



**EMBAJADA DE DINAMARCA**  
*Ciudad de México*

# Estrategia Industrial de Hidrógeno Limpio de México 2024

*Resumen Ejecutivo*

**Octubre 2024**



Derechos Reservados © 2024

Asociación Mexicana de Hidrógeno (AMH2)

Prado Sur 274, Lomas de Chapultepec, Alcaldía Miguel Hidalgo, CP 11000, CDMX

El análisis y las condiciones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones de la Asociación Mexicana de Hidrógeno, de su Consejo Directivo, ni de sus Asociados, ni reflejan la posición oficial de Dinamarca sobre el papel del hidrógeno en la transición energética global.

[www.h2mex.org](http://www.h2mex.org)

Estudio financiado por la Embajada de Dinamarca en México.

Documento elaborado por ERM.



EMBAJADA DE DINAMARCA  
*Ciudad de México*



## Contenido

- ✓ Resumen ejecutivo
- ✓ Introducción
- ✓ Estado Actual en México
- ✓ Marco Político y Normativo
- ✓ Retos y Mitigantes
- ✓ Oportunidades y Beneficios Potenciales
- ✓ Comparativo de Hojas de Ruta
- ✓ Recomendaciones

# Resumen Ejecutivo

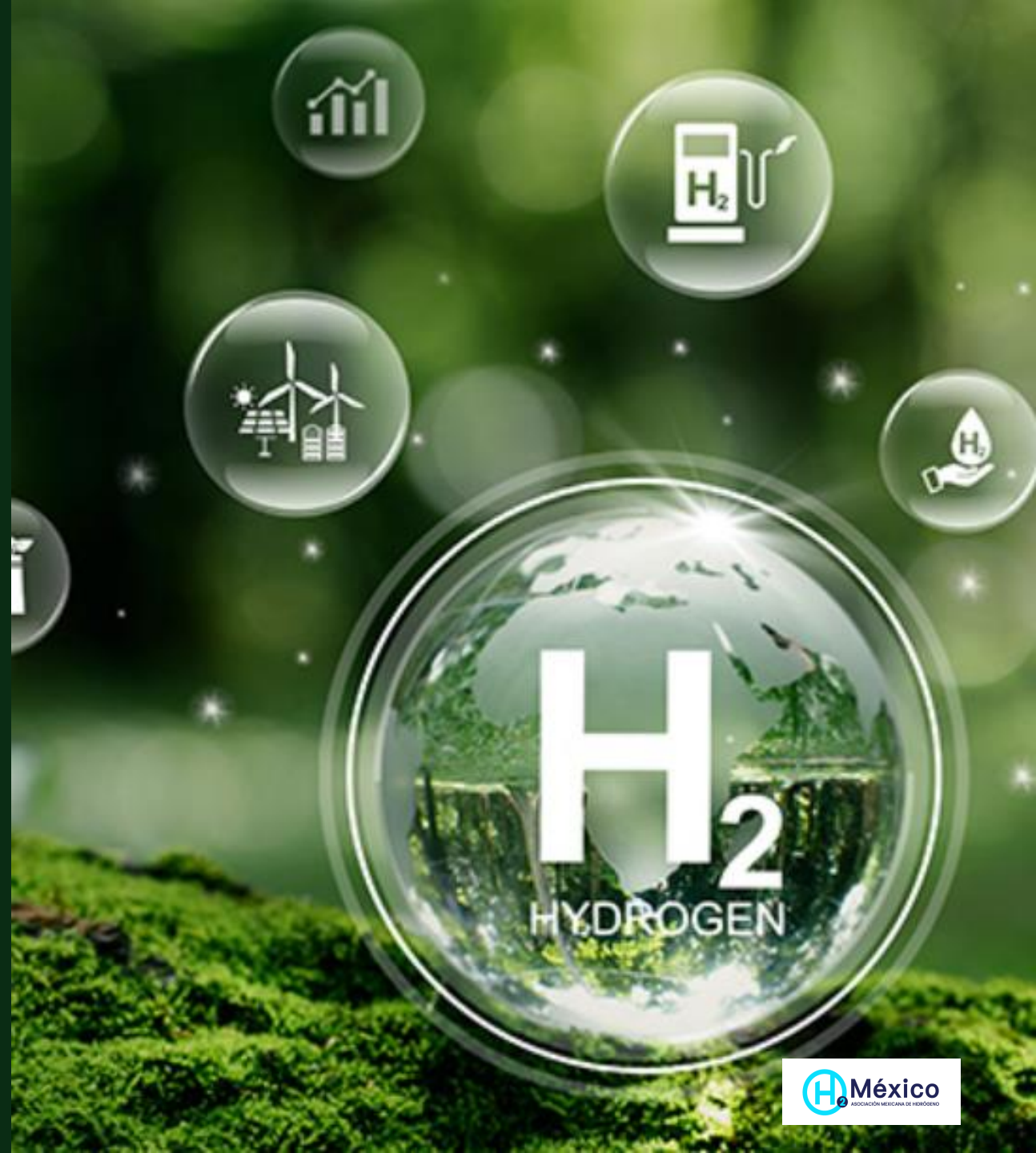




## RESUMEN EJECUTIVO

- El **hidrógeno verde tiene la capacidad para reemplazar a los combustibles fósiles** en diversas industrias sin emitir dióxido de carbono, debido a su amplia gama de usos finales, que van desde aplicaciones industriales, de almacenamiento, calefacción y transporte, lo que lo convierte en un vector energético crucial para la descarbonización global.
- México posee un alto potencial para la producción de hidrógeno verde. Actualmente, existen **16 proyectos** en diferentes etapas de desarrollo o que han sido anunciados públicamente impulsados por la necesidad de reducir las emisiones de carbono.
- Como toda industria naciente, la adopción de hidrógeno limpio en México enfrenta una serie de **retos**, entre otros: Falta de capacitación técnica y disponibilidad de la tecnología e infraestructura requeridas; Necesidad de estándares, incentivos fiscales y regulatorios que promuevan la inversión, la producción y el uso de hidrógeno limpio; Diferencia en costos de hidrógeno limpio y gris; Potenciales retos sociales y ambientales; Necesidad de evaluar el uso eficiente de recursos en los procesos.
- También existen **oportunidades** significativas para el desarrollo de la industria del hidrógeno limpio en México. El país cuenta con un vasto potencial de energía renovable, especialmente solar, geotérmica y eólica. Por su posición geográfica, México puede posicionarse como un importante exportador de hidrógeno verde. En términos de infraestructura industrial, México cuenta con gran potencial de conversión para encadenamientos productivos y uso de hidrógeno verde. Se estiman beneficios considerables en la generación de empleos, derrama económica, disminución de la dependencia de combustibles fósiles.
- Algunas **recomendaciones** para la implementación de una estrategia industrial incluyen: Apoyo para el desarrollo de infraestructura y adopción de tecnología necesaria; Evaluación de demanda actual y potencial en sectores estratégicos; Programas de capacitación; Un esquema de seguimiento interinstitucional que asegure la alineación de incentivos y estimule la inversión; Coordinación institucional robusta; Cooperación internacional.

# Introducción



# OBJETIVO

Plantear las bases para el desarrollo de una estrategia para el sector de hidrógeno limpio (cuya producción genera bajas o nulas emisiones de CO<sub>2</sub>), la cual plasme el plan de acción para lograr el desarrollo de proyectos tanto de hidrógeno verde como de hidrógeno azul en México.



Panorama de la situación actual del hidrógeno azul y verde en México.



Retos y oportunidades de los proyectos de hidrógeno azul y verde en México.



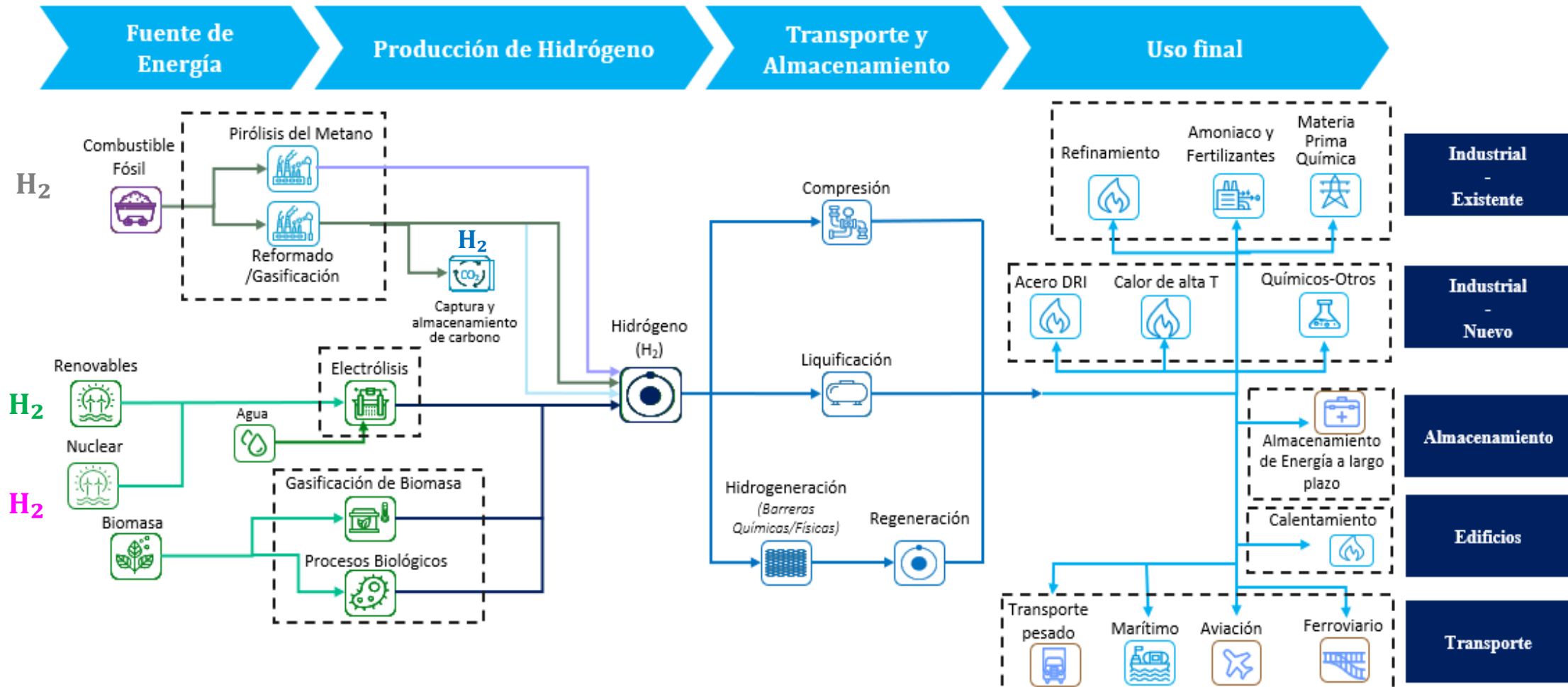
Comparativo entre hojas de ruta de hidrógeno..



Recomendaciones para la generación de una estrategia para el desarrollo de los proyectos de hidrógeno verde y azul en México.

# EL HIDRÓGENO ES EL ELEMENTO MÁS COMÚN DEL UNIVERSO

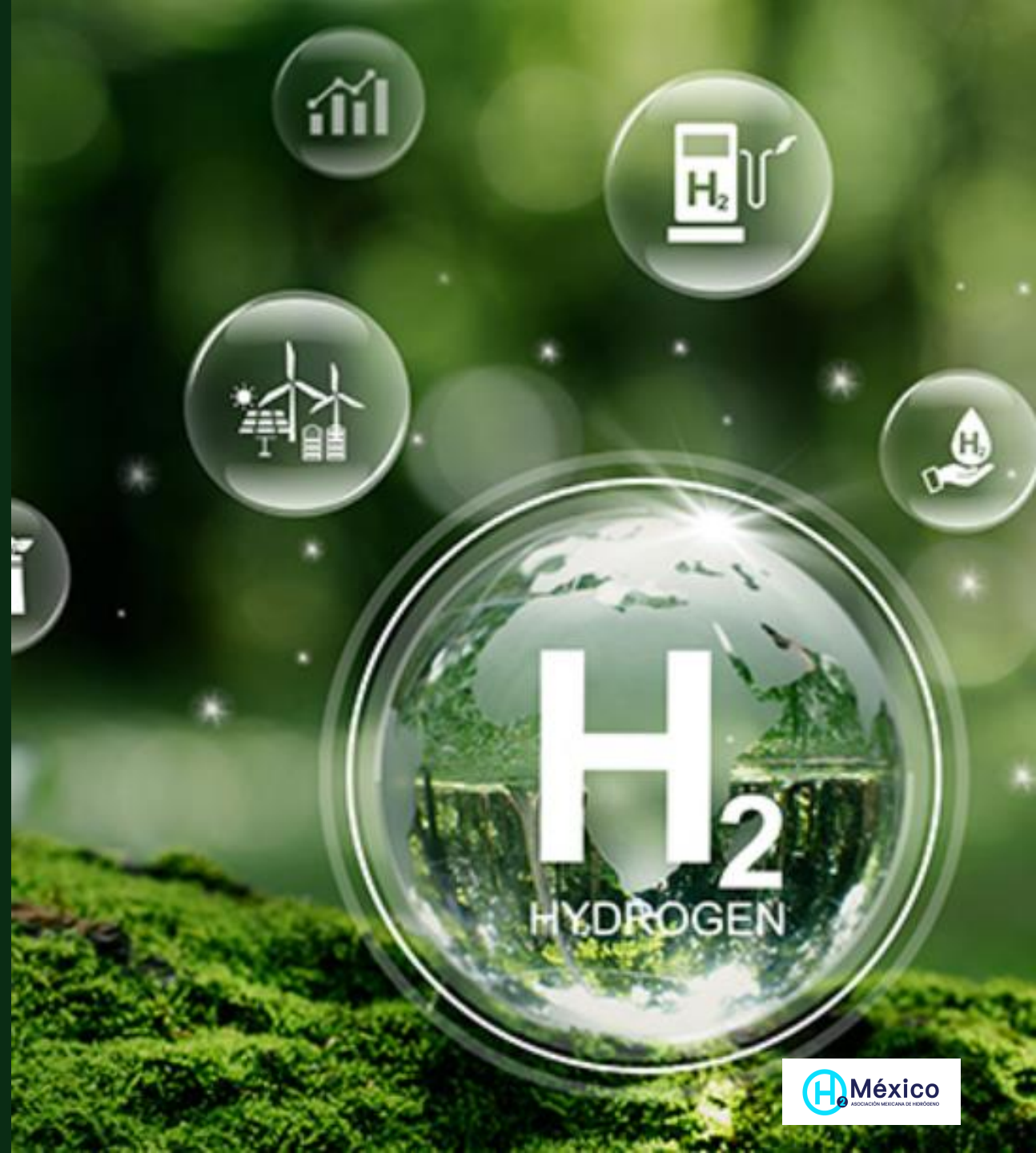
- El hidrógeno ha sido usado de múltiples formas para fines industriales (refinerías, metalurgia, alimentos, vidrio, fertilizantes y otros químicos). Para su clasificación se han asignado colores en función del método de producción, la materia prima utilizada, la intensidad de las emisiones, o lo que se hace con ellas. Para fines de este análisis, el hidrogeno limpio se define como aquel cuya producción genera bajas o nulas emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Los tipos de hidrógeno predominantes son el gris, azul y verde:



*\*Dependiendo del tipo de transporte en el que sea utilizado, el hidrógeno puede requerir de procesos y componentes adicionales.*

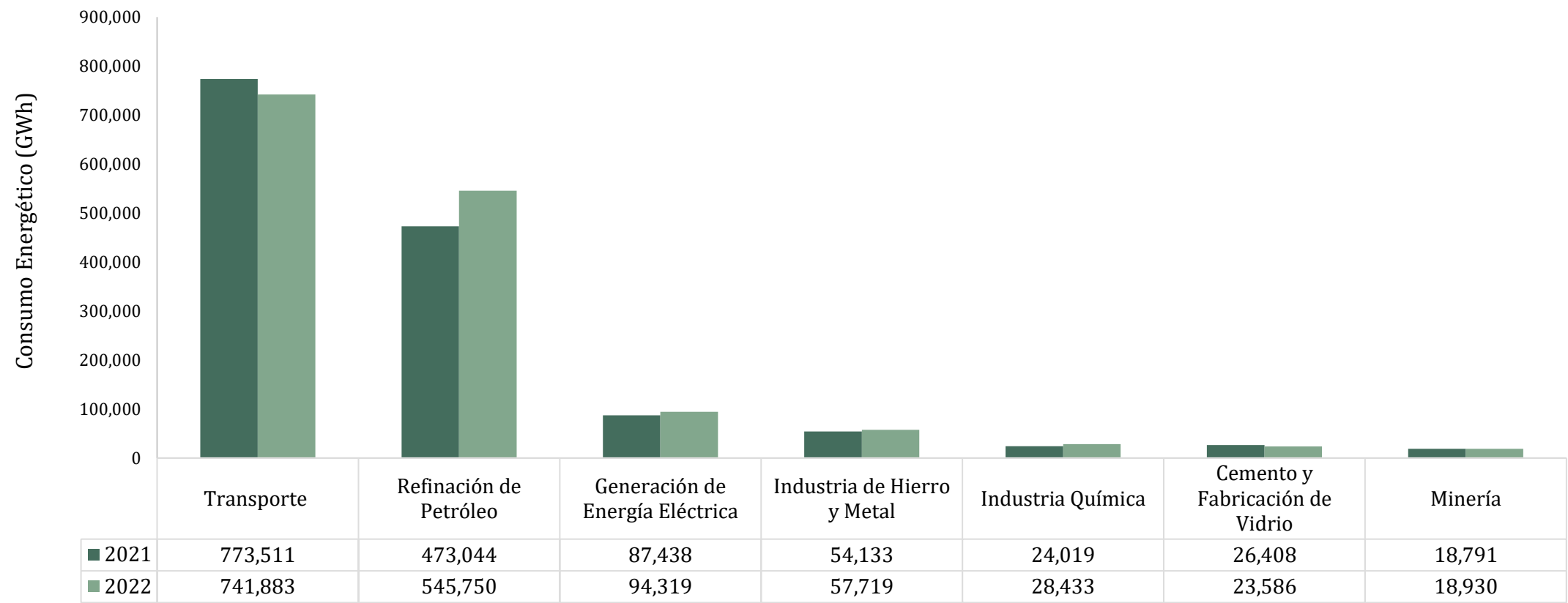


# Estado Actual en México



# EL CONSUMO ENERGÉTICO NACIONAL HOY

La demanda energética en México está experimentando una evolución constante, impulsada principalmente por sectores clave como el transporte, la refinería de petróleo y la generación de energía eléctrica. Estos sectores, caracterizados por un alto consumo energético, están proyectados a desempeñar un papel fundamental en el futuro del suministro energético del país.

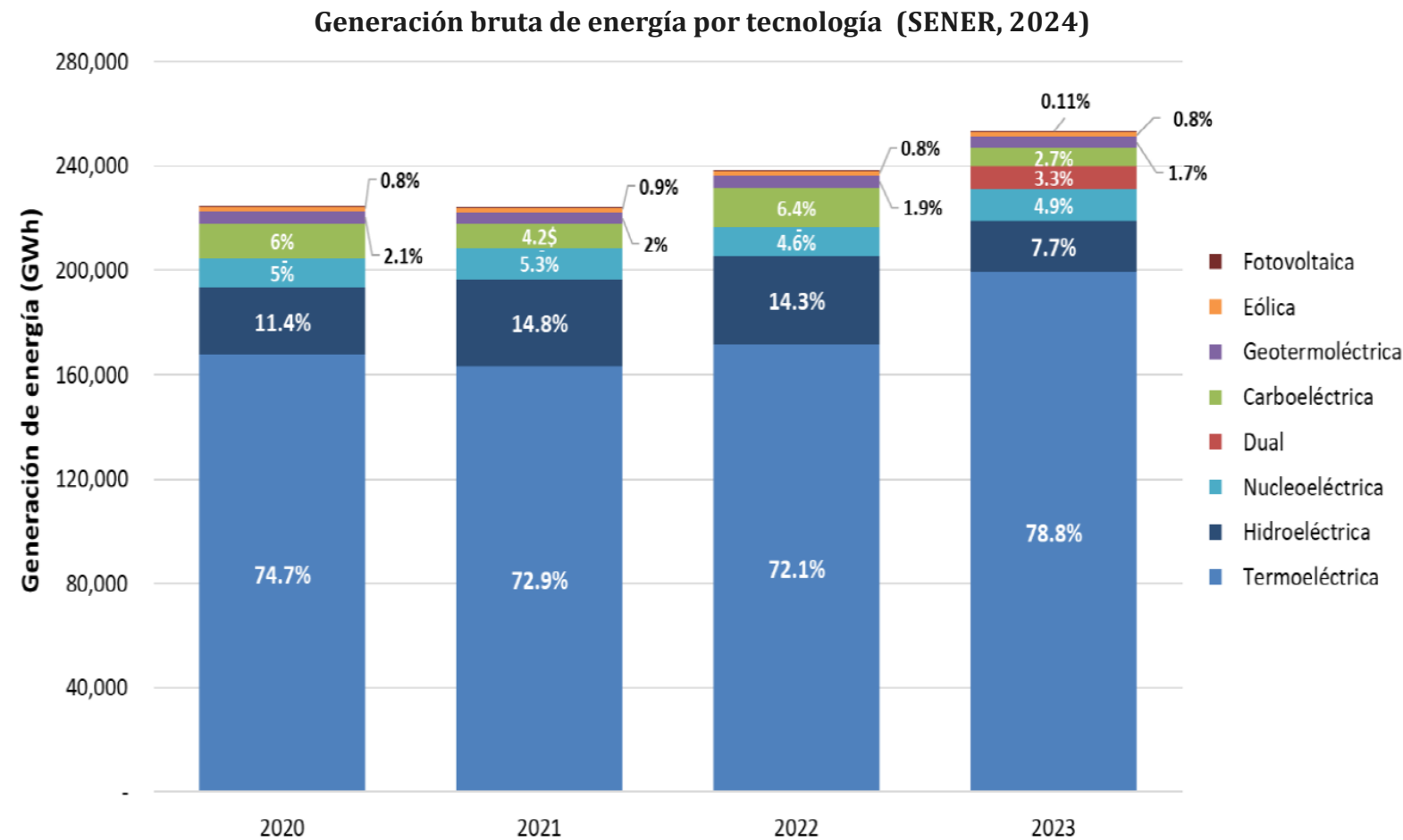


Consumo energético por sector en México 2021-2022 (SENER, 2023).

# EL POTENCIAL DEL HIDRÓGENO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA EN MÉXICO

El uso del hidrógeno como vector energético (como combustible, para almacenar energías renovables o en celdas de combustible) es aún incipiente. El uso de hidrógeno mezclado con gas natural (hasta en un 30%) en la generación de electricidad tiene un alto potencial en la generación energética y en estrategias energéticas limpias.

- La producción de energía eléctrica en México proviene principalmente de tecnologías termoeléctrica (78.8% del total) e hidroeléctrica. (7.7%).
- La energía geotermoeléctrica, eólica y fotovoltaica han tenido una aportación cada una menor al 1%.
- El potencial uso de hidrógeno verde y azul (al capturar el CO<sub>2</sub> generado) contribuiría considerablemente a las estrategias de descarbonización en México.

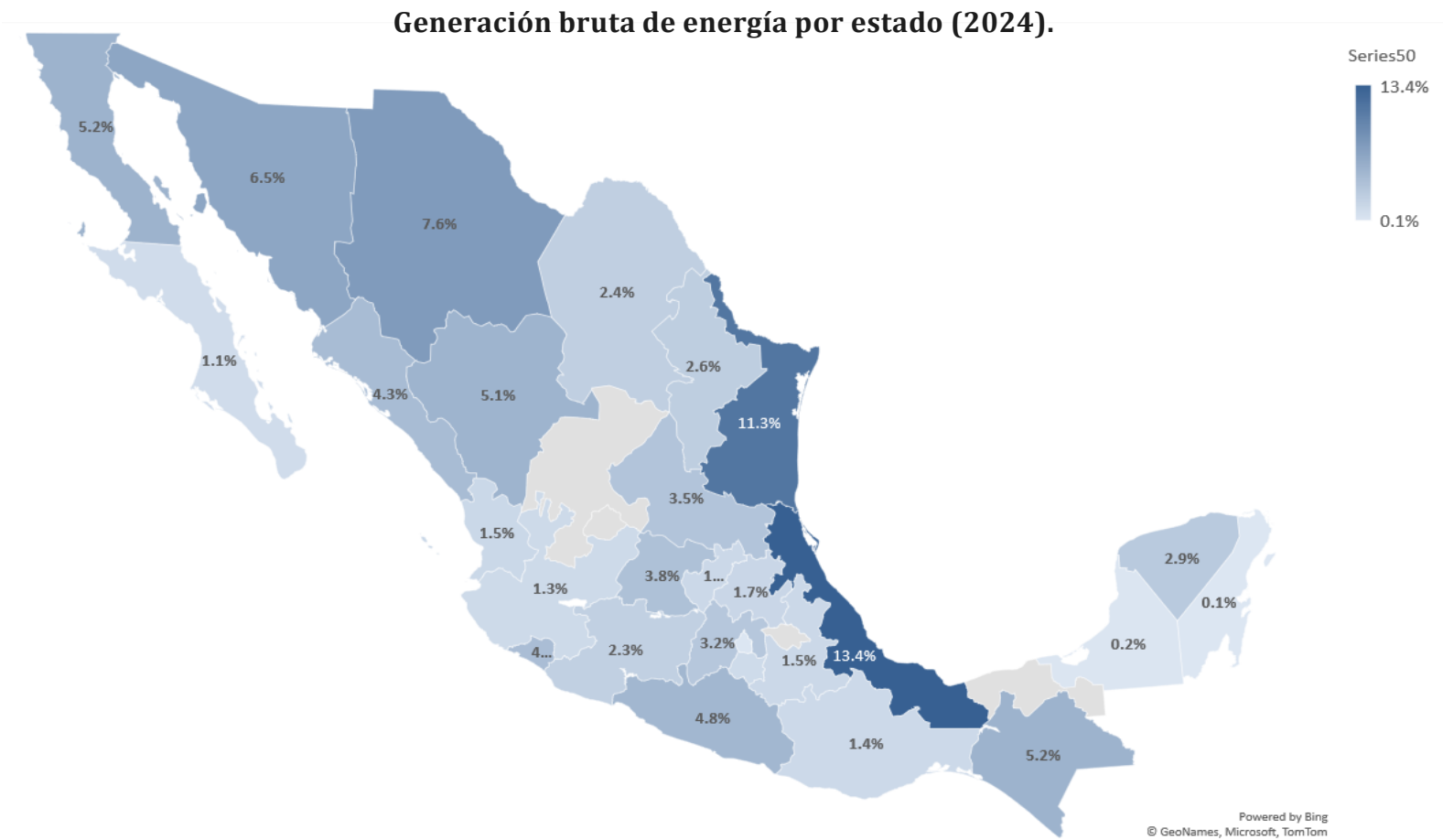


Fuente: SENER, 2024

# CONCENTRACIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL EN LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA EN MÉXICO

Una mayor contribución del hidrógeno en la producción energética permitiría a otros estados participar en la generación energética nacional.

- Más del 50% de la producción energética actual del país, se encuentra concentrada en siete estados, Veracruz (13.4%), Tamaulipas (11.3%), Chihuahua (7.6%) Sonora (6.5%), Baja California (5.2%), Chiapas (5.2%) y Durango (5.1%).
- Algunos estados que podrían contribuir a la generación energética mediante hidrógeno limpio incluyen: Nuevo León, Oaxaca, Guanajuato, Baja California.

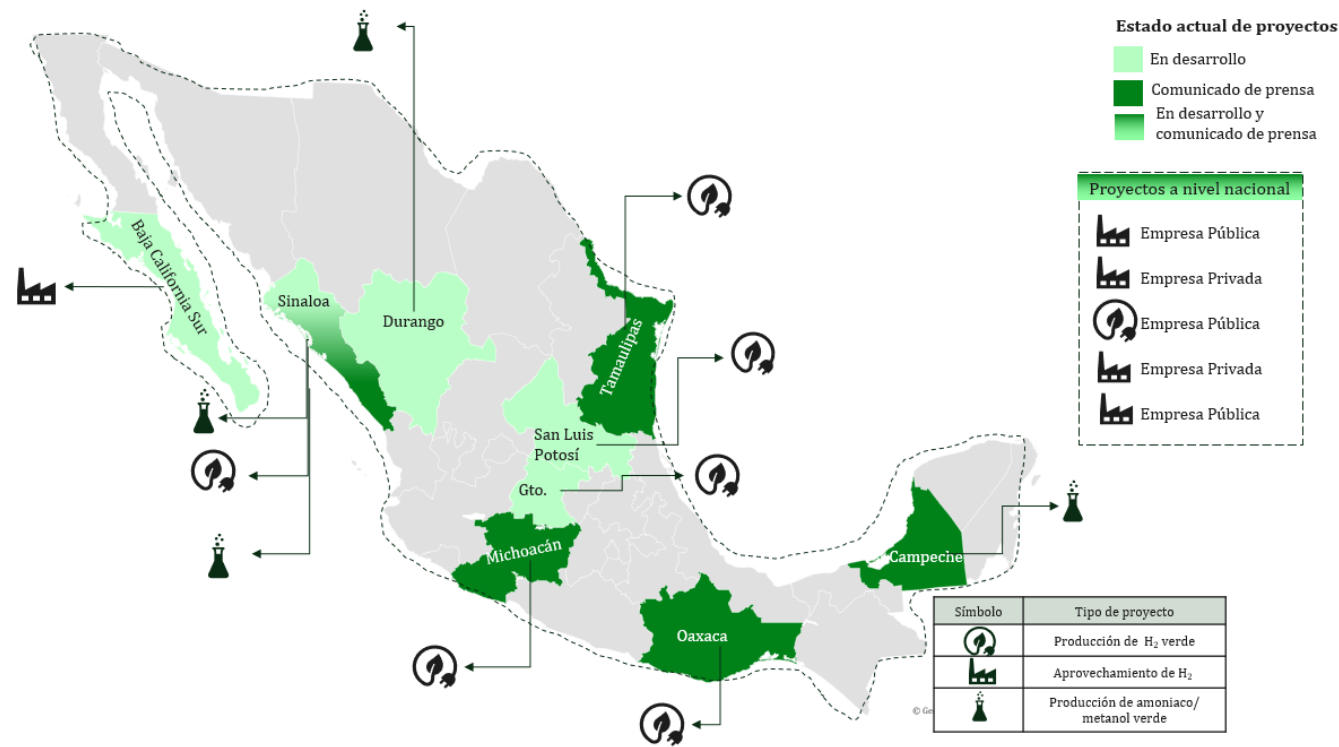


Fuente: SENER, 2024

# YA EXISTEN PROYECTOS DE HIDRÓGENO LIMPIO EN MÉXICO

- En México, existen 16 proyectos relacionados con el hidrógeno en diferentes etapas de desarrollo (8) o que han sido anunciados públicamente (8). Estos proyectos están centrados principalmente en el aprovechamiento del hidrógeno verde y que buscan el desarrollo de plantas de producción o de estrategias de adopción de hidrógeno en diferentes industrias y zonas del país, y requerirán inversiones mayores a 20 mil millones de dólares en conjunto. Adicionalmente, se han identificado otros potenciales proyectos que están en estudio de factibilidad y otras iniciativas relacionas con hidrógeno verde.
- Los 16 proyectos identificados son de diferente tipo: Producción de hidrógeno verde (7); Aprovechamiento de hidrógeno verde (5); Producción de amoníaco verde (3); Producción de metanol verde (1).

Distribución de los 16 proyectos de hidrógeno





# SON VARIOS LOS ESTADOS CON POTENCIAL DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

En el panorama de la producción de hidrógeno en México y considerando proyectos de hidrógeno que ya están en marcha, son varios los estados que serían considerados estratégicos por una combinación de criterios:

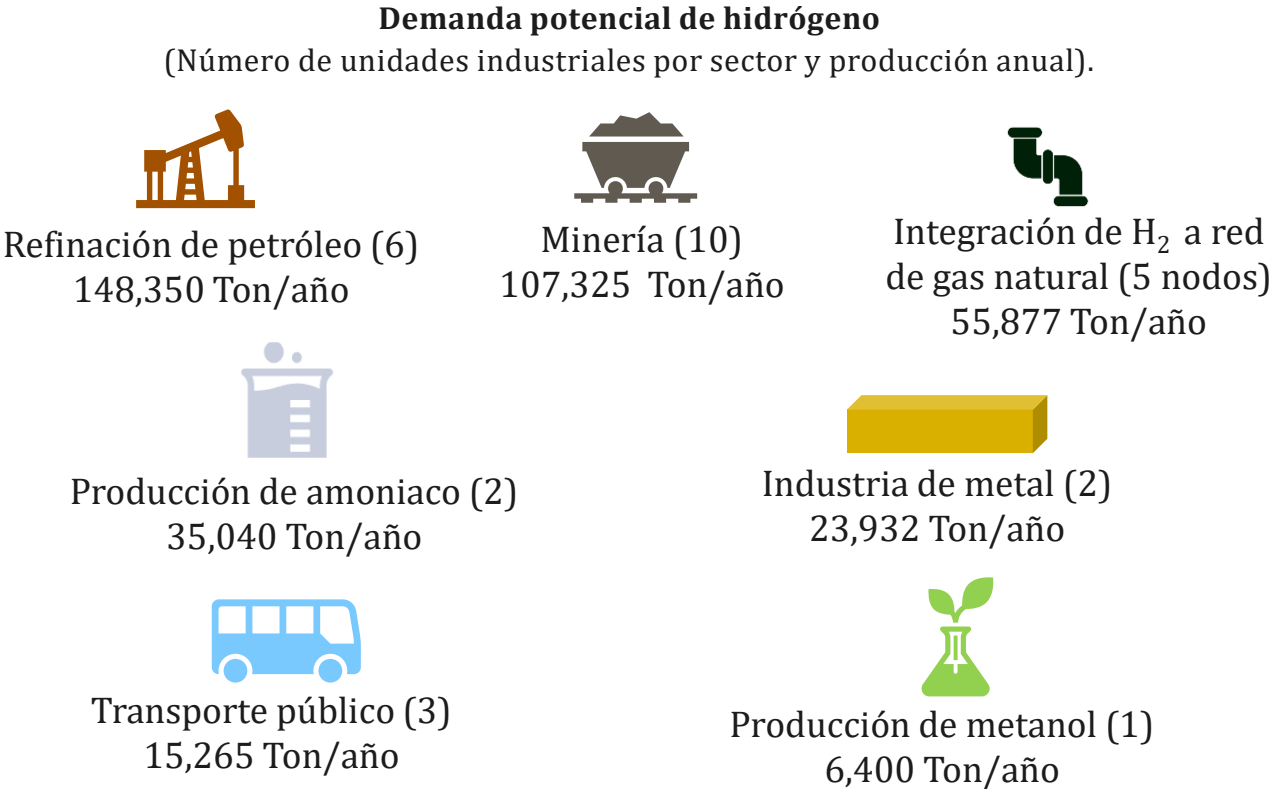
- Nearshoring
- Plantas de ciclo combinado
- Diversidad industrial
- Refinerías con producción de hidrógeno gris
- Accesibilidad a puertos estratégicos



# EXISTE UNA POTENCIAL COTRIBUCIÓN DEL HIDRÓGENO LIMPIO EN INDUSTRIAS ESTRATÉGICAS

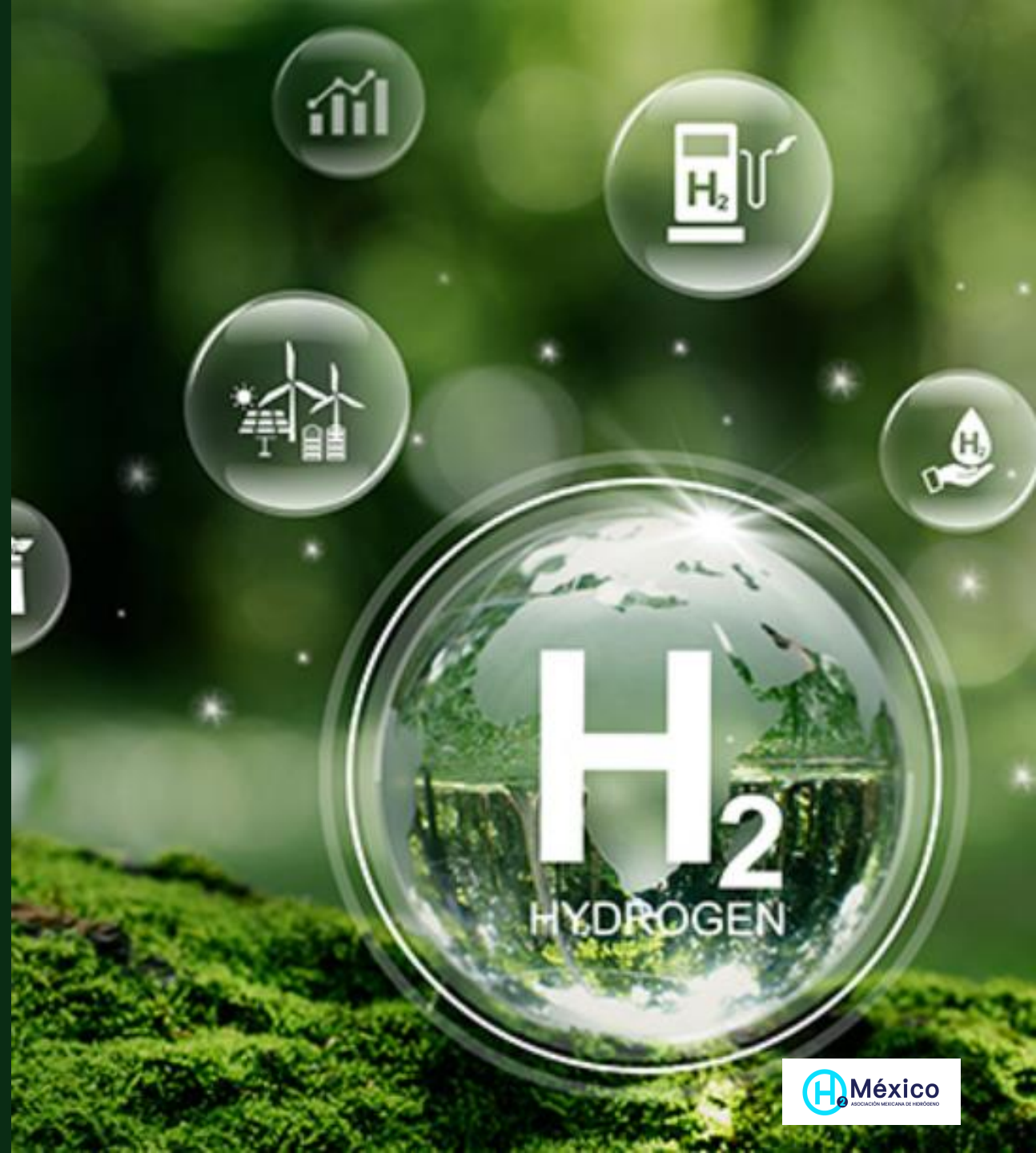
Se han identificado sectores estratégicos en el país que actualmente utilizan el hidrógeno en sus procesos: minería, transporte público, industria del metal, refinación del petróleo, industria química (producción de amoníaco y metanol) y la red de gas natural.

Se realizó una estimación de la capacidad de producción anual de hidrógeno requerida que tendría cada sector a nivel piloto. En algunos casos el hidrógeno se estaría produciendo in situ y en otros se estaría transportando desde los sitios de producción.



Fuente: Centro Mario Molina, 2023

# Marco Político y Normativo



# EL MARCO POLÍTICO Y NORMATIVO ESPECÍFICO DE HIDRÓGENO

En México no existe un marco regulatorio específico de hidrógeno; existen diversos instrumentos, tanto vinculantes como no vinculantes, que tienen el propósito específico de impulsar la descarbonización.



## INSTRUMENTOS FEDERALES APLICABLES POR TIPO DE HIDRÓGENO

De acuerdo con la naturaleza y tipo de hidrógeno, será aplicable la observancia de las diversas legislaciones, en cuanto a su producción:

| Ley                                                                 | Tipo de hidrógeno                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley de Minería                                                      | <div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div></div>                                                                                                 |
| Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente       | <div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div></div> |
| Ley de Aguas Nacionales                                             | <div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div></div>                                                                         |
| Ley de Hidrocarburos                                                | <div><div>H<sub>2</sub></div><div>H<sub>2</sub></div></div>                                                                                                 |
| Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear | <div><div>H<sub>2</sub></div></div>                                                                                                                         |
| Ley de Transición Energética                                        | <div><div>H<sub>2</sub></div></div>                                                                                                                         |
| Ley de la Industria Eléctrica                                       | <div><div>H<sub>2</sub></div></div>                                                                                                                         |
| Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos                 | <div><div>H<sub>2</sub></div></div>                                                                                                                         |
| Ley de la Energía Geotérmica                                        | <div><div>H<sub>2</sub></div></div>                                                                                                                         |

● Negro ● Gris ● Azul ● Rosa ● Verde ○ Blanco

# EL MARCO POLÍTICO Y NORMATIVO ESPECÍFICO DE HIDRÓGENO

Adicionalmente, existen otros instrumentos y políticas públicas a nivel federal y estatal que establecen requisitos o estímulos al hidrógeno, a lo largo de su ciclo de vida:

## Nivel Federal

|                    |                                              |
|--------------------|----------------------------------------------|
| Normatividad       | Medio ambiente, cambio climático y agua      |
|                    | Transporte terrestre, marítimo y ferroviario |
|                    | Salud y Seguridad                            |
| Políticas públicas | Cambio climático                             |
|                    | Transición energética                        |
|                    | Uso de combustibles más limpios              |
| Mecanismos         | Sistema de Comercio de Emisiones             |
|                    | Certificados de Energía Limpia               |
|                    | Impuesto al Carbono (upstream)               |

## Nivel Estatal

|                    |                                         |
|--------------------|-----------------------------------------|
| Normatividad       | Medio ambiente, cambio climático y agua |
|                    | Eficiencia y ahorro energético          |
|                    | Uso de suelo                            |
| Políticas públicas | Cambio climático                        |
|                    | Transición energética                   |
|                    | Transporte sostenible.                  |

Además, en 2024 fueron publicados los Lineamientos en Materia de Hidrógeno , por parte de SENER.



# Retos y Mitigantes

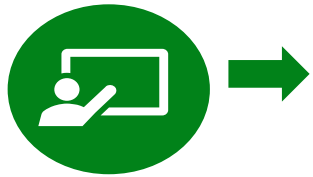


# EXISTEN RETOS PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DE HIDRÓGENO: CAPACIDAD TÉCNICA Y TECNOLÓGICA

El desarrollo de la industria del hidrógeno enfrenta retos significativos que incluyen: la necesidad de tener expertos en materia de hidrógeno, la disponibilidad de la tecnología para el desarrollo de estos proyectos, la conversión de infraestructura, la mejora de los incentivos fiscales para empresas, así como la creación de normativas oficiales mexicanas dedicadas al hidrógeno.

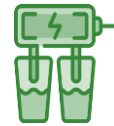
## Capacitación técnica

En la actualidad no se cuenta con personal capacitado para:



- Desarrollar estándares técnicos
- Diseñar, implementar y mantener los sistemas de hidrógeno
- Establecer marcos de referencia regulatorios

## Desafíos de la tecnología necesaria



*Costos:* Altos costos de maquinaria y tecnología, como el electrolizador.



*Madurez:* Tecnologías existentes en fases de desarrollo y requieren escalabilidad.



*Disponibilidad:* Difícil adquisición de manera regional y global.

# RETOS DE INFRAESTRUCTURA Y LOGISTICA

## Infraestructura necesaria

La falta de infraestructura adecuada de las redes de transmisión y gasoductos representa un reto para la adopción del hidrógeno verde en México.



Red de gasoductos antigua y con capacidad limitada

- Gasoductos existentes en regiones estratégicas:
- Noroeste (Sonora, Sinaloa, Baja California)
  - Noreste (Tamaulipas)
  - Istmo de Tehuantepec

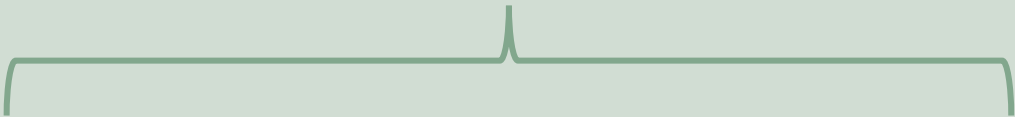
Desafíos:



- Seguridad y adaptación tecnológica.
- Infraestructura adecuada y modernizada que considere características de transporte y almacenamiento del hidrógeno.
- Construir tuberías exclusivas para hidrógeno requiere una inversión mayor.

## Complejidad en la conectividad

La complejidad en el posicionamiento estratégico de los centros de producción de hidrógeno, así como de almacenamiento y distribución, para consolidar un mercado competitivo de producción y exportación



*Plan de desarrollo industrial*



Cercanía a puertos



Uso de gasoductos existentes



Cercanía a centros de energía limpia



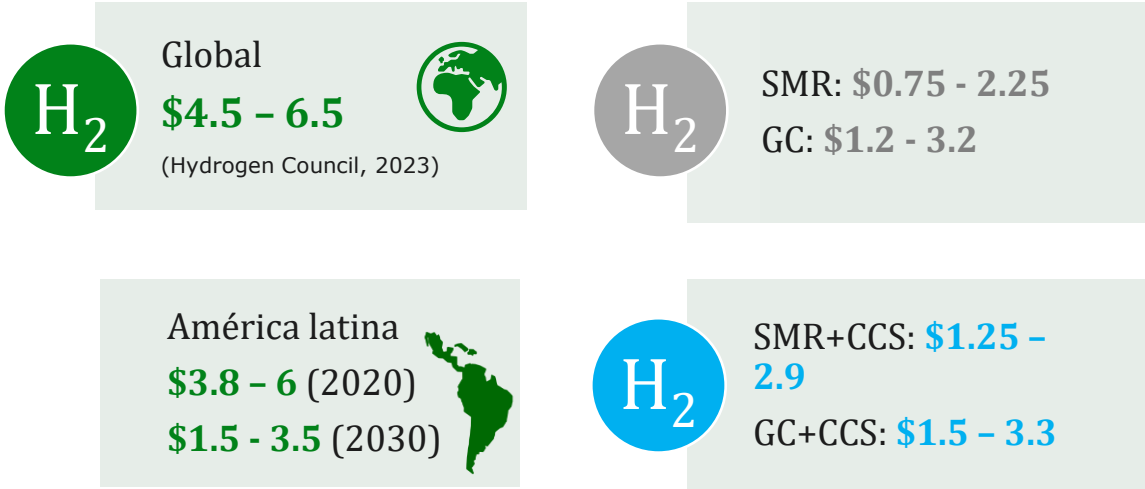
Ubicación de usuarios finales

# EXISTEN RETOS PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DE HIDRÓGENO

## Altos costos

La brecha existente entre los precios del hidrogeno verde y el hidrogeno gris, se explica en gran medida por la diferencia en los métodos para la producción de ambos, y, por ende, en los costos finales de los mismos. El hidrógeno gris utiliza la infraestructura y gas natural ya existentes. La producción de hidrógeno verde requiere energías renovables para su producción, que tiene costos iniciales significativos y no cuentan con las mismas economías de escala comparadas con las del hidrógeno gris.

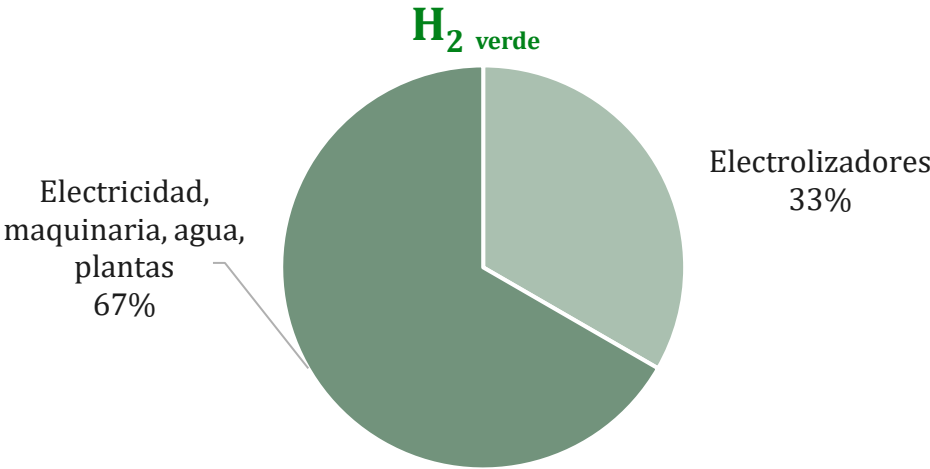
### Costos de producción (USD/kg H<sub>2</sub>)



SMR: Steam methane reforming  
GC: Gasificación de carbón  
CCS: Captura y almacenamiento de carbono

$\$ \text{H}_2 \text{ verde} > \$ \text{H}_2 \text{ gris}$

Proporción de costo de producción



# NECESIDADES DE ADAPTACION REGULATORIA (NACIONAL E INTERNACIONAL)

## Normatividad

Si bien existen diversos instrumentos, tanto vinculantes como no vinculantes que tienen el propósito específico de impulsar la descarbonización, en México no existe un marco regulatorio específico de hidrógeno, lo que limita el desarrollo de proyectos a gran escala .

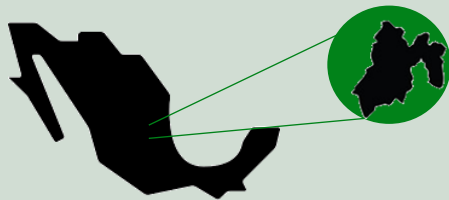


Se requiere:

- Aprovechar el marco regulatorio existente, realizando adecuaciones selectas para impulsar el desarrollo de la industria, por ejemplo, incluir en la NOM-001-SECRE-2010 la combinación de hidrógeno con gas natural.

## Incentivos para la inversión, producción y consumo

Si bien existen algunos incentivos relacionados con el uso de tecnologías para la reducción de emisiones como los vehículos eléctricos, se requiere una política fiscal que promueva la inversión, la producción y el uso de hidrógeno verde y azul.



### Locales

- Reducción de impuestos sobre nóminas y predial.
- Exención en la tenencia para vehículos.

### Federales

- Dirigidos a la industria del hidrógeno o eslabones.
- Aquellos que benefician a la industria (transición energética y descarbonización).

## Sistema de precios internacional

Se requiere un punto de referencia oficial para el mercado de tecnologías basadas en hidrógeno.

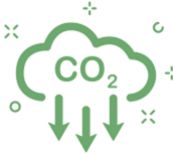
Beneficios de un sistema de precios internacional:

- Transparencia en costos.
- Modelos existentes: "EEX Green HYDRIX" en Alemania.
- Beneficios económicos.
- Fomento de competitividad e innovación tecnológica.

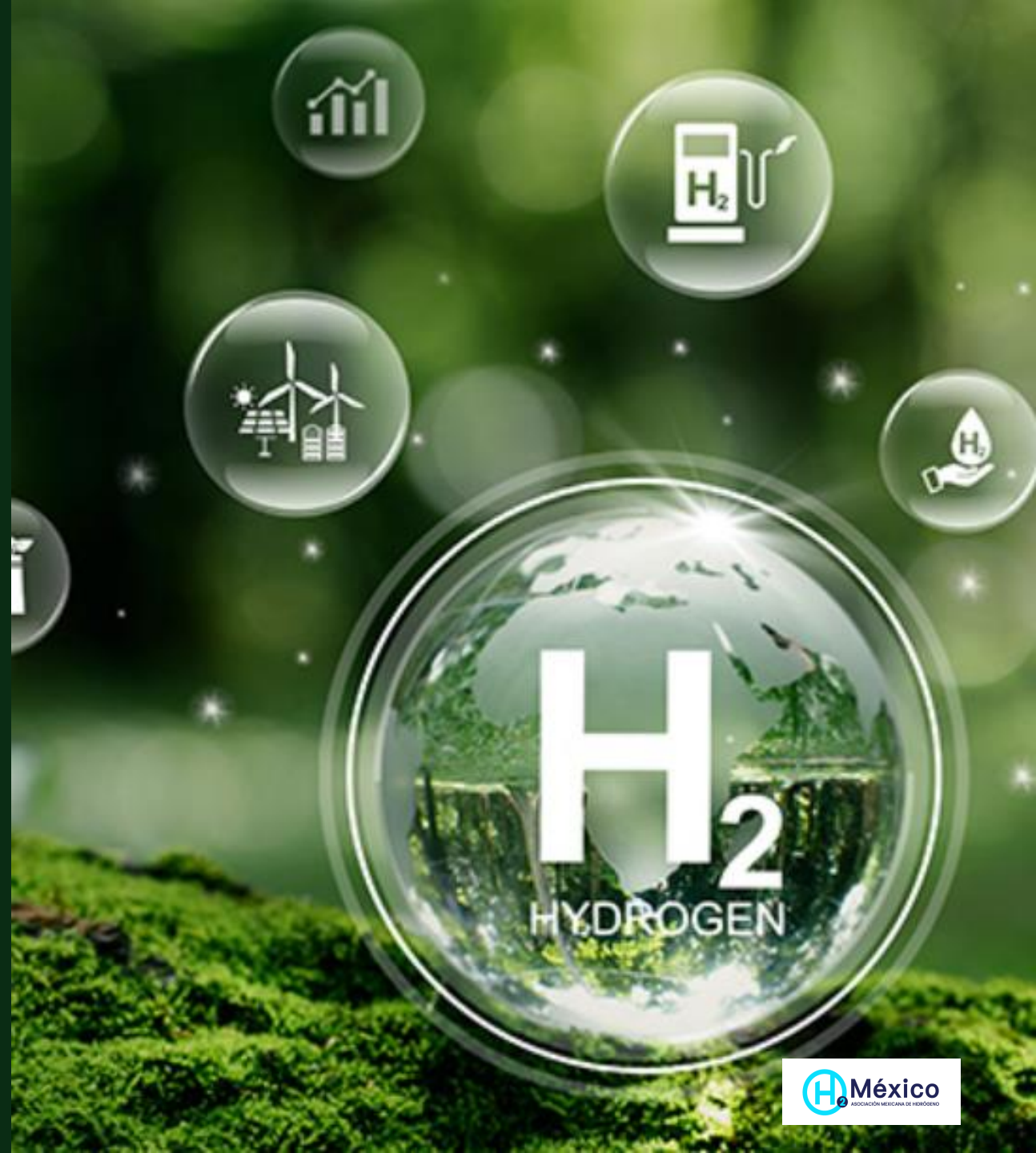


# RETOS EN EL AMBITO SOCIAL Y AMBIENTAL

El desarrollo de una industria naciente puede derivar en diversos beneficios económicos y sociales para comunidades locales. Sin embargo, a su vez nuevos desafíos emergen que deben ser considerados en una planeación estratégica robusta:

| Desafío   | <p>Potencial reordenamiento territorial</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Potencial reubicación de comunidades</li></ul>                                                                                                                                                                           | <p>Desconocimiento sobre el hidrógeno y su uso</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Desconocimiento de su uso y beneficios.</li><li>• Falta de conocimiento de requisitos de salud y seguridad.</li></ul>                                                                               | <p>Escasez de agua</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Disminución de recursos para comunidades.</li><li>• <b>27 - 48</b> litros/kg H<sub>2</sub> producido,</li></ul>                                                                                                                       |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mitigante | <div><p>Participación activa de las comunidades locales .</p></div> <div><p>Programas de capacitación en materia de hidrógeno.</p></div> | <div><p>Sensibilización y educación pública.</p></div> <div><p>Impulso a la innovación social y tecnológica.</p></div> | <div><p>Desalinización y uso de aguas residuales tratadas.</p></div> <div><p>Mapeo de regiones con estrés hídrico.</p></div> |

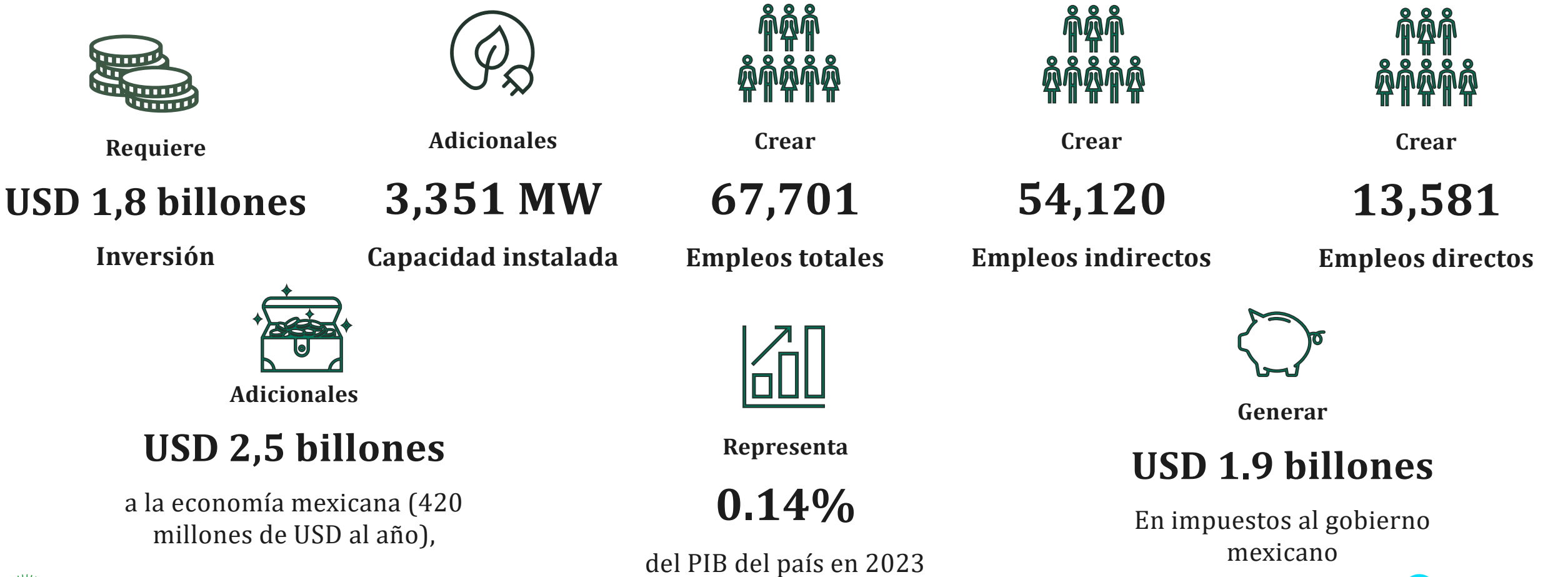
# Oportunidades y Beneficios Potenciales



# EL POTENCIAL BENEFICIO ES ECONÓMICO, SOCIAL, Y DE GENERACIÓN ENERGÉTICA LIMPIA

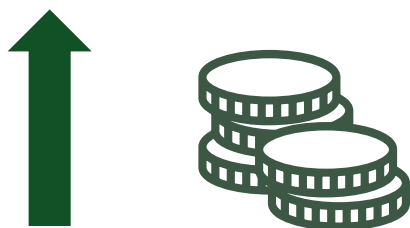
Además de la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la contribución a dar cumplimiento con compromisos climáticos internacionales, la adopción del hidrógeno limpio podría generar beneficios económicos y sociales en el mediano y largo plazo.

Con el fin de evaluar dicho potencial, se estimó la inversión requerida para una capacidad energética definida y el impacto económico y social que traerían al 2030 una selección de proyectos (6) que se encuentran en desarrollo o de los cuales se ha publicado la capacidad instalada que podrían llegar a tener.



# TAMBIEN HAY GRANDES OPORTUNIDADES A MEDIANO Y LARGO PLAZO

La transición hacia una economía donde el hidrógeno sea una alternativa real como fuente de energía en México presenta numerosas oportunidades en el mediano y lato plazo que pueden contribuir significativamente al desarrollo de una industria de hidrógeno:



60,000 MUSD y cree 3 millones de empleos para 2050 (H2MEX, 2024)

## INVERSIONES



Especialmente el transporte pesado y el uso en producción de amoniaco y fertilizantes.



Transición de uso de gas natural en las centrales de ciclo combinado (CCC) entre 2033 y 2036 (PRODESEN, 2024).

## USO Y COMERCIALIZACIÓN DEL HIDRÓGENO VERDE

Los recursos renovables del país ofrecen una base sólida para la producción de hidrógeno verde.



Hidroeléctrica  
19,564 GWh



Fotovoltaica  
8,475 GWh



Geotérmica  
4,321 GWh

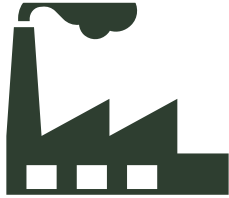


Eólica  
1,919 GWh

## APROVECHAR LA CAPACIDAD ACTUAL DE GENERACIÓN DE RECURSOS RENOVABLES

# OPORTUNIDADES ADICIONALES

México cuenta con **116 mil** unidades económicas con potencial para encadenamientos productivos



Oportunidades de manufactura tecnológica

- Electrolizadores
- Celdas de combustible
- Turbinas eléctricas

## INFRAESTRUCTURA INDUSTRIAL Y MANUFACTURA EN MÉXICO



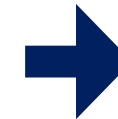
- Proximidad a puertos marítimos
- Colaboraciones transfronterizas
- Generación de energía limpia
- Proyectos de hidrógeno
- Refinerías

## UBICACIÓN ESTRATÉGICA



## PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN DE HIDRÓGENO VERDE

Descarbonizar sectores clave

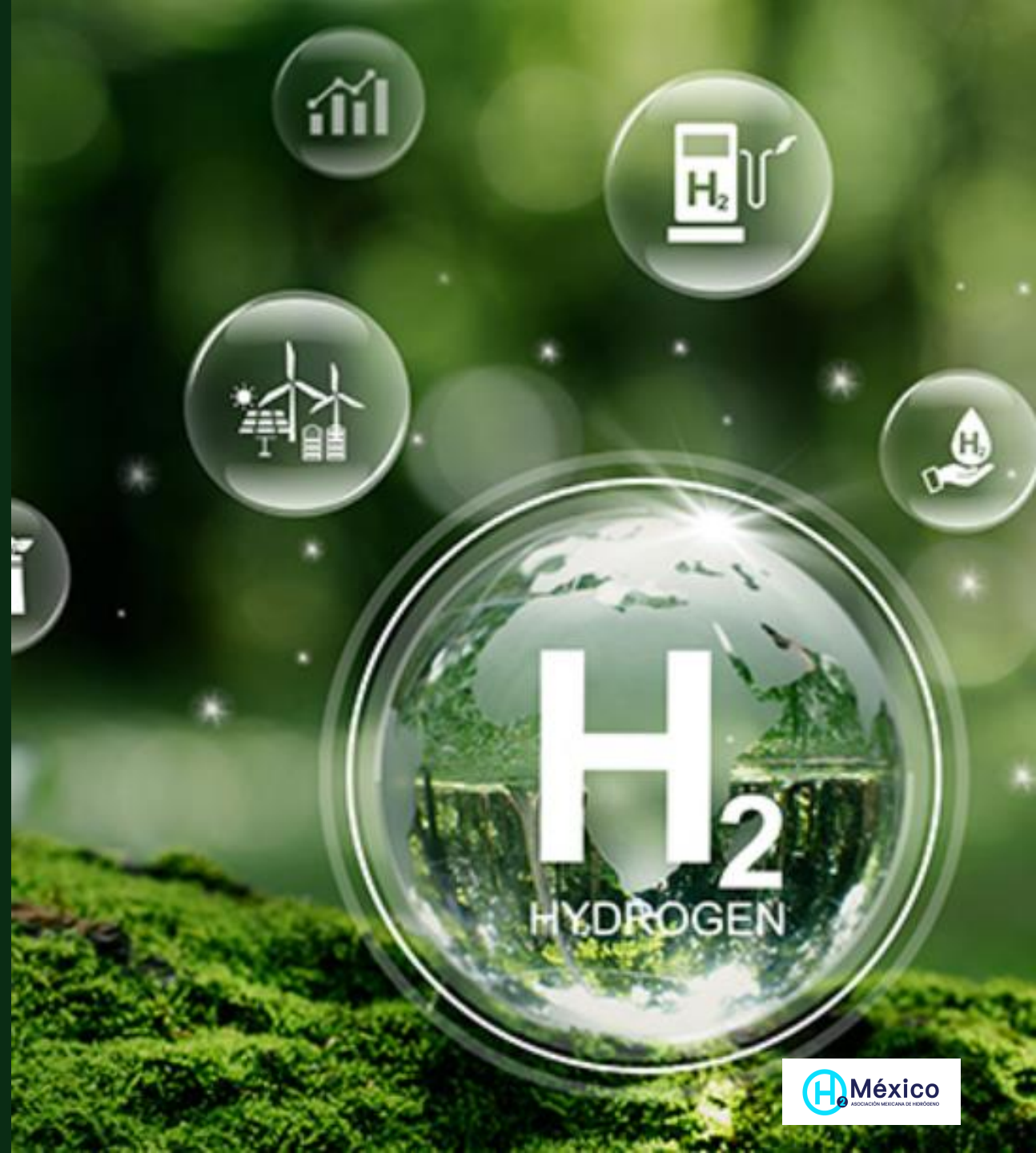


México se comprometió mediante la NDC a reducir un 35% de sus emisiones de GEI con respecto a su línea base para el año 2030.

## REDUCCIÓN DE EMISIONES



# Comparativo otras hojas de ruta: Estados Unidos de América, Chile y Colombia



# HOJAS DE RUTA DE OTROS PAISES

Las hojas de ruta de hidrógeno son documentos que enlistan los pasos para poder desarrollar, implementar y/o promover el uso de hidrógeno como energía en países, regiones y empresas. Dentro de estos documentos se suele describir el estado actual en materia de hidrógeno, así como las oportunidades, barreras y posibles aplicaciones que se pueden promover.



## Horizonte de tiempo

|          |             |
|----------|-------------|
| EE. UU.  | 2023 a 2035 |
| Chile    | 2020 – 2050 |
| Colombia | 2030 – 2050 |



## Fortalezas

Cuentan con una gran variedad de recursos para producir H<sub>2</sub>. EE. UU. tiene mapeado en detalle los pasos a seguir en su hoja de ruta.



## Tipos de hidrógeno

|          |             |
|----------|-------------|
| EE. UU.  | Verde       |
| Chile    | Verde       |
| Colombia | Verde, azul |



## Estrategias propuestas

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EE. UU.  | <ul style="list-style-type: none"><li>Fortalecer el mercado y las aplicaciones de los sectores que generan demanda actual y futura</li><li>Reducir los costos del H<sub>2</sub></li><li>Desarrollar la infraestructura</li><li>Promover regulaciones que faciliten dicha transición</li></ul> |
| Chile    |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Colombia |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



## Objetivos y metas

Los tres países tienen objetivos enfocados al precio y producción del H<sub>2</sub>. Sin embargo, EE. UU. tiene objetivos más específicos clasificados por horizonte de tiempo y programa.



## Enfoque en sectores

|          |                                                                                                                                  |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EE. UU.  | <ul style="list-style-type: none"><li>Edificios</li><li>Transporte</li><li>Electricidad</li><li>Industria</li></ul>              |
| Chile    |                                                                                                                                  |
| Colombia | <ul style="list-style-type: none"><li>Industria: refinerías y amoniaco verde</li><li>Transporte: camiones y Autobuses.</li></ul> |

# HOJAS DE RUTA DE OTROS PAISES



## Barreras

|          |                                                                                                                                                                                                                       |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EE. UU.  | <ul style="list-style-type: none"><li>Elevado costo del H<sub>2</sub> para el usuario final</li><li>Falta de infraestructura de transporte y distribución</li><li>Falta de incentivos y apoyo gubernamental</li></ul> |
| Chile    |                                                                                                                                                                                                                       |
| Colombia | <ul style="list-style-type: none"><li>Destaca la falta de demanda de H<sub>2</sub>.</li></ul>                                                                                                                         |



## Abatimiento de emisiones

|          |                                               |
|----------|-----------------------------------------------|
| EE. UU.  | Net Zero                                      |
| Chile    | Carbono neutral                               |
| Colombia | Reducción de 13 Mt de CO <sub>2</sub> en 2050 |



## Exportación (demanda proyectada)

|          |                                                                                                                                                                                                                     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EE. UU.  | En análisis                                                                                                                                                                                                         |
| Chile    | <ul style="list-style-type: none"><li>Tienen identificados los posibles países a los que exportará el H<sub>2</sub>.</li><li>Chile contempla una proyección sobre la exportación de H<sub>2</sub> a 2050.</li></ul> |
| Colombia |                                                                                                                                                                                                                     |



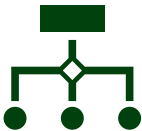
## Costo del hidrógeno esperado

|          |                        |
|----------|------------------------|
| EE. UU.  | 1 USD/kg               |
| Chile    | Menor a 1.5 USD/kg.    |
| Colombia | Entre 1.5 y 4.4 USD/kg |



## Pilares o principios guía

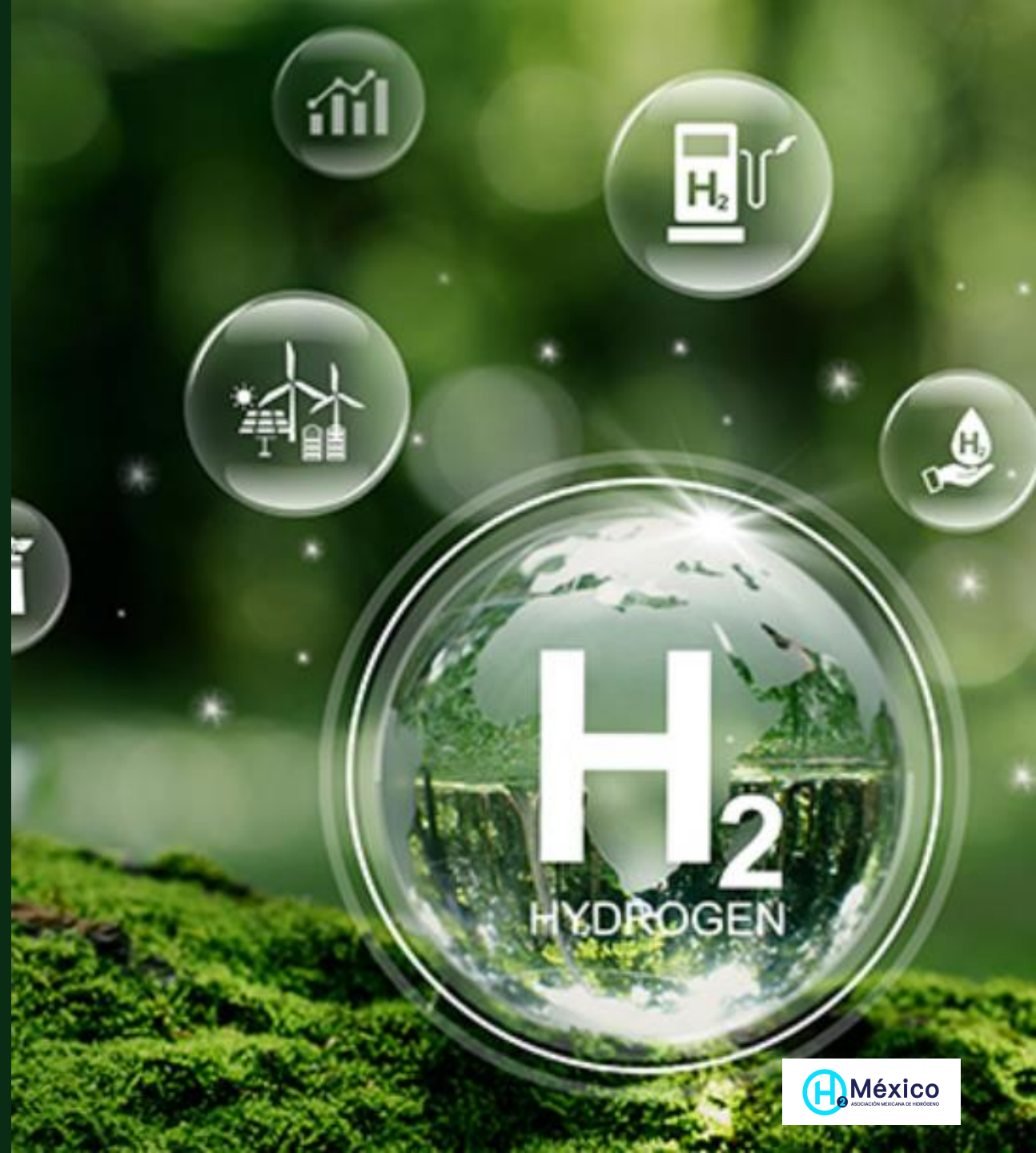
|          |                     |
|----------|---------------------|
| EE. UU.  | 8 principios guía   |
| Chile    | 6 pilares           |
| Colombia | 4 ejes de actuación |



## Hoja de ruta

|                        |                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EE. UU.<br>(3 oleadas) | <ul style="list-style-type: none"><li>Impulsar los mercados existentes</li><li>Impulsar el sector transporte y de combustibles</li><li>Las aplicaciones estarán dirigidas a energía</li></ul>                                                 |
| Chile<br>(3 oleadas)   | <ul style="list-style-type: none"><li>Desarrollar y fortalecer el consumo doméstico y la industria nacional</li><li>Enfocada en el transporte de H<sub>2</sub> y la apertura a la exportación</li><li>Crecimiento de la exportación</li></ul> |
| Colombia<br>(3 fases)  | Acciones que se deben realizar de acuerdo con su horizonte de tiempo combinando infraestructura, regulaciones, acciones administrativas y tecnológicas.                                                                                       |

# Recomendaciones





# RECOMENDACIONES: INFRAESTRUCTURA; CADENA DE VALOR; TECNOLOGÍA

La infraestructura, cadena de valor y tecnología tendrán una injerencia directa en el costo y precio final del hidrógeno.

## Infraestructura

- Promover la infraestructura necesaria para la economía del hidrógeno:
  - Proyectos de **aprovechamiento de gasoductos** en las regiones del Noroeste (Sonora y Sinaloa), Noreste (Tamaulipas), Istmo de Tehuantepec, Baja California y la península de Yucatán.
  - El Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas contempla la **conversión de 5,789 MW de capacidad de ciclos combinados** a una mezcla de 75% gas natural y **25% hidrógeno** entre 2033 y 2036.
- Impulsar la **energía renovable**, en 2023 se generó en todo el país cerca de **34,283 GWh**.
  - Por ejemplo, Baja California Sur es una región con grandes recursos naturales y alta demanda de capacidad de generación eléctrica.

## Cadena de valor

- Evaluar los **sectores con demanda actual de H<sub>2</sub> gris** a detalle para identificar a los principales clientes nacionales para promover el inicio la adopción del Hidrógeno verde. (Ej. Sector refinería: PEMEX produce cerca de **102.6 miles de toneladas/año de hidrógeno gris** a partir de gas natural)
- **Desarrollo de un programa de capacitación a nivel federal y / o estatal** para personal en materia de hidrógeno, sobre todo en estados como **Tamaulipas, Oaxaca, Nuevo León, Baja California y Guanajuato**.
- Promover e incentivar la inversión en proyectos de generación de hidrógeno. Actualmente, se tiene un estimado de **inversión requerida** de más de **20 mil millones de USD** en proyectos en diferentes etapas o anunciados públicamente.

## Tecnología

Promover el desarrollo tecnológico e industrial de las tecnologías del hidrógeno través del acercamiento con la academia nacional e internacional y la industria mexicana:

- **Electrolizadores, celdas de combustible y turbinas eléctricas:** emplear la capacidad instalada en **manufactura metalmecánica y la industria del acero** en México, la experiencia en manufactura de **componentes electrónicos y de turbinas**.



## RECOMENDACIONES: EN LO AMBIENTAL Y SOCIAL



### Ámbito ambiental

Considerando que el uso del agua es necesaria en el proceso de producción de hidrógeno verde y que, en México, el estrés hídrico es un tema cada vez más recurrente en diferentes partes del país, sobre todo en zonas del norte, es fundamental considerar:

- Desarrollo de un análisis y estrategia que permita el uso eficiente de recursos incluyendo la evaluación del estrés hídrico en las zonas en las que se tiene planeado construir proyectos de producción de hidrógeno, inicialmente en los estados de **Tamaulipas, Oaxaca, Nuevo León, Baja California y Guanajuato**. El análisis debe de considerar que:
  - El **aprovechamiento de agua residual tratada** de plantas urbanas e industriales puede contribuir a la presión sobre recursos hídricos.
  - El uso de **agua de mar salinizada** es también viable si se combina con energía renovable
- Cuantificación de **emisiones evitadas**, se estima que la industria del hidrógeno verde podría reducir más de **40 MtCO<sub>2</sub> de emisiones/año**.



### Ámbito social

Además de priorizar los beneficios ambientales y económicos del hidrógeno limpio, se debe asegurar que las comunidades locales sean actores clave y beneficiarios directos de la transición hacia esta fuente de energía:

- Elaborar **programas de concientización y beneficios** del uso del hidrógeno para la población en general, con apoyo de ONGs (Ej. Centro Mario Molina) e instituciones gubernamentales Ej. SENER, INECC, SEMARNAT)
- Implementar una estrategia de capacitación que potencialice la generación de nuevos empleos (directos e indirectos) a lo largo de toda la cadena de valor. Datos iniciales y conservadores , estiman la generación de cerca de **70,000 empleos a 2030**, sin embargo, esta cifra podría crecer exponencialmente (hasta cerca de **3 millones en 2050**) con la implementación de una estrategia de hidrógeno nacional robusta.
- Desarrollar **estándares de seguridad** que evalúen el riesgo del H<sub>2</sub> en toda su cadena de valor: Apoyarse de estándares ya establecidos, como los de la **ISO en materia de hidrógeno**.

# RECOMENDACIONES: MARCO REGULATORIO E INSTITUCIONAL, E INCENTIVOS



## Marco regulatorio e institucional

- Una **coordinación institucional** será fundamental para la elaboración, implementación y seguimiento de la hoja de ruta y estrategia. Se recomienda que alguna de estas secretarías tome el liderazgo en la coordinación y en ejercicio de sus atribuciones.



- Establecer **incentivos** para la producción de hidrógeno limpio, que impulsen el financiamiento y el desarrollo tecnológico **para la transición energética**. Ejemplos de incentivos en otros países:
  - Europa: entre otros, incentivos de financiamiento de proyectos, para el desarrollo tecnológico, y para la transición energética y alcanzar la neutralidad climática.
  - Estados Unidos: Ley de inversión en infraestructura y empleo para financiar *hubs* de hidrógeno; Créditos fiscales; Iniciativas estatales para reducir emisiones y transitar hacia la energía limpia.
- Establecer un **manual de buenas prácticas** que incluya la legislación vigente en materia ambiental y de salud y seguridad, las mejores prácticas de la industria y estándares internacionales aplicables.
- **Establecer criterios** de desempeño ambiental que faciliten la aprobación de proyectos .
- Evaluar la **modificación de normas** en materia de gas natural (calidad, transporte, distribución y aprovechamiento). Por ejemplo: **NOM-001-SECRE-2010, NOM-007-ASEA-2016**.
- Evaluar la modificación de normas en materia de equipos de uso doméstico basados Gas Natural o Gas L.P. (**NOM-010-SESH-2012**), así como impulsar la adecuada manufactura o conversión de equipos industriales al H<sub>2</sub> de forma segura a través de estándares voluntarios.

# GRACIAS

**Israel Hurtado**

Presidente, Asociación Mexicana de  
Hidrógeno

ih@h2mex.org

**Manuel Ortiz Monasterio**

Socio Senior, ERM

Manuel.OrtizMonasterio@erm.com

**Isabella Sánchez**

Vinculación Institucional, Asociación  
Mexicana de Hidrógeno

is@h2mex.org

**José Luis Sánchez**

Director, ERM

Jose.Sanchez@erm.com