

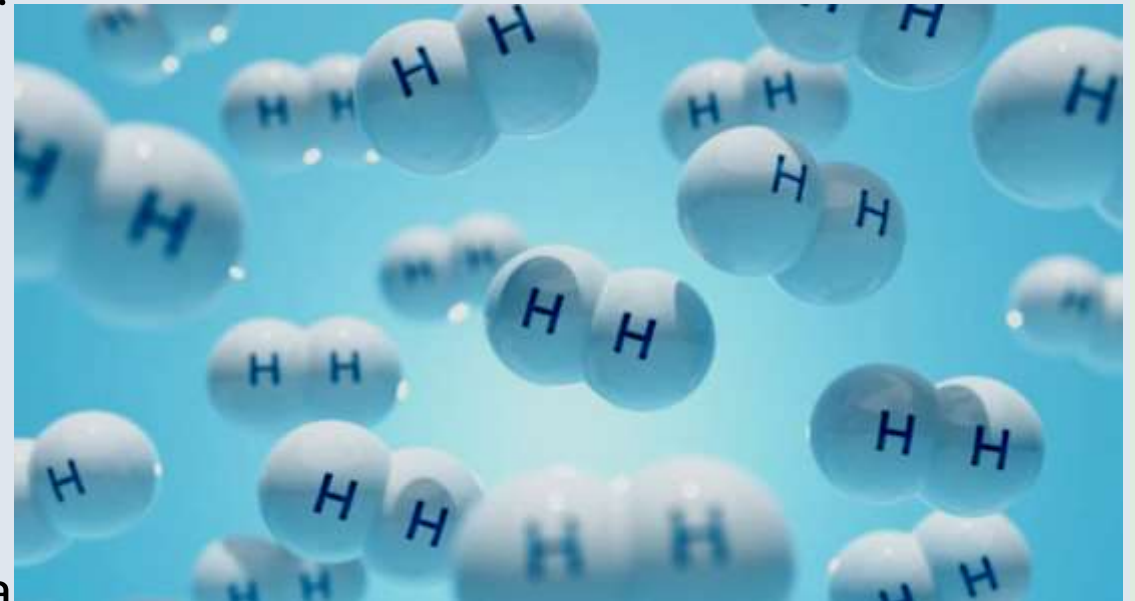
Cambio climático y transición energética: los retos de México y posibles soluciones desde el hidrógeno verde.

Luisa Sierra Brozon
Directora de Energía
Iniciativa Climática de México



¿Qué es el Hidrógeno?

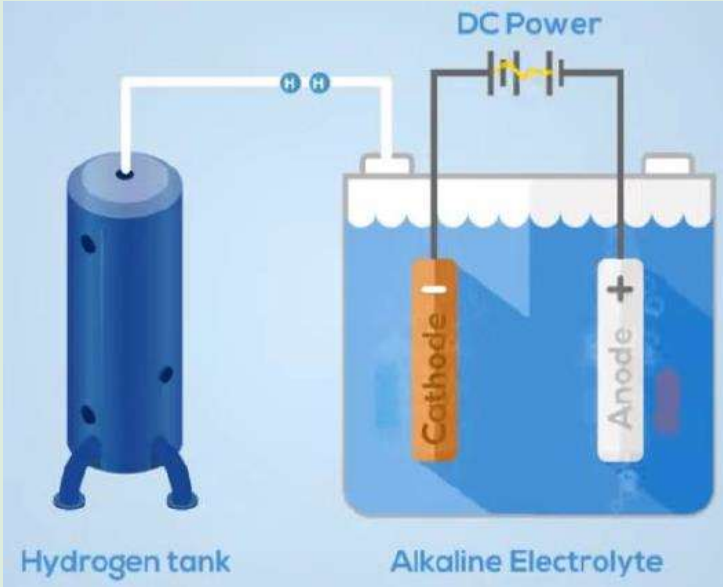
- Elemento químico (H). Se estima que el 75% de la masa del universo está compuesta por H.
- Como energético, tiene un contenido de energía por unidad de masa que es tres veces mayor al de la gasolina, pero la cantidad de energía por volumen es baja a condiciones de temperatura y presión estándar. Su punto de ebullición es de -252.9°C
- El H_2 es altamente inflamable y se requiere una pequeña cantidad de energía para iniciar su combustión.



Producción del H₂

		Tecnología	Fuente de electricidad	Huella de GEI
Producción vía electricidad	H₂ Verde	Electrólisis	Solar, Hidro, Eólica, Geotermia, Oceánica	Mínima
	H₂ Rosa	Electrólisis	Nuclear	Mínima
	H₂ Amarillo	Electrólisis	Electricidad de la red	Medio*
Producción vía combustibles fósiles	H₂ Azul	Reformación GN + gasificación CCUS + CCUS	Gas Natural, carbón	Carbono sólido (subproducto)
	H₂ Turquesa	Pirólisis	Gas natural	Medio
	H₂ Gris	Reformación GN	Gas natural	Medio
	H₂ Café	Gasificación	Lignito	Alto
	H₂ Negro	Gasificación	Carbón negro	Alto

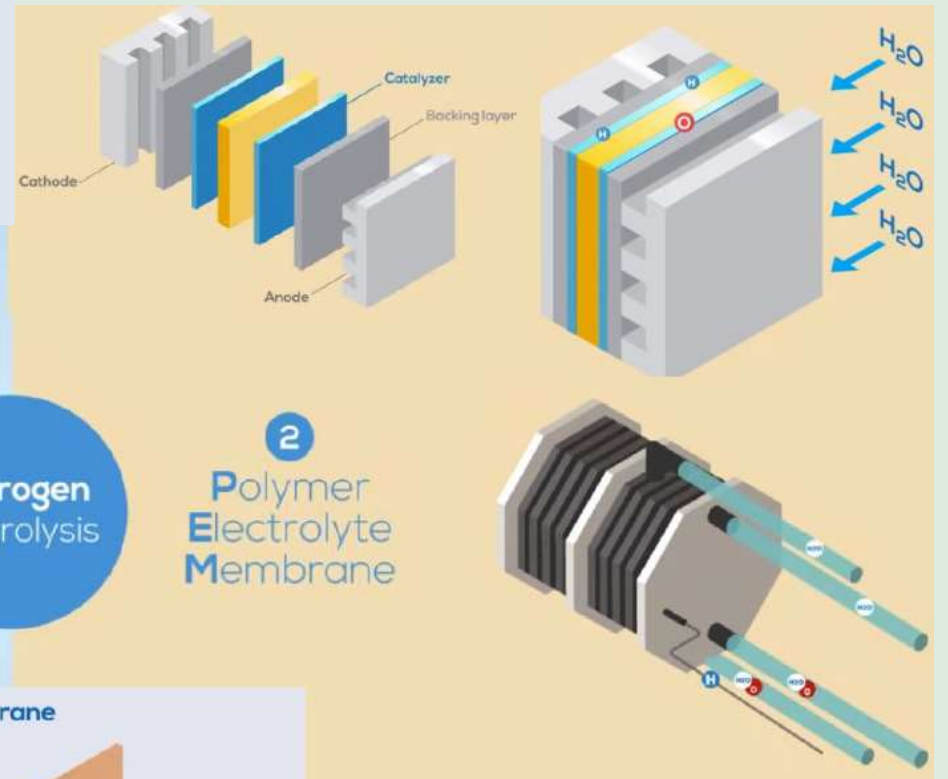
Producción del H₂ verde



1
Liquid
Alkaline

Hydrogen
Electrolysis

2
Polymer
Electrolyte
Membrane

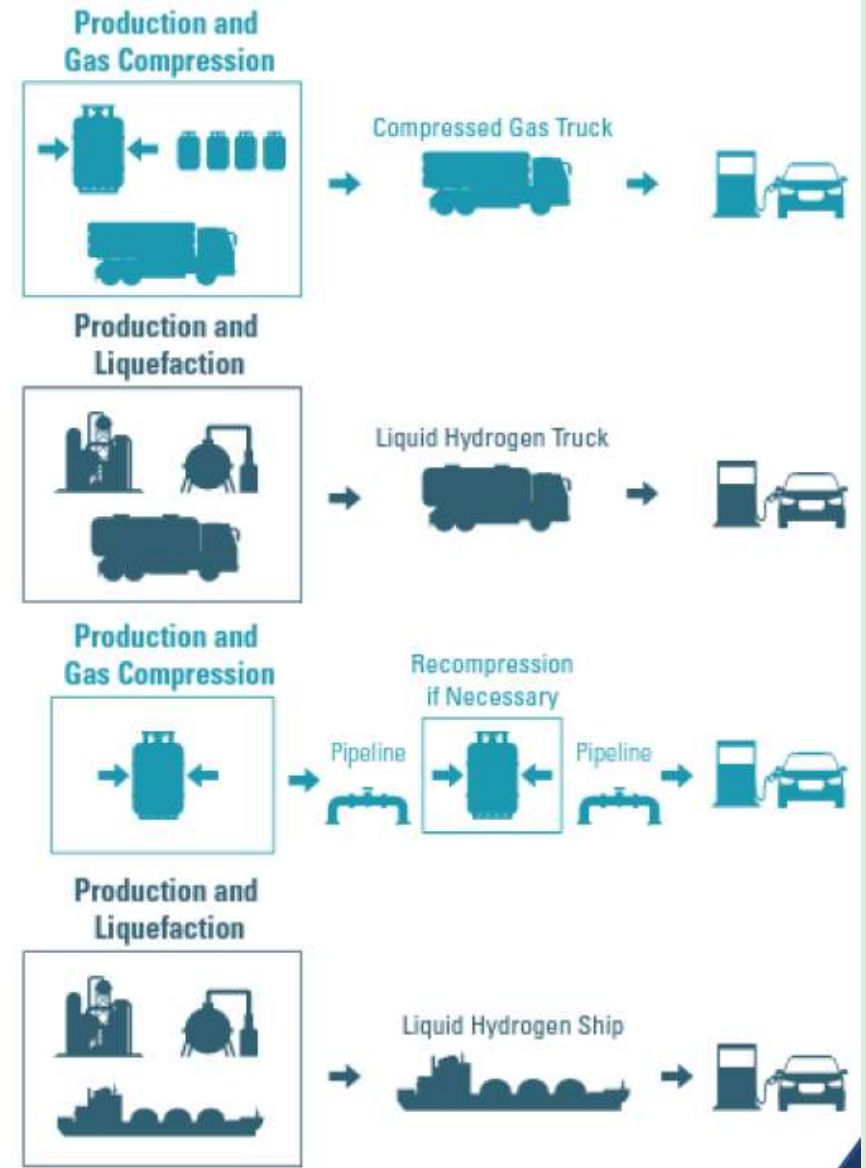
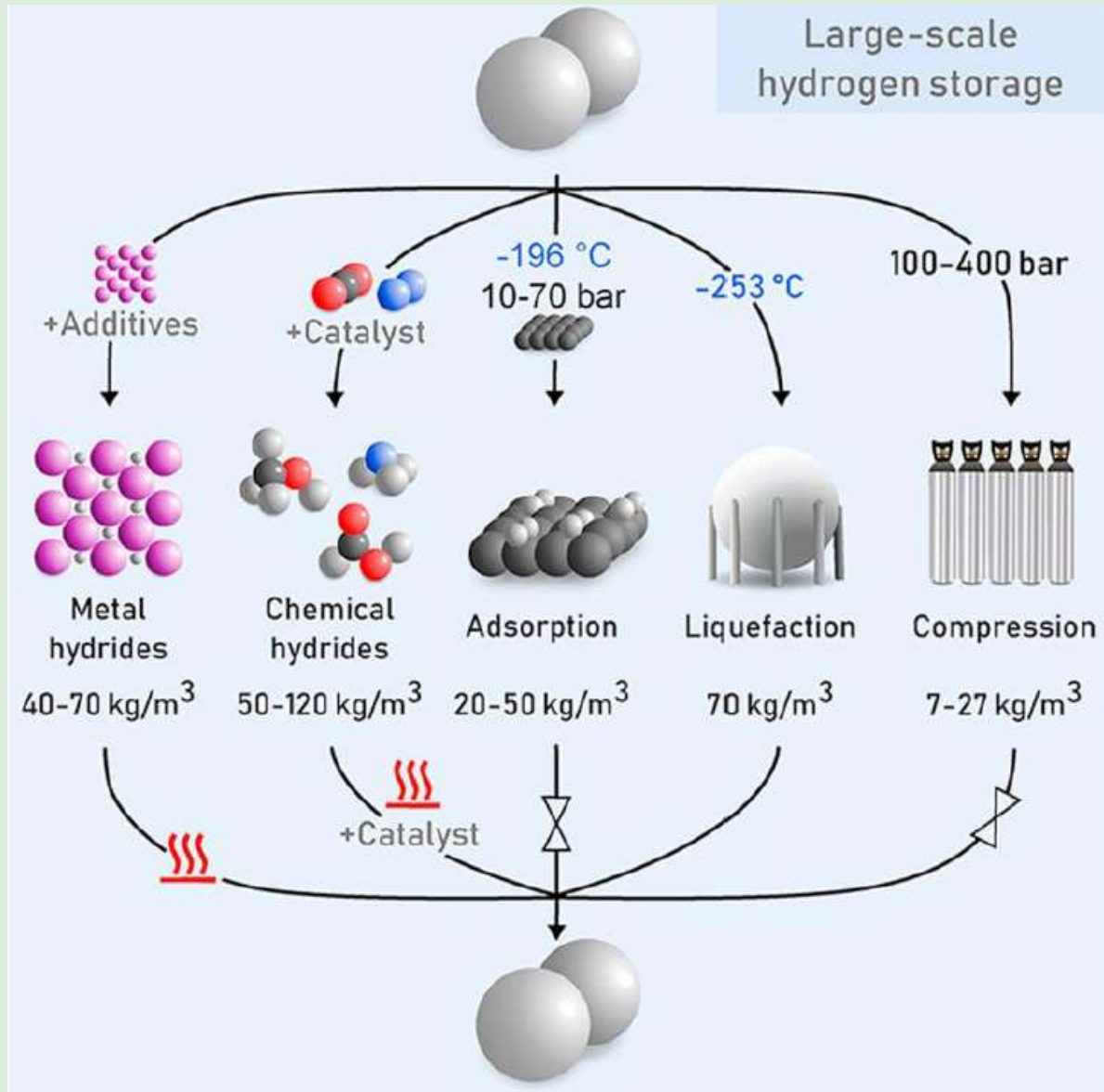


Anion Exchange Membrane

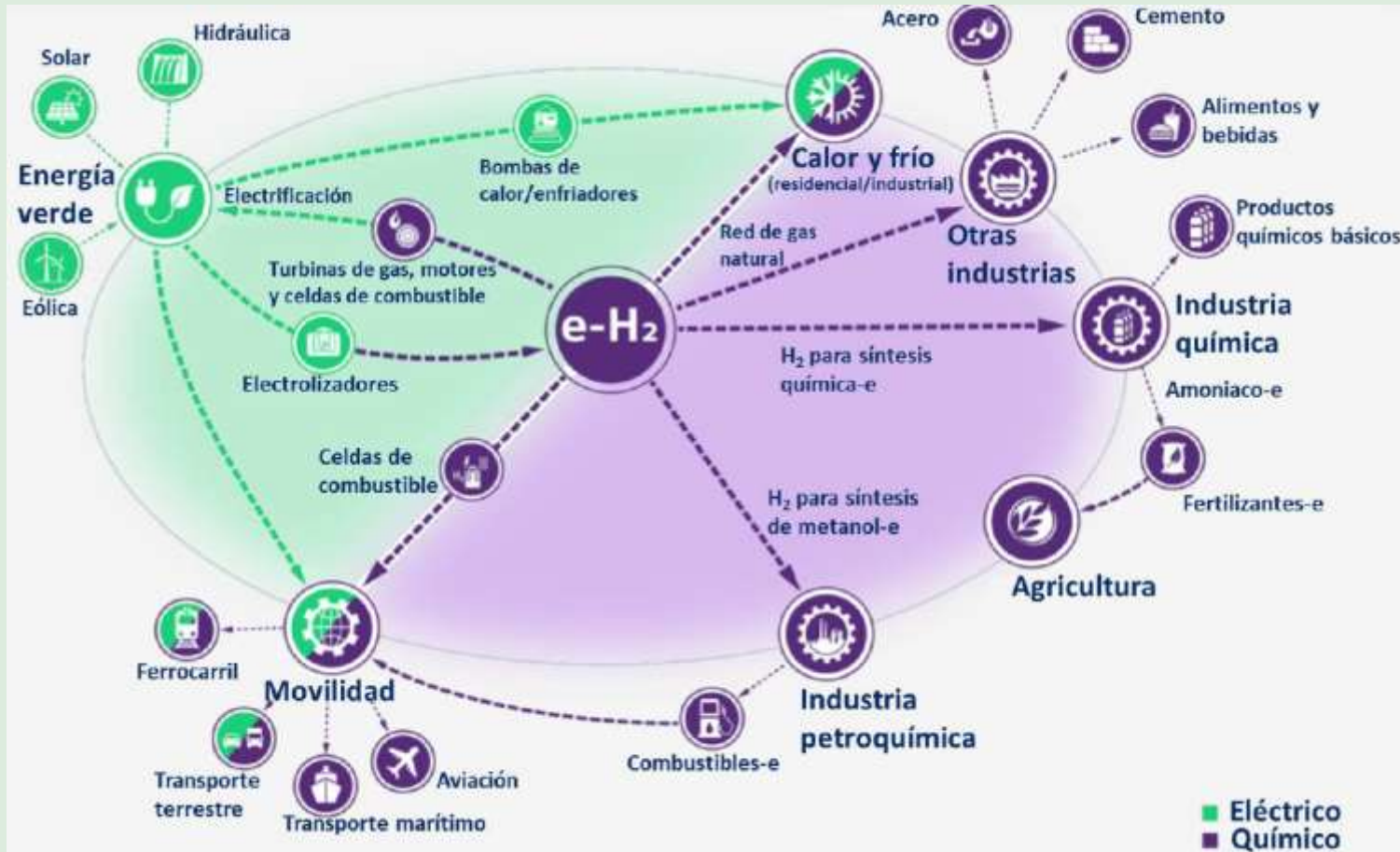


Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=WfkNf7kMZPA>; <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>; <https://www.chemengonline.com/electrolyzer-technologies-green-hydrogen/>; <https://www.youtube.com/watch?v=WfkNf7kMZPA>

Transporte del H₂



Usos como vector energético

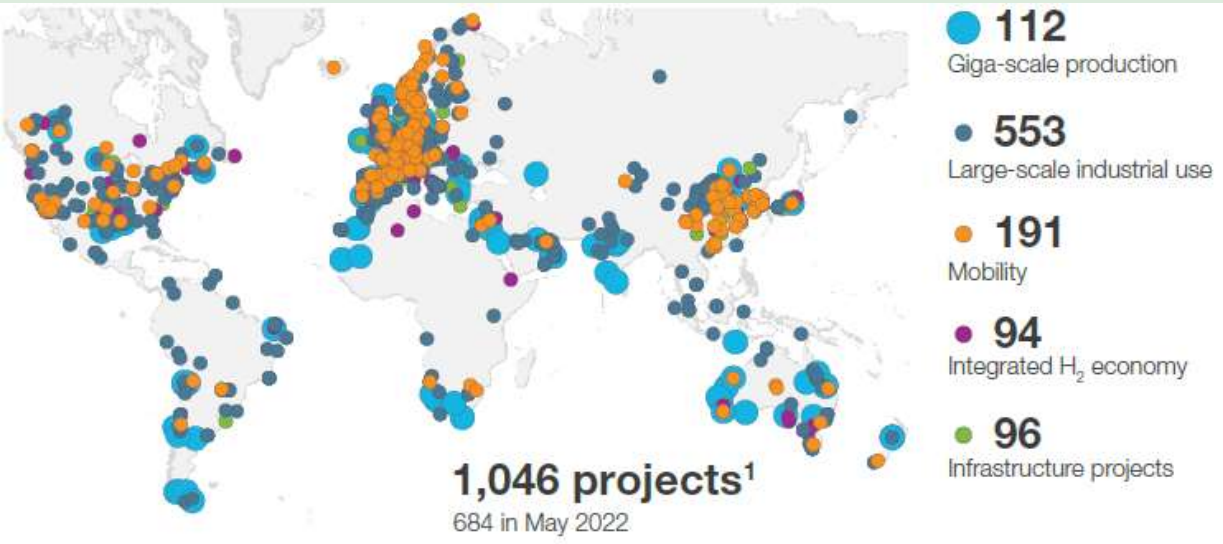


Usos prioritarios:

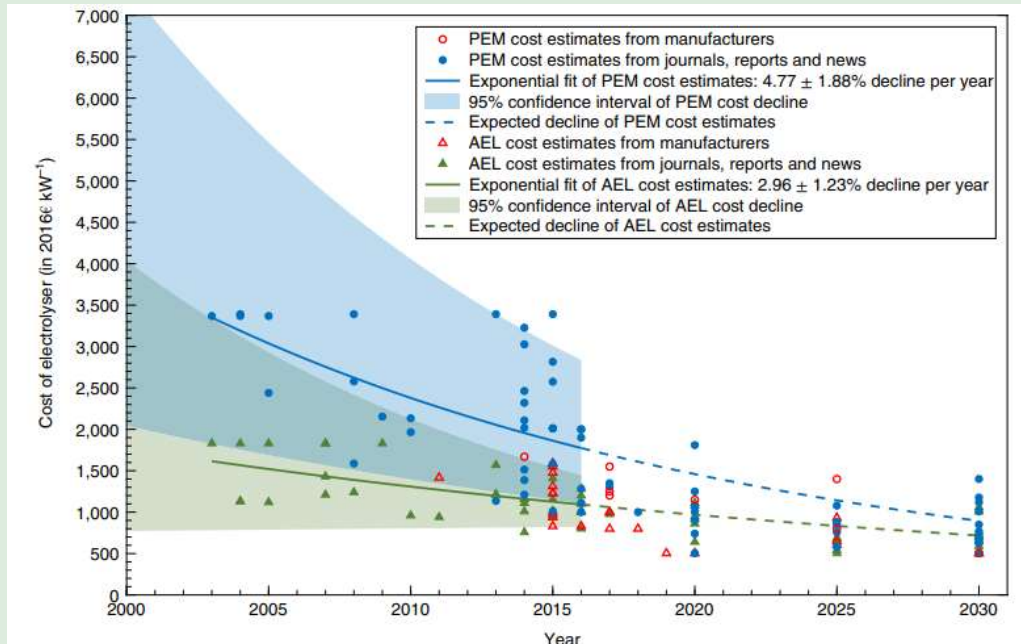
Descarbonizar la industria, el transporte marítimo y terrestre de larga distancia, y la aviación. Y para consolidar un sistema eléctrico basado en renovables.

Cada GW de electrólisis debe de ir acompañado de 1 - 4 GW de renovables adicionales.

Potencial a nivel internacional



Fuente: McKinsey&Company (2023) Hydrogen insights 2023.



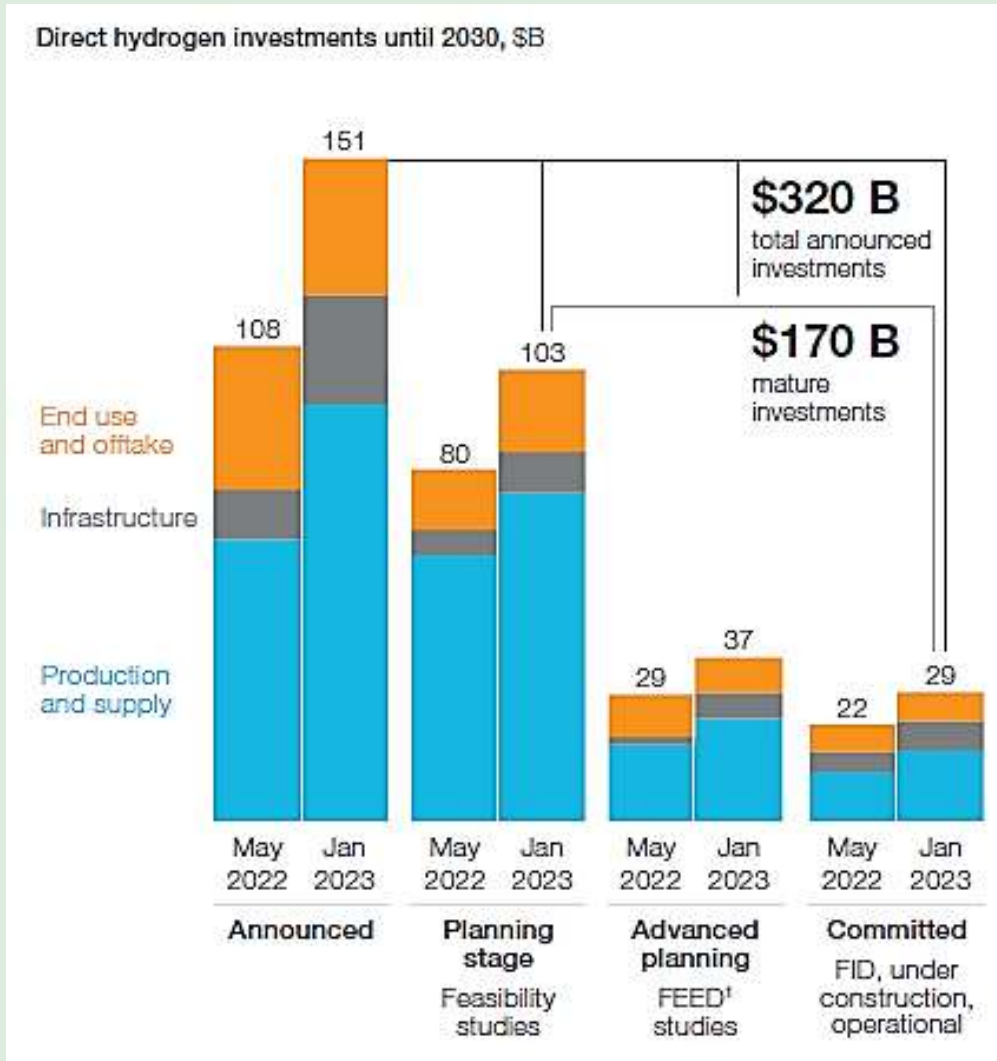
Fuente: Glenk, G. and Reichelstein, S. (2019) Economics of converting renewable power to hydrogen. Nature, 4, 216 – 222.

La reducción en el costo de los electrolizadores hace atractiva la generación de hidrógeno a partir de energías renovables (H₂ verde). Sin embargo, se requiere de una gran cantidad de proyectos para que sus costos se reduzcan aún más.

>1000 proyectos anunciados a nivel global, de los cuales 795 se tiene planeado desarrollar antes del 2030. Localizados en 3 regiones principalmente: Unión Europea, América y Oceanía.

La Unión Europea se mantiene como el líder global de propuestas de proyecto, con un total de 117 mil millones de dólares (35% del total global). Seguido de América Latina y Norte América, representando aproximadamente un 15% cada uno.

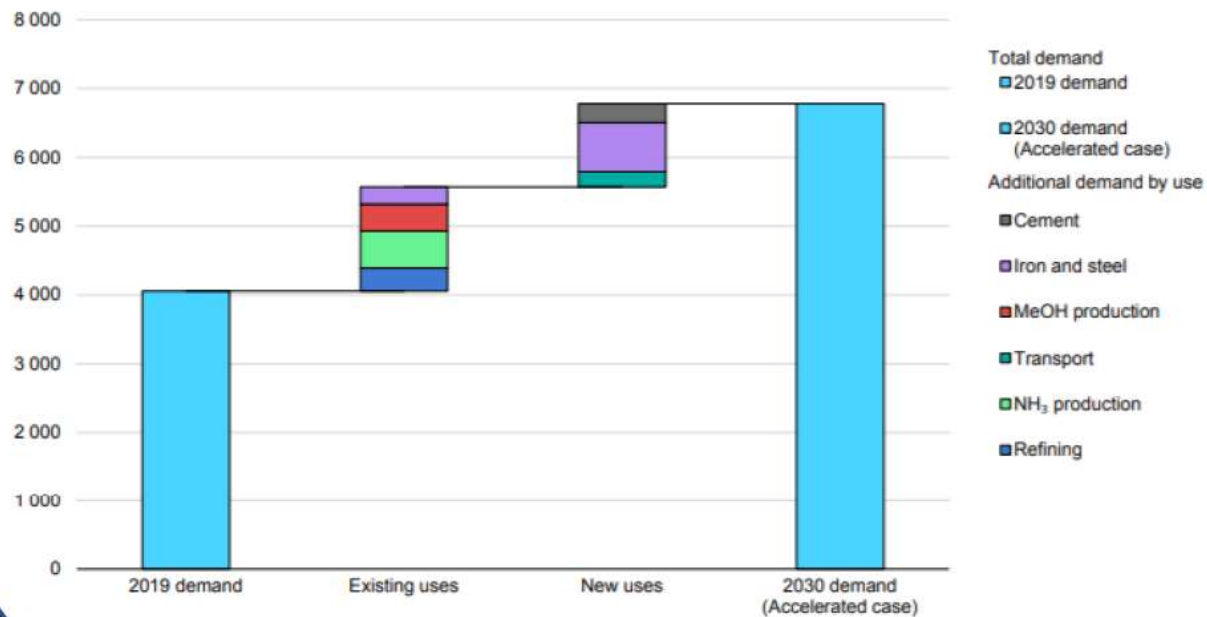
Potencial a nivel internacional



- De **320 mil millones de dólares anunciados** tan sólo **29** han pasado las **decisiones finales de inversión**. Y menos del 50% de los proyectos anunciados han pasado a la etapa de planeación inicial.
- Para que los proyectos pasen a una etapa de decisión final de inversión, es clave tener compradores (demanda o contratos de largo plazo), o financiamiento de gobiernos. El más grande es IPCEI, el cual ha otorgado 10.6 mil millones de euros en la UE.
- La industria está madurando en un contexto de cadenas de suministro limitadas, escasez de mano de obra, aumento de la inflación y las tasas de interés y falta de apoyo público en muchos mercados, todo lo cual puede ralentizar el despliegue.

Potencial a nivel internacional y América Latina

Change in hydrogen demand by sector, Accelerated case, Latin America, 2019-2030



- Se espera que para 2050, el hidrógeno pueda satisfacer el 14% de la demanda energética de Estados Unidos, y el 24% de la demanda energética mundial. El 30% de esta demanda se espera que sea en el sector transporte.
- El sector transporte es uno de los principales sectores potenciales para el uso de hidrogeno verde y en la Unión Europea se espera que para 2050 se pueda tener una flota de 50 millones de vehículos de celda de H₂
- América Latina es una de las grandes zonas potenciales para la producción de hidrógeno verde debido a sus abundantes recursos renovables.

Potencial a nivel nacional

- El potencial del hidrógeno verde en México es alto y estimaciones de GIZ/ Hinicio (2021) consideran que el país tiene el potencial total para instalar 22 TW de capacidad de electrolizadores para 2050. Además, el hidrógeno verde podría evitar la emisión de 40 MtCO₂e al año y crear 90,000 nuevos empleos para 2050. Además de esto, también se estimó que el costo nivelado del hidrógeno (LCOH) podría estar entre 2,55 dólares por kg en 2030 y 1,22 dólares por kg en 2050.
- GIZ/Hinicio (2021) considera que las mayores oportunidades para el hidrógeno verde se encuentran dentro del sector del transporte, y particularmente para los autobuses de transporte público y los camiones de carga.
- El Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN 2023 - 2037) considera que 12 ciclos combinados serán reformados para usar una mezcla de 70% GN y 30% H₂ (entre 2033 y 2036).



Potencial a nivel nacional

A través de los puntos de demanda nacional (2019) (minería, refinación, siderurgia, metanol, usos térmicos industrial y transporte) estimaron la producción de Hidrógeno necesaria para satisfacerla y los proyectos a diferente escala necesarios (Jano Ito, 2022).

Proyectos planteados:

- 16 proyectos para refinería
- 10 minas
- Transporte: Eco-vía Monterrey; Mi Macro Guadalajara; Metrobús CDMX
- 2 Siderurgia
- 2 Amoniaco y 1 de metanol

Resultados:

- Demanda total 5.6 MtCO₂e/año
- El mayor potencial de reducción de emisiones se encontró en la refinación de petróleo.
- El LCOH para los proyectos demostrativos pasa de 5.54 dólares/kg (Refinería Salina Cruz) a 8.55 dólares/kg (Ecovía Monterrey). El impacto del transporte depende del proyecto y de la ubicación del sistema de energía renovable, pero los costos pueden aumentar hasta un 50%.
- El LCOH depende en gran medida de la disponibilidad de recursos renovables y, por tanto, de la ubicación de los proyectos. En el caso de la energía eólica o los sistemas híbridos, tenían costes más elevados en comparación con los sistemas solares fotovoltaicos.



*Ruta Emisiones Netas Cero
para México 2060, desde
Sociedad Civil*

Disponible en:
<https://www.iniciativaclimatica.org/emisionesnetascero/>



Enfoque metodológico

Industria



Petróleo & gas



Estimación de los escenarios

Residuos



Eficiencia energética



Validación y desagregación del sector R-C-A-P

SAINT

Eléctrico



Desagregación del sector eléctrico -optimización del despacho eléctrico

Transporte



Modelación del sector transporte (evitar-cambiar-mejorar)

AFOLU



Contempla las actividades agrícolas, el uso de la tierra, el consumo de alimentos y las absorciones de GEI

HOJAS DE CÁLCULO

TIMES

FABLE

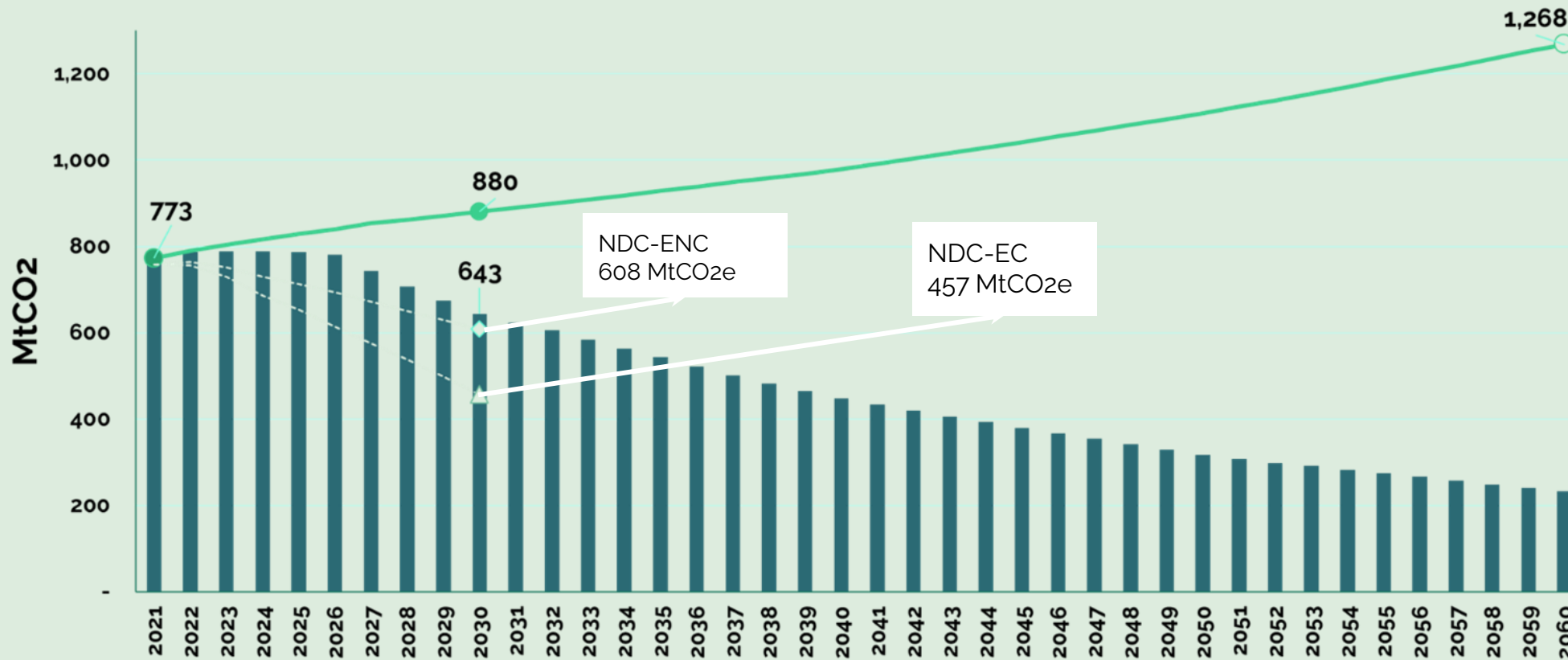
MOVES & MYC

OSeMOSYS/CLEWs

Interacción uso de suelo-energía y agua-energía. Optimización con base en costos



Escenario NZP: contribución sectorial

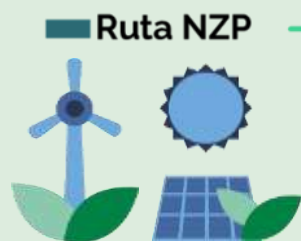


AFOLU emisiones
61 MtCO₂e (6%)
AFOLU absorciones
-128 MtCO₂e (12%)
adicionales a su
línea base



Residuos
61 MtCO₂e (6%)

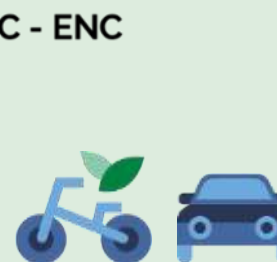
139 medidas que
reducirían el total
de **1,035 MtCO₂e**
(100%)



Electricidad
279 MtCO₂e (27%)



Petróleo y gas
24 MtCO₂e (2%)



Transporte
344 MtCO₂e (33%)

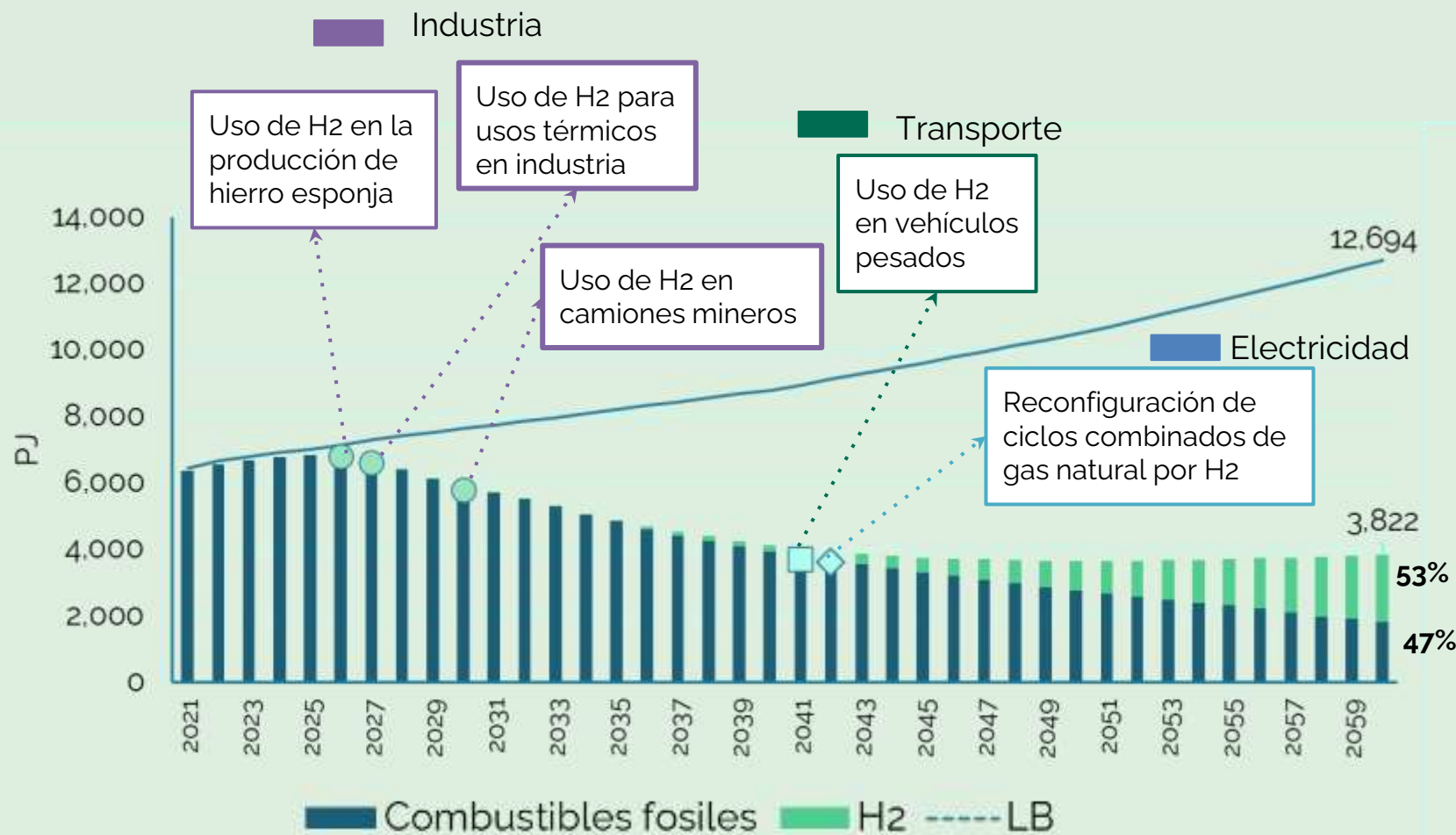


Industria
134 MtCO₂e (13%)

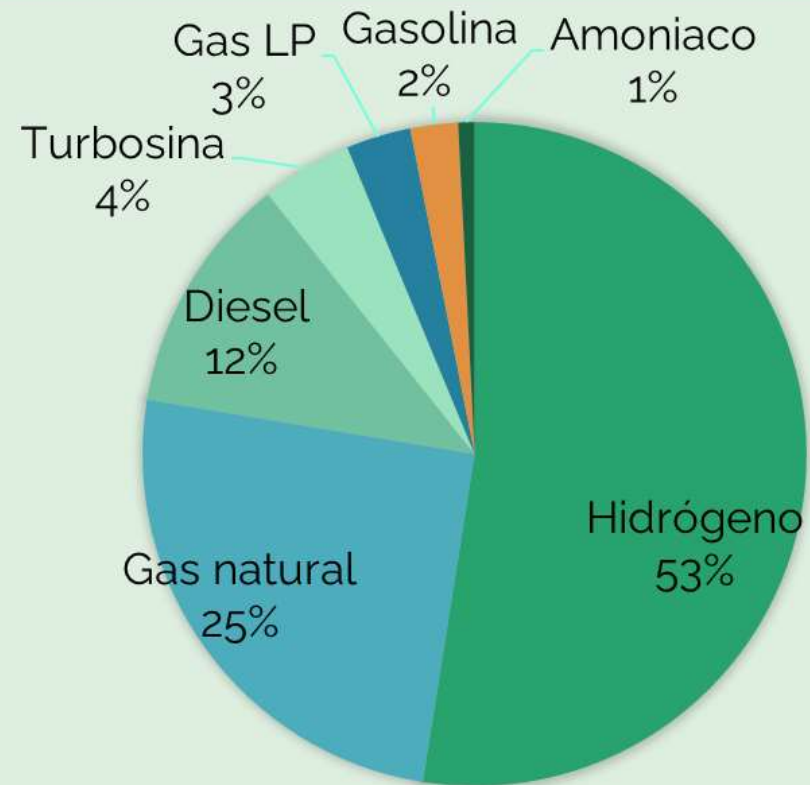


Eficiencia
energética
6 MtCO₂e (~1%)

Consumo de combustibles fósiles vs H2 verde

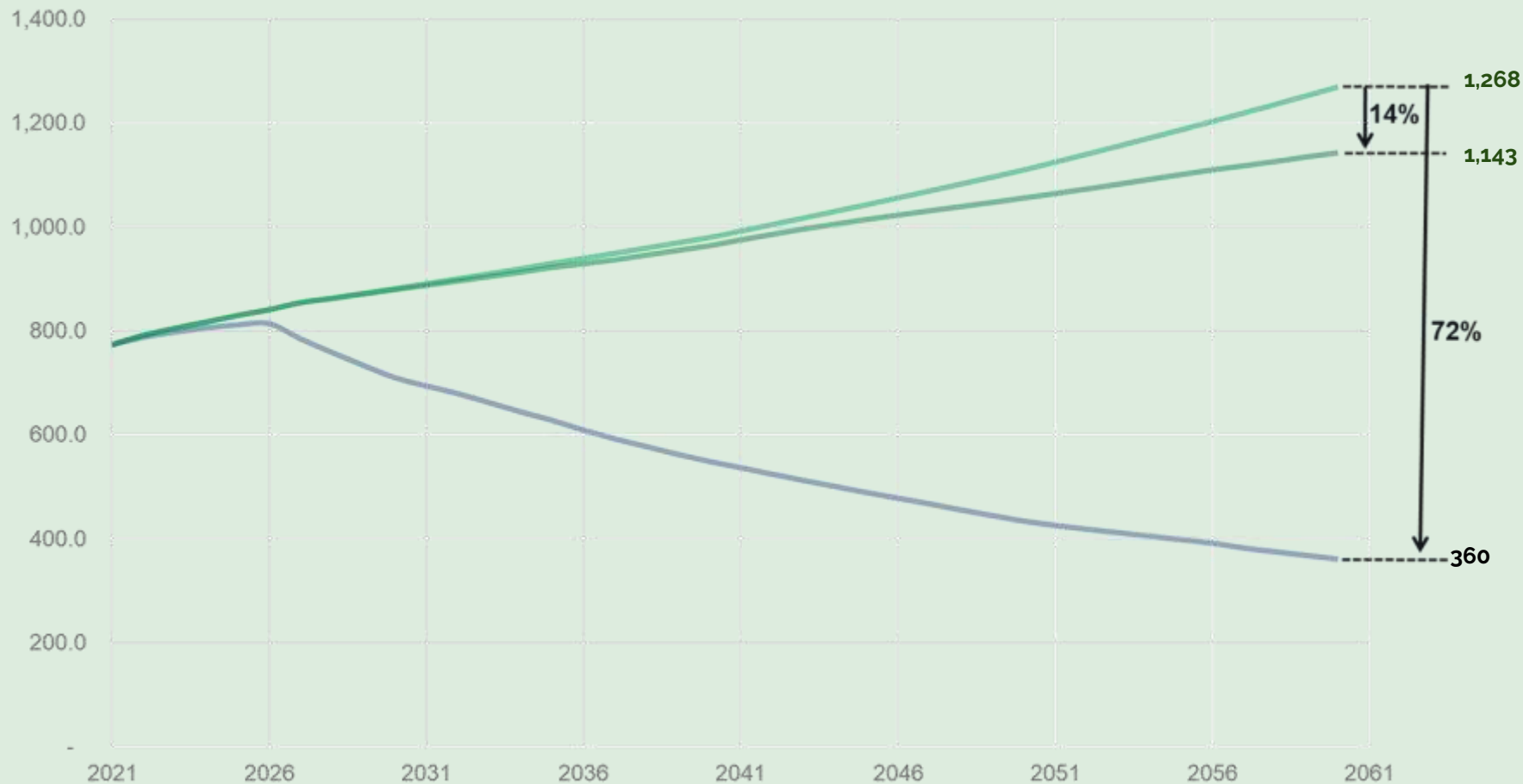


Matriz energética en 2060

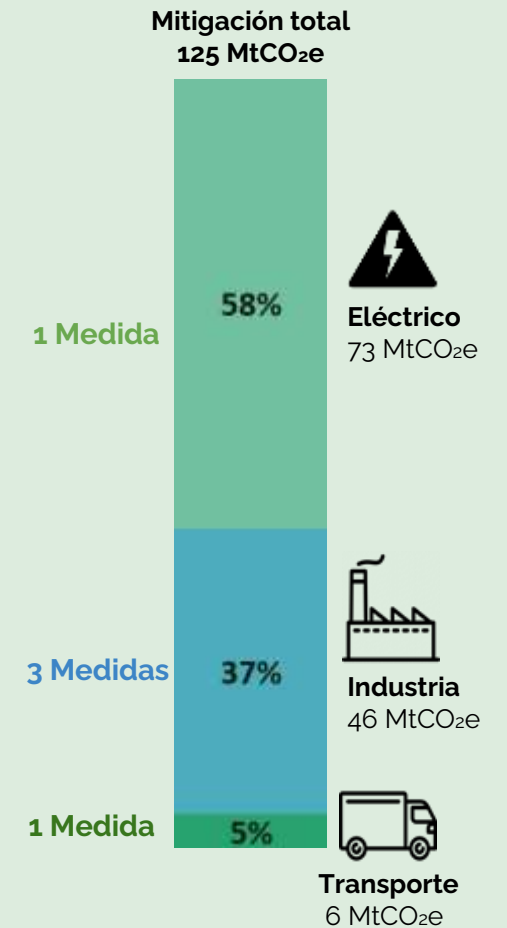


Contribución de las medidas de H2 en la RENC

Emisiones brutas (MtCO₂e)



Mitigación de emisiones de medidas de hidrógeno por sector en 2060.



Nota: Emisiones brutas no consideran las absorciones por el sector AFOLU

Medidas de mitigación que utilizan H2



Reconversión de centrales ciclo combinado para el aprovechamiento de hidrógeno en la producción de electricidad

- La medida considera adaptar las centrales de ciclo combinado (CC) existentes para operar con **H2** como una estrategia para lograr la neutralidad de emisiones de GEI.
- Desde una perspectiva económica, es más rentable adaptar las centrales para **usar 100% hidrógeno** que mantener un blending con menos del 70% de hidrógeno.
- H2 verde como combustible reacondicionando centrales de CC estratégicamente seleccionadas. El proceso de reconversión **inicia en 2042**, y alcanzaría **17.11 GW** reconvertidos en 2060.



Aceleración de la penetración de vehículos de celdas de hidrógeno

- Se propone que el total de ventas de nuevos vehículos pesados sean vehículos eléctricos y de celdas de H2 a partir de 2041.
- Se estima una **flota de 103,399 vehículos pesados** a celdas de H2, representando el 7% de todos los vehículos de carga pesada.

Medidas de mitigación que utilizan H2



Uso de hidrógeno en camiones mineros

- Introducción de H2 verde para su uso como **combustible en camiones** utilizados en las actividades de transporte de material minero.
- Se **produciría in situ, o en locaciones cercanas a los lugares de uso final**, por medio de **sistemas solares fotovoltaicos acoplados a electrolizadores tipo PEM**, y considera su almacenamiento en tanques.
- Se asume que la medida comenzará su implementación a partir de 2030, cuando se estima que es más probable encontrar las condiciones de maduración tecnológica y viabilidad económica de aplicaciones de hidrógeno verde.
- Se considera la introducción de **550 camiones mineros a hidrógeno**, los cuales entrarían en funcionamiento de manera **gradual en el periodo 2030-2060**.



Hidrógeno para usos térmicos en la industria

- Esta medida establece la producción de hidrógeno verde para usos térmicos en la industria, con la finalidad de **disminuir el consumo de combustibles como gas natural**, y disminuir la dependencia del sector.
- Podría incorporarse **a partir de 2027, con pequeños proyectos** debido a la madurez de la tecnología, y aumenta de forma lineal hasta 2060.
- Se determinó el uso de **electrolizadores tipo PEM**.

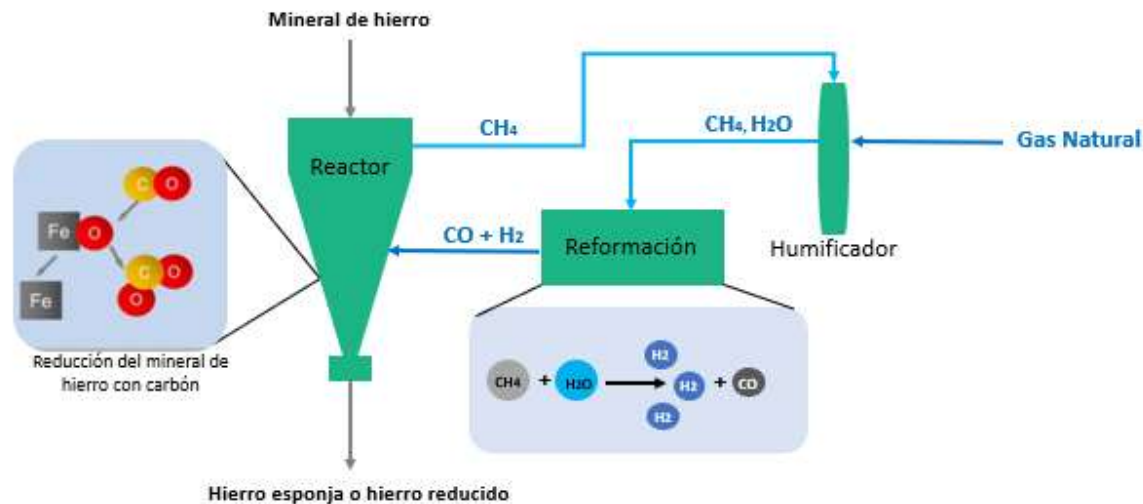
Medidas de mitigación que utilizan H2



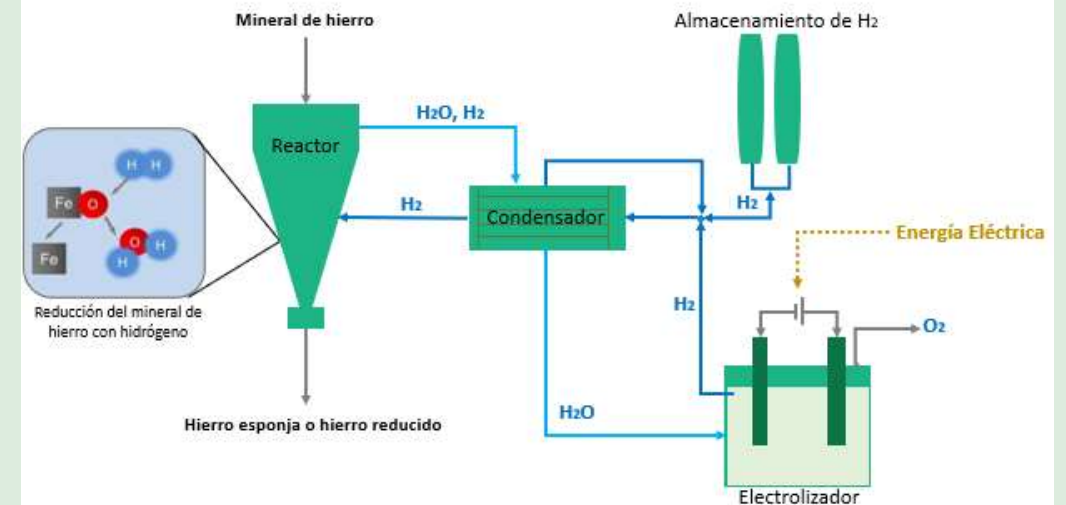
Uso de hidrógeno para la producción de hierro esponja

- Sector siderúrgico para promover la producción de acero cero emisiones - implementación de reducción directa del hierro (DRI) con hidrógeno verde para reemplazar el uso de gas natural en el proceso.
- La medida considera que a partir de 2026 se inicia su implementación, con un aumento gradual hasta alcanzar **en 2060 una sustitución de 118 PJ de gas natural.**

Sistema DRI



Sistema DRI-H₂



CONCLUSIONES

- El Gobierno Federal ha comenzado a llevar a cabo acciones con respecto al hidrógeno a través de los Lineamientos en Materia de Hidrogeno, y su incorporación en los planes del sector eléctrico (PRODESEN) y el Plan de Sostenibilidad de PEMEX.
- Analizar proyectos específicos para la implementación de hidrógeno, a lo largo de toda la cadena de suministro (producción, almacenamiento, transporte y uso).
- Es necesario que se establezca una ruta de implementación para el país, considerando toda la cadena de suministro y los actores que podrían contribuir a su desarrollo, además de la coordinación con los Gobiernos Estatales y Municipales.
- Aprovechar la experiencia existente en institutos de investigación como el INEEL y el IMP, además de universidades y actores de la sociedad civil.
- Grupos de trabajo como el que se creó por Iniciativa del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y está próximo a reactivarse con más actores, es clave para detonar el dialogo y las colaboraciones.