce y Safran  
<https://www.adsgroup.org.uk/wp-content/uploads/sites/21/2021/10/AD-CTO-Forum-Joint-Statement-Locked-Text-v3-all-signatures-updated.pdf>

<sup>40</sup> <https://energiminas.com/lo-que-no-sabias-de-los-camiones-mineros/>

<sup>41</sup> <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/komatsu-anuncia-camiones-mineros-electricos-cero-emisiones-combinando-varias-tecnologias/20210804120357047641.html>

<sup>42</sup> <https://iimp.org.pe/quienes-somos/anglo-american-creara-el-primer-camion-minero-impulsado-por-hidrogeno>

<sup>43</sup> *Supuestos: se han contemplado un total de 318 camiones mineros presente en el Perú que pueden cargar más de 300 toneladas.*

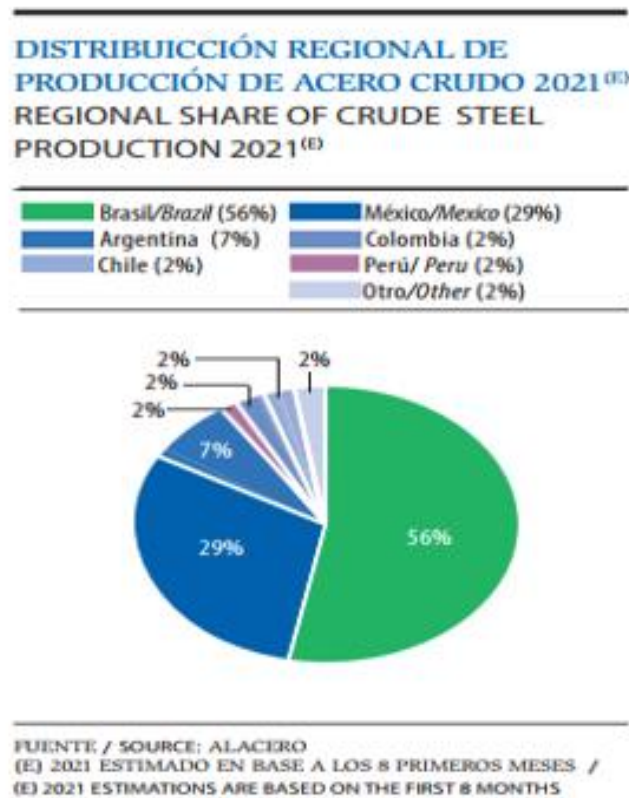
- *Se han contemplado un total de 598 camiones mineros presente en el Perú que pueden cargar entre 100 a 200 toneladas<sup>43</sup>. Camiones y camionetas, aliado estratégico para operaciones constantes, Rumbo minero, 2020*
- *En promedio, el consumo que tendría los camiones mineros que pueden transportar más de 300 toneladas es de 1 tonelada diaria<sup>43</sup>. Hidrógeno verde en minería, H2 Chile, 2020*
- *Se ha considerado que el consumo de los camiones mineros que pueden transportar entre 100 a 300 toneladas es de 0.7 tonelada diaria, 30% menor al mencionado previamente.*



## ACERO

Perú cuenta con dos productores principales de Acero, Aceros Arequipa S.A. y Siderperu (Gerdau). Según los estimados de ALACERO<sup>44</sup>, el Perú ocuparía el sexto lugar en producción de acero crudo en Latino América con una producción de 1.234 millares de TN para 2021<sup>45</sup>.

**Figura 10:** Latinoamérica, Producción regional de Acero crudo, estimación 2021



La Agencia Internacional de Energía (IEA) proyecta que la demanda mundial de acero al 2050 crecerá en un 33%. Si bien los estimados actuales es que los costos adicionales de fabricar acero verde se encontrarían entre un 16%-29% también se estima que las empresas siderúrgicas que no reduzcan su impacto ambiental podrían perder un 14% de valor<sup>46</sup>. El acero es un producto que es requerido a lo largo de cadenas industriales de producción, en la construcción y la minería principalmente. Descarbonizar la siderurgia impacta positivamente el balance de emisiones de las actividades que utilizan el acero, incluyendo las relacionadas a la transición energética.

A nivel industrial el mercado nacional recibe de Aceros Arequipa y SiderPeru (Gerdau) productos y equipamiento industrial tales como tubos laminados, galvanizados, perfiles y ángulos, bobinas y planchas galvanizadas. En el caso del sector industrial el incremento en la demanda de productos de acero se encuentra relacionado al crecimiento industrial nacional o internacional y la

- Se considera un factor de uso del día del camión minero del 80%.

<sup>44</sup> Asociación Latinoamericana del Acero, integrada por empresas productoras y afines de 19 países, entidad reconocida como organismo Consultor Especial por las Naciones Unidas. A nivel Perú, Aceros Arequipa SA y Siderperu (Gerdau) son miembros de ALACERO.

<sup>45</sup> ALACERO "America Latina en Cifras 2021"

<sup>46</sup> Según lo refiere Peter Orsztag citando diferentes fuentes en el artículo "The Next Big Green Thing: Steel".

efectividad de la producción nacional de competir con importadores (mercado nacional) o con otros productores (mercado internacional). El acero verde podría crear el elemento diferenciador que contribuya a la competitividad y posicionamiento del acero peruano.

Por su parte, la demanda de acero en el sector construcción incluye, entre otros, el suministro de barras de construcción, alambρόn, rollo de construcción, fierro, calaminas, alcantarillas y guardavías. Todos ellos relacionados a actividades de construcción tanto pública (como serían obras de infraestructura, programas sociales, expansión vial/ conectividad) como privada (crecimiento urbano como serían edificios, condominios, etc.). Los estimados indican que la actividad global de construcción podría crecer un 42% al 2030<sup>47</sup>.

La minería es otra actividad de crecimiento como parte del esfuerzo de reducir emisiones y en algunos casos se estiman incrementos de hasta 4x en la demanda de ciertos metales y minerales asociados a sistemas con un menor nivel de emisiones<sup>48</sup>, lo cual seguramente requerirá mayor cantidad de acero no solo para infraestructura minera sino también para actividades relacionadas al procesamiento de minerales (e.g. bolas de acero para los procesos, barras mineras). Las estadísticas del MINEM<sup>49</sup> refieren incremento de producción en los principales metales e informa de 43 proyectos de construcción de mina en la nueva cartera 2021 que abarca el periodo 2022-2025. La mayoría de dichos proyectos se encuentran en las zonas Centro y Sur del País. Posiblemente uno de los datos más interesantes es el monto de inversiones mineras que informa una cifra de US\$ 3,974 millones. Dicha inversión incluye un incremento de 70% en infraestructura minera.

Como mencionáramos, los objetivos globales de carbono neutralidad y la necesidad de reducir el nivel de aceleración del cambio climático afecta el mercado requiriendo mayor suministro de productos que apoyen la transición, siendo el acero uno de aquellos productos. A manera de ejemplo podemos referir la manufactura de turbinas eólicas en donde se estima que se requieren 140TN de acero para una turbina promedio<sup>50</sup>, con lo cual la demanda de acero se verá incrementada con el crecimiento de la demanda por parte de países productores de turbinas. En cuanto a la energía solar, el acero se utiliza en los soportes de los paneles solares, intercambiadores de calor y, por supuesto, en las bombas y tanques.

---

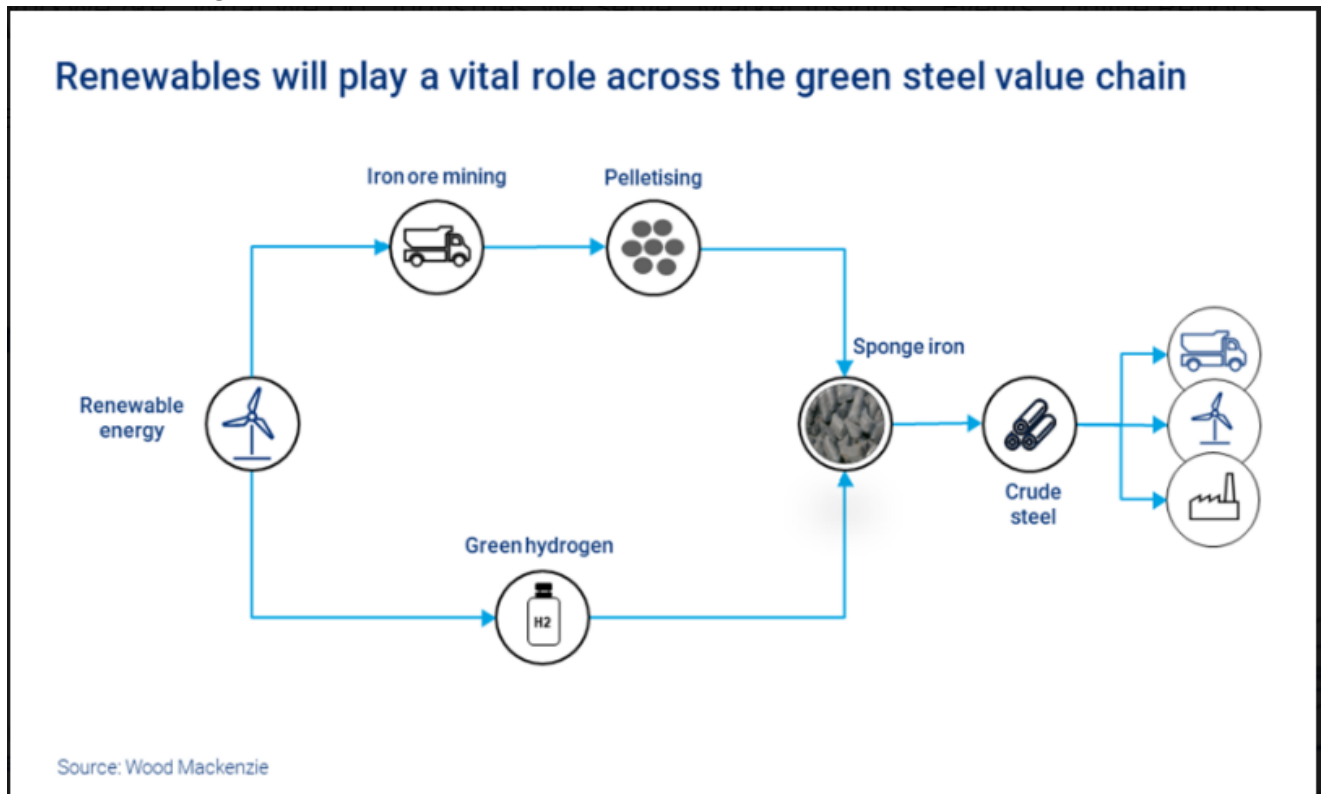
<sup>47</sup> Con relación a niveles del 2020 <https://www.construccionlatinoamericana.com/news/Construccion-crecer-un-42-a-2030/8015281.article>

<sup>48</sup> Como referencia, La International Copper Association estima que para el 2027 la demanda de cobre a nivel global crecerá un 56% respecto a los niveles del 2018 vinculado predominantemente a los requerimientos de energía eólica y solar <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2019/04/2020renewables-to-significantly-increase-copper-demand-by-202711.pdf>

<sup>49</sup> Ministerio de Energía y Minas, Boletín Estadístico Minero, edición Octubre 2021

<sup>50</sup> infográfico "El Acero y las Energías Renovables" ALACERO, World Steel Association y otros. Una turbina de 8MW con hélices de 80mt en promedio contiene 80% de acero.

**Figura 11:** Rol de los renovables en la cadena de valor del Acero verde



Fuente: Wood Mackenzie<sup>51</sup>

En términos generales se puede decir que por cada tonelada de acero se emiten 1.85 ton de CO<sub>2</sub><sup>52</sup>. Este nivel de emisiones estimadas representa entre el 7% y el 10% del total de emisiones a nivel global.

La mayor contribución de emisiones totales de CO<sub>2</sub> proviene principalmente de las reacciones químicas requeridas para separar el hierro, proceso conocido como DRI (*direct reduction iron*) que actualmente utiliza carbón<sup>53</sup> y gas natural para dicho proceso. De las 2MM Ton de acero de consumo mundial, el 70% es primario (a partir del mineral de hierro que utiliza el DRI) y el 30% es reciclado del acero<sup>54</sup>. La industria siderúrgica peruana tiene un fuerte componente de reciclado de acero, lo cual en términos conceptuales libera menos emisiones de CO<sub>2</sub>.

No obstante ello, es interesante notar que en el Perú el consumo de carbón mineral por parte de empresas relacionadas a la fabricación del acero representó el 3.9% del total del sector industrial<sup>55</sup>. Dicho consumo indicaría la posibilidad de identificar medidas para reemplazar ese carbón con H<sub>2</sub>V lo cual contribuiría a reducir niveles de emisiones e impactaría positivamente la balanza de pagos toda vez que se importa carbón a precios internacionales. El H<sub>2</sub>V se vislumbra como un energético que puede sustituir el metano y el carbón en procesos de DRI y también

<sup>51</sup> <https://www.woodmac.com/news/opinion/green-steel--will-sweden-be-the-trailblazer/>

<sup>52</sup> World Steel Association, "Climate Change and the production of iron and steel", cifra promedio que considera DRI y producción secundaria (2020). La Fact Sheet Hydrogen (H<sub>2</sub>)- based ironmaking indica que la relación podría ser de hasta 2.21 tn de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de acero.

<sup>53</sup> La IEA estima que a nivel global el carbón representa el 75% de la demanda de energía de la industria del Acero [www.iea.org/reports/iron-and-steel](http://www.iea.org/reports/iron-and-steel)

<sup>54</sup> Energía hoy citando a Marcel Deprez de CAP en el congreso de Hydrogen LatinAmerica 2021

<sup>55</sup> Balance Energético Nacional 2019, el total de consumo a nivel industrial fue de 741 041,5 x 103 kg de carbón mineral.

servir como combustible para los procesos de la manufactura de productos de acero o pudiera suministrar subproductos necesarios para los procesos correspondientes<sup>56</sup>. A manera de referencia y para efectos de estimación de demanda potencial de H<sub>2</sub>V en la industria del Acero, los indicadores refieren que la fabricación de acero primario requeriría 50 Kg de H<sub>2</sub> por 1 Ton de acero<sup>57</sup> mientras que en el reciclaje de acero (reutilizar acero en el proceso de fabricación) el requerimiento estimado sería de 25kg de H<sub>2</sub> por 1 Ton de acero<sup>58</sup>.

A nivel global se han generado diversas iniciativas y pilotos de Acero Verde y dada la importancia en la reducción de emisiones, proyectos europeos como Hybrit<sup>59</sup> y el de ArcelorMittal Hamburg<sup>60</sup> han sido identificados como beneficiarios de fondos gubernamentales. A nivel Latinoamérica, CAP (Chile) ha indicado que han iniciado un trabajo de prototipo de acero verde a través de una planta piloto, que se estima entrará en operación en el 2028<sup>61</sup>. CAP estima que la descarbonización podría conseguirse con el reemplazo del metano por hidrógeno en los hornos de reducción directa (altos hornos) y la alimentación con minerales de hierro que sean distintos al “pellet de Reducción Directa”<sup>62</sup>.

Los potenciales beneficios del hidrógeno y subproductos podrían contribuir a mantener una industria siderúrgica peruana de primer nivel y con contenido bajo de emisiones, efecto que se extendería a la utilización de dichos productos en las cadenas de valor correspondientes. Partiendo de producción del 2019 (antes de la pandemia) hemos estimado rápidamente las potenciales implicancias de descarbonización del acero en el Perú.

En el 2019, Corporación Aceros Arequipa y Siderperú (Gerdau) tuvieron una producción nacional de 1,507,973 toneladas<sup>63</sup>. La transición energética alentaría a que esta industria demande H<sub>2</sub>V a mediano plazo, siendo los estimados potenciales los siguientes:

- Para el año 2030: se demandaría 8,745 ton/año, considerando un plan piloto que considere que el 15% de la producción de acero tenga como insumo H<sub>2</sub>V.
- Para el año 2040: se demandaría 25,760 ton/año, considerando que el 40% de la producción de acero tenga como insumo H<sub>2</sub>V.
- Para el año 2050: se demandaría 71,138 ton/año, considerando que la producción de acero se realice en su totalidad con H<sub>2</sub>V.

#### Supuestos:

- Se ha considerado un crecimiento anual de la producción nacional de acero de 1%.

---

<sup>56</sup> Otra oportunidad vinculada al hidrógeno verde en la siderurgia se relaciona al hecho que los procesos en los hornos utilizan oxígeno puro, incluso en procesos en hornos eléctricos. El oxígeno es un subproducto de la electrolisis que separa el hidrógeno verde. El oxígeno liberado de la electrolisis del hidrógeno verde podría capturarse e inyectarse directamente con lo cual se favorecería su uso y se reducirían costos permitiendo beneficiarse de actividades de economía circular

<sup>57</sup> Según la referencia al caso de Alemania

[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/641552/EPRS\\_BRI\(2020\)641552\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/641552/EPRS_BRI(2020)641552_EN.pdf)

<sup>58</sup> Asumiendo ciertas condiciones de mezcla tal como lo indica el artículo “Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking” <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.279>

<sup>59</sup> Hybrit es un Joint Venture de SSAB, LKAB y Vattenfall, en Suecia. En el 2021 se manufacturó la primera muestra de Acero Verde y el proyecto ha sido seleccionado por el EU Innovation Fund para recibir fondos europeos para investigación y desarrollo.

<sup>60</sup> En setiembre del 2021 el proyecto recibió un compromiso del Gobierno alemán para la construcción de una planta de demostración de acero verde que entraría en producción en el 2025. En setiembre la contribución se encontraba pendiente de aprobación por la Unión Europea.

<sup>61</sup> <https://energiyahoy.com/2021/12/07/hidrogeno-puede-ayudar-a-descarbonizar-industria-del-acero/>

<sup>62</sup> Presentación efectuada por Marcel Deprez (CAP) durante el Hydrogen Latin America 2021.

<sup>63</sup> Según consta respectivamente en la Memoria Anual 2019, Siderperú (Gerdau) y en la Memoria Anual 2019, Corporación Aceros Arequipa.

- Se ha considerado que las empresas nacionales producen acero con un 60% de acero reciclado.

## CEMENTO

Conforme lo indica el Banco Mundial<sup>64</sup> en la actualidad alrededor del 55% de la población mundial vive en ciudades y se estima que para el 2050 casi 7 de cada 10 habitantes vivirán en una ciudad. Se anticipan desafíos de urbanización que incluyen construcción de viviendas, sistemas de transporte, infraestructura y servicios básicos, por ende, incremento en la demanda de materiales de construcción como es el cemento y derivados.

Según la IEA<sup>65</sup> en el 2018 la industria del cemento representaba el 7% de emisiones globales de CO<sub>2</sub> y era al mismo tiempo a nivel global el tercer sector industrial con mayor demanda de energía. Producir una tonelada de cemento involucra altos niveles de GEI. Las fuentes de emisión de GEI podrían diferenciarse en términos prácticos de la siguiente manera <sup>66</sup>:

- ~50% de las emisiones son directas y se vinculan a la calcinación, un proceso en el que la piedra caliza se calienta y se descompone en óxido de calcio y CO<sub>2</sub>.
- ~40% de las emisiones son indirectas, vinculadas al uso de combustibles fósiles como el petróleo, carbón o el gas natural que se queman para calentar el horno (clinkerización).
- ~10% de las emisiones son indirectas, producto de la electricidad utilizada para las operaciones.

Las emisiones indirectas se pueden reducir cambiando a biocombustible o a fuentes de energía renovable.

Se estima que el crecimiento en la demanda de hormigón<sup>67</sup> y por ende del cemento llegará a un 12-23% para el 2050<sup>68</sup>. Consecuente con el nivel de emisiones y los objetivos globales del Acuerdo de París, Instituciones como la Global Cement and Concrete Association (GCCA)<sup>69</sup> ha emitido la Declaración de Ambición Climática 2020 y planes de trabajo hacia una carbono neutralidad en 2050<sup>70</sup>.

Cabe notar que tanto Cementos Pacasmayo SAA como UNACEM (fusión de Cementos Lima con Cemento Andino), principales productores peruanos de cemento y derivados son miembros de la GCCA. En Perú, la Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM) se encuentra igualmente afiliada a la GCCA. Incluimos un gráfico representativo de las áreas y actividades identificadas por la GCCA. En el plan de la GCCA carbono neutralidad es entendida como cero emisiones.

**Figura 12:** Plan de Trabajo GCCA – actividades para reducir GHG

<sup>64</sup> <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#1>

<sup>65</sup> IEA (2018), Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry, IEA, Paris. En el 2018 las estimaciones de la Chatam House eran similares e indicaban alrededor del 8% la contribución a las emisiones totales.

<sup>66</sup> <https://www.h2bulletin.com/cement-producers-hydrogen-emission/>

<sup>67</sup> Conforme lo indica la Global Cement and Concrete Association (CGGA), el Concreto u Hormigón comprende todos los productos a base de cemento, incluso productos prefabricados de cemento.

<sup>68</sup> Comparado con los niveles del 2014 (IEA)

<sup>69</sup> Asociación Mundial de Productores de Cemento y el Hormigón, foro privado en el cual se encuentran los principales productores de cemento a nivel global. Adicionalmente hay otras asociaciones como la FICEM a nivel latinoamericano.

<sup>70</sup> <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/11/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Spanish.pdf> refiere que el término "cero emisiones" implica reducir a cero las emisiones de CO<sub>2</sub> en todo el ciclo de vida. Incluye la captura del carbono en las plantas industriales.

**FUTURO DEL HORMIGÓN**

Futuro concreto de la GCCA; plan de trabajo hacia la neutralidad en carbono

10

**ACCIONES PARA UN FUTURO SIN EMISIONES DE CABONO**

**Ahorro en la producción de clinker**

- eficiencia térmica
- ahorro de combustibles residuales ("combustibles alternativos")
- uso de materias primas descarbonatadas
- uso de hidrógeno como combustible

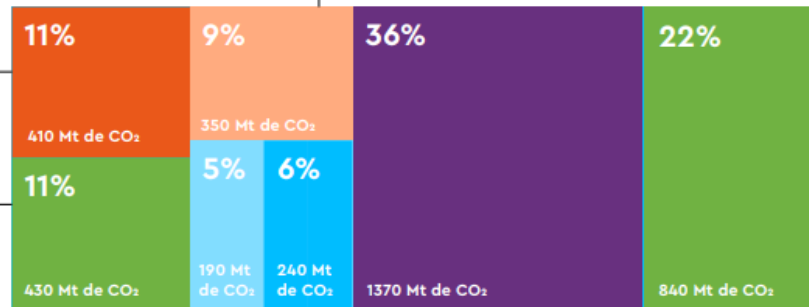
**Ahorro en cemento y aglutinantes**

- Sustitución del cemento de clinker portland. También se expresa a través de la proporción de aglutinante de clinker
- alternativas a los cementos de clinker Portland

**Captura y utilización/almacenamiento de carbono**

- captura de carbono en las fábricas de cemento

PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN AL CERO EMISIONES Y AL CO<sub>2</sub> EN 2050



**Eficiencia en la producción de hormigón**

- diseño optimizado de las mezclas
- optimización de los componentes
- seguir industrializando la fabricación
- control de calidad

**Descarbonización de la electricidad**

- descarbonización de la electricidad utilizada tanto en las plantas de cemento como en la producción de hormigón

**Sumidero de CO<sub>2</sub>: la recarga de carbono**

- absorción natural de CO<sub>2</sub> en el hormigón - un sumidero de carbono

**Eficiencia en el diseño y la construcción**

- el informe del cliente a los diseñadores para permitir la optimización
- optimización del diseño
- eficiencia de la obra
- reutilización y ampliación de la vida útil

Fuente: GCCA<sup>71</sup>

Durante el decenio del 2020 al 2030, el objetivo de la GCCA es reducir 25% de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de hormigón y 20% de CO<sub>2</sub> por tonelada de cemento<sup>72</sup>. Para alcanzar dichos objetivos diversas iniciativas han sido identificadas siendo algunas de ellas la reducción de los combustibles fósiles y el aumento de combustibles alternativos, la sustitución del clinker y la mejora en la eficiencia de los procesos productivos.

La industria del cemento en el Perú utiliza el carbón como fuente primaria de energía<sup>73</sup> y requiere 96.1% del total del carbón consumido por el sector industrial (712 314x 103 kg – ver figura 13). Además de producción nacional, se importa carbón de Colombia y casi el 100% de carbón importado se utiliza en la industria del cemento, con lo cual se presentaría la opción adicional de reemplazar esas importaciones con producción nacional de H<sub>2</sub>V.

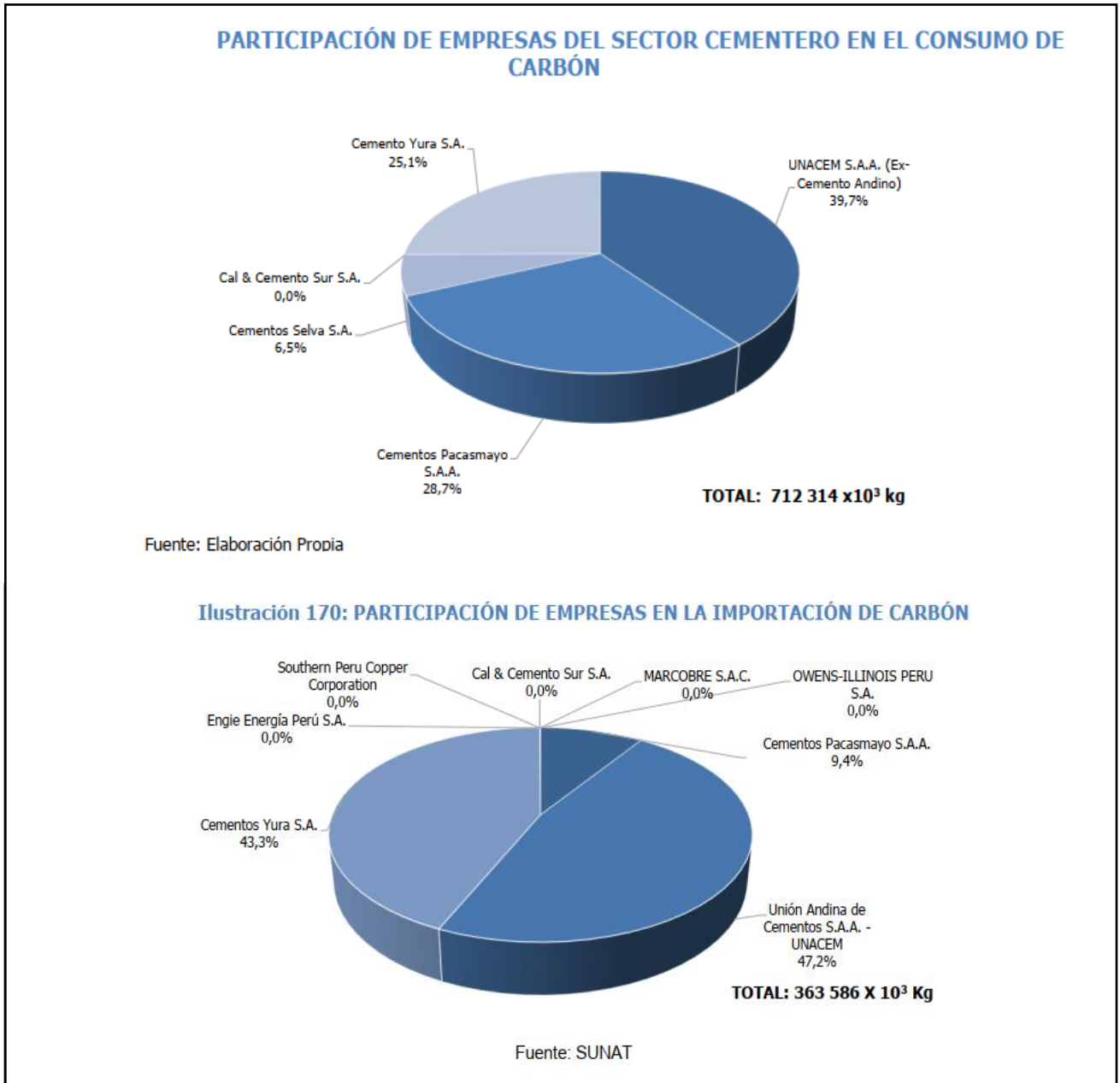
<sup>71</sup> <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2021/11/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Spanish.pdf>

<sup>72</sup> Comparado con la línea de base del 2020.

<sup>73</sup> Balance Nacional de Energía 2019



**Figura 13: Cemento y Carbón Natural BEN 2019**



La reducción de consumo de carbón y sustitución por H2V podría contribuir a las ambiciones de carbono neutralidad de la industria del cemento. Algunas de las aplicaciones a considerar para investigación en la industria peruana:

- H2V como Combustible y/o como vector de almacenamiento de energía: 10% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de cemento provienen del transporte y la energía eléctrica necesaria para operar la maquinaria dentro del proceso de fabricación de cemento. Aplicaciones podrían incluir FCEV para reemplazar los vehículos a diesel; reemplazo de fuente de energía de los ventiladores para mover los gases calientes, las trituradoras de piedra caliza y los molinos de

cemento clinker y el cambio de fuente de energía en el horno rotatorio del proceso de clinkerización.

- OxiCombustion, implicaría la utilización del oxígeno que se extrae del proceso de producción de H2V. La combustión enriquecida con oxígeno requiere modificaciones, pero apoya la descarbonización de la generación de calor. El aumento de la temperatura de la llama implica reducción en combustible, potencial incremento de producción de cemento en un 5-10% debido a la intensificación del proceso, y la posibilidad de mayor concentración de CO<sub>2</sub> en los gases de combustión lo cual permitiría una captura más eficiente de CO<sub>2</sub>. Adicionalmente, este proceso también conllevaría una reducción en equipamiento de producción y se enmarca dentro de soluciones de economía circular.
- Producción de sustitutos al cemento tradicional que involucren diseños de equipos que utilizarán H2V como combustible. En Perú ya se ha iniciado la producción de cemento con menor grado de emisiones de CO<sub>2</sub> (aún no se incluye el H2V).

A manera de referencia, a nivel global se encuentran en investigación o en ejecución múltiples proyectos de descarbonización de la industria y algunas soluciones involucran el uso del H2V. Un caso latinoamericano de éxito por ejemplo es el caso de CEMEX que incluye el H2V en el mix de combustible requerido para calentar los hornos, plan que se inició en el 2019 con un piloto en España y que ahora se encuentra en fase de implementación global. CEMEX ha indicado que para el 2050 producirá hormigón con cero emisiones netas de CO<sub>2</sub>.

### **INYECCIÓN DE H2V EN REDES DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL**

La producción de H2V pudiera encontrarse lejos de los centros de consumo. Por ello es importante que acompañe la promoción de H2V el uso de infraestructura que permita el transporte desde de lugares de gran producción a lugares de altos consumos de manera segura, económica y sustentable. En ese sentido, es eficiente utilizar aquella infraestructura que ya está disponible para transportar una gran cantidad de hidrógeno como serían las redes de transporte de gas natural.

En concentraciones bajas, el hidrógeno se puede mezclar con el gas natural sin desafíos técnicos significativos. En muchas regulaciones de países de Europa y en EEUU, se permite un porcentaje de inyección de hidrógeno en la red de gas a un 5%. Técnicamente se estima que es posible llegar a valores del 10-20% de hidrógeno en red sin grandes inversiones a mediano plazo<sup>74</sup>. El sistema de tuberías puede transformarse paulatinamente de gas natural a hidrógeno con unas inversiones relativamente bajas.

La iniciativa *European Hydrogen Backbone* (EHB) ha propuesto que aproximadamente el 69% de la red de hidrógeno consista en la reutilización de redes de gas natural existentes. Asimismo, el transporte de hidrógeno a más de 1,000 km costaría de media entre 0.11 y 0.21 euros por kg de hidrógeno, lo que convierte al EHB en una opción rentable para el transporte de hidrógeno a larga distancia<sup>75</sup>.

---

<sup>74</sup> Hydrogen: A renewable energy perspective, IRENA, 2019.

<sup>75</sup> The European Hydrogen Backbone vision, European Hydrogen Backbone, 2021.

## 6. Primera aproximación de la potencial demanda nacional de H2V

Consolidando las estimaciones de impacto potencial en los sectores referidos en los párrafos precedentes (al encontrarse disponible la información), el resumen de potencial de demanda de H2V en cada sector para los horizontes 2030, 2040 y 2050 implicaría lo siguiente:

**Tabla 3: Potencial demanda nacional de H2V (Ton de H2V/año)**

	2030	2040	2050
Refinerías	4,597	13,339	15,480
Fertilizantes	8,229	18,503	41,444
Transporte	2,456	16,370	84,035
Inyección en redes de GN	1,361	6,635	30,329
Minería CAEX	5,929	19,763	112,338
Acero	8,745	25,760	71,138
<b>TOTAL</b>	<b>31,317</b>	<b>100,370</b>	<b>354,764</b>

Fuente: Elaboración propia

## **IV. Exportación de H<sub>2</sub>V y derivados**

### **1. Balanza energética de Perú**

Perú es un país rico en recursos naturales, incluidos los energéticos y prueba de ello es su balanza energética de fuentes primarias, que en el año 2017 reportó 1,041,000 TJ distribuidos entre gas natural, petróleo, hidroenergía, carbón mineral y biomasa, lo cual es 4 veces superior al volumen de energía primaria importada, de acuerdo con el MINEM<sup>76</sup> (279,213 TJ en petróleo crudo y carbón mineral).

Lo anterior cambia significativamente cuando analizamos la balanza energética de productos secundarios, donde en el sector hidrocarburos, se importaron 538,315 TJ de productos como diésel, gasolinas y turbosinas, representando esto un 68% del mercado nacional de hidrocarburos secundarios. Este dato invita a reflexionar sobre la relevancia que tiene para un país ser autosuficiente energéticamente por temas de seguridad, pero también sobre las ventajas económicas que tiene producir y exportar energía.

### **2. Potencial exportador de H<sub>2</sub>V**

Actualmente se está desarrollando una carrera por la creación de mercados internacionales de hidrógeno. Japón se perfila como un importante importador de hidrógeno bajo en carbono y ha comenzado a desarrollar proyectos piloto del tema. El primero de ellos, importando hidrógeno desde Brunei<sup>77</sup> en forma de líquidos orgánicos portadores de hidrógeno por 200 toneladas anuales y el segundo importando hidrógeno líquido desde Australia (hasta 100 ton/año H<sub>2</sub>)<sup>78</sup>.

Detrás de Brunei y Australia, países como Marruecos, Portugal, España, Arabia Saudita, los Emiratos Árabes Unidos. Nueva Zelandia, Chile y varios más: han manifestado su interés para exportar este energético hacia Europa y Asia. ¿Qué tienen en común estos países? Principalmente: altos potenciales renovables y planes ambiciosos para invertir su balanza energética o mantenerse como países exportadores de energía y altos potenciales renovables.

Un alto potencial renovable significa energía de buena calidad (irradiación solar o velocidades de viento) que resulte en bajos costos de electricidad para la producción de hidrógeno y altos volúmenes de disponibilidad del recurso, donde alto significa: que no comprometa su demanda local de energía eléctrica renovable o incluso de hidrógeno para aplicaciones como la movilidad o la industria local.

Algunos de los países que más rápidamente se están moviendo hacia una economía del hidrógeno (Europa, Japón, Corea del Sur) no cuentan necesariamente con las mejores condiciones para producir H<sub>2</sub>V de bajo costo: para un país como Perú, significa un potencial mercado de exportación. Hacia el objetivo de país exportador de H<sub>2</sub>V, es necesario adoptar un compromiso integral que involucre a las autoridades y organismos privados para construir una red de producción y transporte que permita un acceso fácil a este recurso energético limpio.

En este contexto, una evaluación detallada sobre el potencial renovable y la demanda proyectada

<sup>76</sup> 2017, MINEM, Balance Nacional de Energía

<sup>77</sup> <https://thescoop.co/2019/11/27/brunei-exports-first-shipment-of-hydrogen-to-japan/>

<sup>78</sup> <http://www.hystra.or.jp/en/project/>

de energía eléctrica e hidrógeno debe llevarse a cabo para determinar la posición que Perú podría tomar en cuanto a exportación de hidrógeno, sin embargo, intuitivamente podemos considerar a Perú como un país con ese potencial dado que, de acuerdo con el estudio “Potencial del Hidrógeno Verde en el Perú”<sup>79</sup> realizado por H2 Perú y ENGIE Impact, el país tiene un potencial de más de 12GW de capacidad instalada de electrólisis alimentada por más de 21 GW de energía renovable, número equivalente a duplicar la capacidad instalada actual de energía eléctrica del país (15,280 MW de acuerdo con MINEM<sup>80</sup>).

### 3. Potencial exportador de derivados de H2V

El hidrógeno es una sustancia que podría exportarse de manera pura, en estado gaseoso (exportaciones terrestres) o líquido (exportaciones marítimas) o como un componente de sustancias derivadas de él como el amoníaco (NH<sub>3</sub>) o el metanol (CH<sub>3</sub>OH).

En el año 2019, Perú reportó importaciones de amoníaco por un valor de 660 mil USD proveniente principalmente de Chile, Colombia y México y por casi 20 millones de USD de metanol proveniente de Trinidad y Tobago, Alemania, Estados Unidos, Francia y Corea del Sur<sup>81</sup>. Lo anterior representa una oportunidad para el Perú invierta la balanza comercial de estos productos y que entre a competir en los mercados internacionales de estas sustancias con un producto que pudiera aspirar a un premium en su precio al ser libre de emisiones, si se produce con H2V.

Para los países actualmente importadores de energéticos, la producción y exportación de hidrógeno y sus derivados puede significar la creación de un mercado valioso. En América Latina, Chile es el país con metas más ambiciosas de exportación de hidrógeno y derivados; estiman que para 2030 su volumen de exportaciones de amoníaco e hidrógeno podría alcanzar los 2,500 millones de USD y hasta 24 mil millones de USD en 2050.

### 4. Factores determinantes

Una vez que un país confirma que tiene posibilidades técnicas de exportar hidrógeno (que se traduce en una oferta relevante, ofrecida de manera constante y a un precio competitivo): lo siguiente que necesita es conocer su costo-competitividad frente a otros potenciales exportadores. Tal y como ocurre actualmente con los *commodities* energéticos, el mercado del hidrógeno se regirá por las leyes de oferta y demanda y aquellos países con menores costos tendrán mayor posibilidad de vender su hidrógeno.

Sin embargo, el costo no será la única variable que influirá en que un país pueda vender hidrógeno en los mercados internacionales. Otros factores incluyen:

- Existencia de acuerdos comerciales con los países de destino, específicamente para el propósito del comercio de H2V.
- Estabilidad macroeconómica: mientras mayor estabilidad tenga un país, menores son los riesgos a la inversión, menores serán las tasas de crédito y mayor será la confianza de los países importadores para desarrollar contratos de largo plazo.

<sup>79</sup> [https://h2.pe/uploads/20210908\\_H2-Peru\\_Estudio-final.pdf](https://h2.pe/uploads/20210908_H2-Peru_Estudio-final.pdf)

<sup>80</sup> <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/minem-capacidad-instalada-de-generaci%C3%B3n-el%C3%A9ctrica>

<sup>81</sup> <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/PER/year/2018/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/290511>

- Apoyo gubernamental: los países importadores preferirán desarrollar acuerdos con aquellos países para los que el H2V representa una política de Estado que con aquellos que no se han comprometido firmemente con la tecnología.

#### **5. Acciones hacia la carrera por la exportación de hidrógeno o sus derivados**

Existen distintas actividades que el Perú podría comenzar a desarrollar desde ahora para perfilarse como uno de los países latinoamericanos en esta carrera por la exportación de hidrógeno, entre las que se incluyen:

- Evaluar el potencial de producción de hidrógeno o sus derivados de Perú en distintos horizontes temporales, compararlo con la demanda local de estas sustancias y cuantificar así un potencial volumen de hidrógeno exportable en el tiempo (excedente sobre la demanda local), que acompañe a la demanda internacional.
- Desarrollar estudios de pre-factibilidad y factibilidad tecno-económica para el negocio de la exportación de hidrógeno o sus derivados.
- Establecer una visión de Estado respecto a la exportación de combustibles renovables y plasmarla, en el caso del hidrógeno, en su Estrategia y Hoja de Ruta nacional.
- Establecer metas cuantitativas del tamaño de proyectos destinados a la exportación de hidrógeno en cierto horizonte temporal, por ejemplo “5 GW de electrólisis en el año 2030”.
- Identificar y desarrollar las capacidades técnicas y financieras necesarias para la ejecución de proyectos “gigawatt-scale” para la producción de hidrógeno, amoniaco y/o metanol.
- Crear las cadenas de suministro necesarias para la producción, acondicionamiento, almacenamiento carga y transporte marítimo de hidrógeno o sus derivados.
- Desarrollar acuerdos tempranos para asegurar la venta futura de volúmenes específicos de hidrógeno a países europeos como Alemania o los Países Bajos o a países asiáticos como Japón y Corea del Sur.

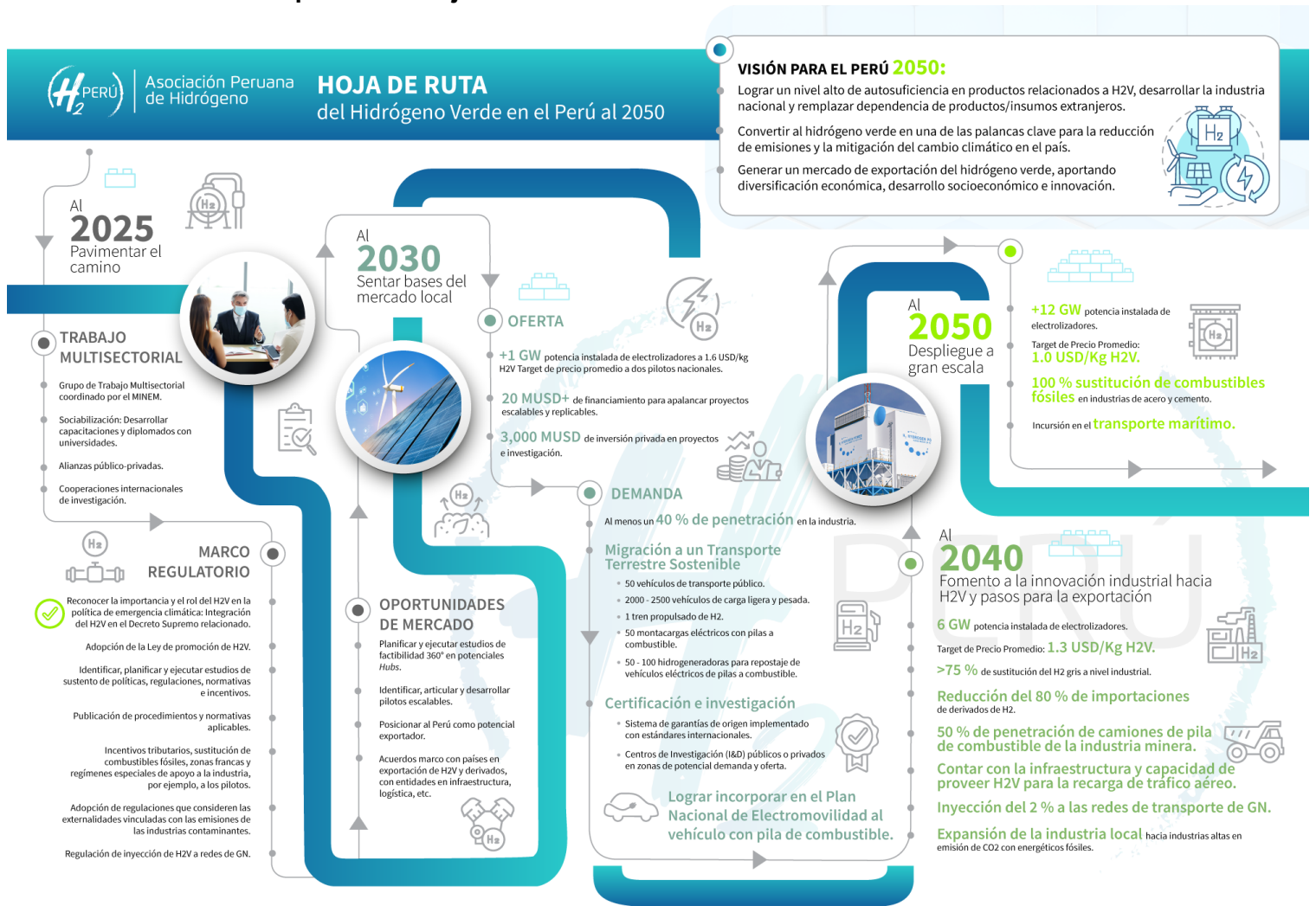


## V. Implementación de una Política de Hidrógeno Verde

Con el desarrollo del hidrógeno verde en el Perú se busca:

- Actuar sobre las brechas en reducción de emisiones que aún tiene el país (ver figura 3)
- Contribuir a la descentralización y a la diversificación de la economía en los hubs de H2V
- Generar nuevas competencias, nuevos empleos, I&D e innovación en la cadena de valor del hidrógeno verde.

### 1. Propuesta de Hoja de Ruta Perú:



## 2. Alcance a toda la cadena de valor

Para que el despliegue de la industria de H2V logre los objetivos que se planteen, es importante que todos los segmentos de la cadena de valor se desarrollen de manera sincronizada y homogénea, ya que el estancamiento de uno de estos segmentos puede tener efecto dominó en los demás, generando cuellos de botella en el desarrollo del mercado. Resulta relevante que las acciones habilitadoras alcancen a todos los segmentos de la cadena de valor del H2V. Evidentemente la magnitud de las acciones en cada segmento será mayor o menor y será dinámica en el tiempo, en función de la madurez que vaya llegando en cada uno de ellos y también en función de los segmentos en los cuales se genera mayor valor.

En efecto, en la guía publicada por IRENA<sup>82</sup>, se menciona que el hidrógeno verde se encuentra en una etapa temprana en la mayoría de las aplicaciones y necesita apoyo de políticas para avanzar de ser nicho hacia una corriente dominante y ser parte de la transición energética. Se indica también que algunas barreras para el despliegue de H2V en varios sectores son relativamente consistentes en todos los usos finales, siendo la barrera de costos la principal y que otras barreras son más específicas del sector y requieren un enfoque personalizado.

En tal sentido, con el objetivo de acelerar la reducción de costos, a fin de hacer al H2V competitivo con fuentes de energía y/o insumos alternativos con altas emisiones de CO<sub>2</sub>, es importante dar especial enfoque en los programas de incentivos a la innovación para la reducción de costos de producción (electrolizadores, plantas de tratamiento de agua u otros), transporte y almacenamiento de hidrógeno.

Por ejemplo, según el documento de estrategia de la Unión Europea<sup>83</sup>, en el Programa Marco de Investigación e Innovación, «Horizonte Europa», se propuso una Asociación para un Hidrógeno Limpio institucionalizada, centrada principalmente en la producción, la transmisión, la distribución y el almacenamiento de hidrógeno renovable, junto con tecnologías seleccionadas de uso final de pilas de combustible. Además, el Fondo de Innovación del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE) de la Unión Europea, reunirá en torno a 10 000 millones de Euros para apoyar las tecnologías con bajas emisiones de carbono durante el período 2020-2030.

Hay múltiples cadenas de valor concatenadas en la industria del hidrógeno. En una cadena primaria (producción a primer uso), la cadena de valor comienza con los insumos que requiere el productor de H2V, y finaliza con el agente que lo utiliza directamente, ya sea como vector energético, como insumo para su transformación o en forma directa como combustible por ejemplo. Se entiende que esta cadena primaria requiere de medidas que apoyen una conversión hacia el uso del H2V (apoyar o reconocer una inversión para transformar sistemas para tal efecto). Cadenas secundarias estarían vinculadas por ejemplo a promover el uso de bienes o servicios que utilicen el H2V en sus procesos.

---

<sup>82</sup> IRENA (2020), Green Hydrogen: A guide to policy making, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

<sup>83</sup> European Commission (2020), COM (2020) 301 – A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe, European Commission.

### 3. Recursos necesarios para la producción de H2V:

#### Electricidad

- Producción: se requiere de energía eléctrica proveniente de fuentes 100% renovables. La producción de H2V empieza con la definición de la fuente renovable, la cual se utiliza para producir el hidrógeno
- Almacenamiento: la planta de generación de energía renovable puede contar con un sistema de almacenamiento. Es una inversión accesoria para evaluar caso a caso, ya que, si bien promueve una producción más homogénea durante el día, puede incrementar el costo de producción, debido a la inversión asociada en la batería. Este punto debiera evaluarse, considerando las ventajas que una producción constante tiene en la reducción del dimensionamiento del sistema productivo del H2V.
- Transporte de electricidad: se requiere transportar la energía renovable generada al punto de suministro del electrolizador, especialmente en los casos donde la generación eléctrica no se encuentra en una zona contigua a la de producción de H2V.

#### Agua

- Suministro: se requiere de una fuente de agua, debido a que el proceso de electrólisis separa las moléculas del agua en hidrógeno y oxígeno. Se podrían dar beneficios especiales para uso de fuentes de agua que no tengan un costo de oportunidad para uso doméstico, pecuario o agrícola, buscando fuentes alternativas (agua de mar o residual) pero compensando el costo a fin de que el precio final del H2V no pierda competitividad. Se debe tener en cuenta que típicamente las regiones con más potencial renovable, tienen menos agua y las comunidades que ahí habitan padecen este efecto.
- Transporte y Tratamiento: el requerimiento para la producción de H2V es de agua desmineralizada. El tratamiento, dependiendo de la fuente de agua, podría incluir la desalinización y desmineralización; por lo que se debieran dar incentivos a este tipo de inversiones que usen agua sin un costo de oportunidad alto. Construir plantas de tratamiento de agua que aprovechen la energía renovable para alimentarse y que produzcan agua tanto para la producción de H2V como para las comunidades tiene un efecto multiplicador de beneficios muy interesante.
- Estudios recientes demuestran que hacia 2050, menos del 5% del agua renovable de países latinoamericanos podría ser utilizada para la producción de hidrógeno, al tiempo que la desalinización de agua de mar se presenta como una alternativa que solo impactaría entre 1 y 3% el costo del hidrógeno producido<sup>84</sup>, presentándose entonces como una solución interesante.
- Perú cuenta con 3 080 km de costa, de donde podría obtener agua para alimentar grandes plantas de electrólisis, además de que existen en desarrollo novedosos métodos de aprovechamiento de aguas residuales en la producción de hidrógeno, aplicando así, conceptos de economía circular.

---

<sup>84</sup> Datos proporcionados por Hinicio a partir de un estudio de diagnóstico por publicar de H2V en un país Latinoamericano

#### 4. Producción:

La producción de H<sub>2</sub>V requiere típicamente de inversión en electrolizadores, así como de equipamiento auxiliar, ingeniería, servicios y obras civiles. No obstante, el H<sub>2</sub>V puede ser producido de varias maneras: a través de conversiones electroquímicas, como el caso de la electrolisis y fotólisis; la conversión bioquímica, como la biofotólisis; la fermentación, para las materias primas orgánicas; y conversión termoquímica, para la biomasa.

#### 5. Almacenamiento, Transporte y distribución

Se incluye el almacenamiento y transporte del hidrógeno en forma gaseosa en contenedores a presión, así como su manejo en forma líquida (criogénica), a través de distintos medios, incluyendo tuberías o gasoductos, ya sea hidrógeno puro o en mezcla con el gas natural (aprovechando la infraestructura existente), transporte en camiones y barcos.

Se distribuye a los consumidores finales en los distintos usos del hidrógeno, tales como la generación de electricidad y calor, el almacenamiento energético, su uso en transporte, en la industria y también sus derivados como el amoníaco y los combustibles sintéticos.

El transporte puede ser fluvial, a través de embarcaciones marítimas, o terrestre, a través de vehículos especialmente acondicionados e infraestructura de carga y descarga, a través de ductos y tuberías ya sean dedicados o utilizando redes de gas existentes con las debidas adecuaciones, dependiendo del porcentaje de inyección. Para la exportación es importante contar con una infraestructura de puertos adecuada. Se requiere incentivar el desarrollo de una industria de transporte de H<sub>2</sub>V especializada y que cumpla con estándares internacionales.

**Subproductos:** Dentro del proceso de producción del H<sub>2</sub>V, el oxígeno viene a ser un producto secundario que puede también ser aprovechado. En paralelo a la producción de H<sub>2</sub>V se puede desarrollar la comercialización de oxígeno para mercado local, dando incentivos a economía circular vinculada a la producción de H<sub>2</sub>V. Incentivos económicos tanto para los productores como para los offtakers que lo consuman (para privilegiar su consumo sobre otras fuentes).

**Offtaker:** Se puede incentivar el mercado del H<sub>2</sub>V a través de incentivos para su consumo, cuotas de H<sub>2</sub>V dentro de los procesos o penalidades por niveles CO<sub>2</sub>. Esto puede darse inicialmente para pilotos y/o enfocado a industrias estratégicas en las que se quiera priorizar la conversión, ya sea que lo adquieran para consumo directo o para darle un valor agregado a través de la transformación.

**Se incluye en Anexos consideraciones de seguridad relacionadas a la cadena de valor del hidrógeno (ver anexo 4) y normas extranjeras (anexo 5)**

## **VI. Medidas de Promoción**

En los capítulos anteriores nos hemos referido al rol y potenciales beneficios que una economía productiva vinculada al H2V y encuadrada dentro de los lineamientos de una política de descarbonización con miras a una carbono-neutralidad para el año 2050 podría significar para el Perú. Los beneficios son transversales y abarcan aspectos sociales, ambientales y económicos. Desarrollar una industria requiere apoyo decidido y un marco legal y políticas claras y consistentes que brinden confiabilidad a la inversión de riesgo para atraer los capitales necesarios, sean nacionales o extranjeros, públicos o privados.

El Decreto Supremo 003-2022-MINAM que declara de interés nacional la emergencia climática hace evidente la voluntad del Perú de cumplir con el compromiso asumido bajo las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional al año 2030. Con menos de ocho años por delante se ha otorgado un plazo no mayor de 180 días hábiles para llevar a cabo las acciones prioritarias identificadas en el referido Decreto Supremo.

Tales medidas incluyen, entre otras, las referidas en los artículos 3.8.3 y 3.11.1, vinculadas expresamente al H2V, y requiriendo el diseño de programas de promoción para el desarrollo de tecnologías, uso y producción de H2V; así como, la inclusión de la electromovilidad con celdas de combustible en el Reglamento Nacional de Vehículos de manera que se promueva su ingreso.

### **1. Políticas de promoción al Hidrogeno Verde**

Parte de una política de promoción para el desarrollo, producción y uso de una industria del H2V implica la estructuración de sistemas de incentivos. De manera ilustrativa más no taxativa, algunas de las medidas a considerar serían las siguientes:

#### **a. Incentivos tributarios y arancelarios**

Estos incentivos podrían ser temporales por un periodo pre-determinado y renovados en caso no se den las condiciones (principalmente la reducción esperada de los costos de implementación de H2V). Así mismo, debe implementarse los mecanismos para asegurar que los incentivos se focalicen en los proyectos relacionados con H2V en la cadena de valor.

- **Reducción de la Tasa de Impuesto a la Renta**

Sugerencia: Reducir la tasa del impuesto a la renta para las actividades de producción, transporte, distribución, uso final de H2V.

- **Depreciación Acelerada**

Sugerencia: depreciación acelerada para la cadena de valor de H2V, incluida la extensión para las RER. (DL-1058 y Ley 30327 art 7). Aplicable a maquinaria, equipos, obras civiles.

- **Recuperación anticipada del IGV**

Sugerencia: Incluir en el régimen de recuperación anticipada de IGV a los proyectos de la cadena de valor del H2V (incluida las RER no convencionales), hasta el año 2030. Se incluye a todos los proyectos sin tomar en cuenta el periodo preoperativo. Incluso, en algunos casos, luego de la evaluación correspondiente, se podría determinar la exoneración de este impuesto durante un determinado periodo hasta que se desarrolle la escala de producción objetivo.



- **Excepción o Reducción de Tasas Arancelarias**

Sugerencia: Exonerar o reducir los derechos arancelarios de importación de bienes destinados para la cadena de valor de H2V, incluida las RER no convencionales vinculadas.

**b. Incentivos financieros**

- **Fondo de financiamiento para proyectos piloto**

Sugerencia: Fondo para financiar proyectos piloto. Una de las fuentes podría ser el SISE o parte de los ingresos que se generen con las sanciones ambientales.

Nota: Se requiere un dimensionamiento estimado de los costos de los proyectos piloto.

- **Apoyo para el acceso célere a fondos internacionales**

Sugerencia: El gobierno implemente las instituciones y procesos para obtener los financiamientos de los fondos internacionales como el fondo verde, para el desarrollo de proyectos con H2V.

**c. Incentivo de la Demanda**

- **Incentivo al cambio de las industrias al H2V**

Sugerencia: Capacitación y financiamiento para que las industrias migren a H2V. con prioridad en aquellas con las que se logra mayor valor. Por ejemplo: Ferrocarriles, Explosivos, Fertilizantes, etc.

## **2. Proyecto de Ley de promoción del Hidrógeno Verde**

ver anexo 6: Proyecto de Ley

**CONTACTO**

**[www.h2.pe](http://www.h2.pe)**

**[contacto@h2.pe](mailto:contacto@h2.pe)**