



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES Y SOCIALES

Especialización en Prospectiva Estratégica

Trabajo integrador final

**“Exploración del futuro del hidrógeno, su
adopción en la suficiencia energética de
México y su competitividad al año 2030, los
escenarios posibles y probables”**

Tutor: Dr. Manuel Cervera Medel

Alumno:

Villanueva González Konrad Alain

2023



CONTENIDO

Introducción	4
Capítulo I. Aspectos teóricos – metodológicos	6
1.1 Justificación.....	6
1.2 Descripción del problema.....	7
1.3 Marco conceptual.....	8
1.4 Objetivos.....	10
1.5 Metodología.....	11
Capítulo II. Desarrollo del proceso prospectivo	14
2.1 Proceso prospectivo.....	14
2.1.1 Vigilancia tecnológica y tendencias competitivas.....	14
2.1.2 Estado del arte del Hidrógeno.....	27
2.1.3 Modelos internacionales basados en el Hidrógeno.....	43
2.1.4 Variables de estudio.....	60
2.2 Escenarios posibles y probables en México al año 2030	63
Introducción a los escenarios.....	63
Escenario idealizado.....	63
Escenarios posibles.....	70
El escenario más probable: Sin novedad.....	71
Escenario alternativo 1. Arrastrados por la corriente.....	74
Escenario alternativo 2. En espera de un jamás.....	77
2.3 Conclusiones y consideraciones finales.	83
El futuro del hidrógeno y su adopción en la suficiencia energética de México, sus escenarios.....	83
El abordaje prospectivo y sus herramientas.....	85
Bibliografía	88
Anexo 1. Consulta Delphi	88
Probabilidad de escenarios.....	94
Análisis de tendencias.....	103



Figuras

Figura 1. Tipos de Hidrógeno, formas de obtención y ventajas.....	15
Figura 2. Cadenas de valor del hidrógeno	16
Figura 3. Patentes por país	18
Figura 4. Patentes por tipo de organización	19
Figura 5. Principales empresas que presentaron patentes en electrolizadores al 2022	20
Figura 6. Principales empresas que presentaron patentes en celdas de hidrógeno al 2022	21
Figura 7. Panorama en China, celdas de hidrógeno al año 2021	22
Figura 8. Empresas emergentes en tecnología del hidrógeno al año 2022	23
Figura 9. Tendencias competitivas del hidrógeno.....	27
Figura 10. Clasificación de las variables mediante MIC	66
Figura 11. Clasificación de las variables del impulso del hidrógeno.....	68

Tablas

Tabla 1. Situación por países del estado del arte del hidrógeno	38
Tabla 2. Modelos internacionales. La experiencia por países significativos	49
Tabla 3. Resumen de los modelos por países significativos	60
Tabla 4. Descripción del tipo de variables	67
Tabla 5. Valores de motricidad y dependencia de las variables	68
Tabla 6. Escenario global probable, alcance cuantitativo	74
Tabla 7. Escenario alternativo global probable 1	77
Tabla 8. Escenario alternativo global probable 2.....	80
Tabla 9. Comparativa de escenarios	82

Gráficas

Gráfica 1. Distribución de las variables en la aplicación del Hidrógeno	67
---	----



Introducción

La prospectiva estratégica hoy más que nunca se convierte en una herramienta vital para las organizaciones, empresas y países, ante un mundo con cambios vertiginosos se debe optar bajo nuevos pensamientos que implique una toma de decisiones más efectiva, la Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales (UCES), es una institución de gran prestigio que reúne los elementos teóricos, metodológicos y de experiencia, que acercan al alumnado insumos para estar preparado ante estos cambios bajo elementos de estrategia dejando de lado la reactividad que caracteriza a Latinoamérica, esta especialidad en Prospectiva Estratégica es una ventana de oportunidades para los decisores independientemente del giro o área de intervención.

Bajo este nuevo enfoque, es que se elabora el Estudio denominado “Exploración del futuro del hidrógeno, su adopción en la suficiencia energética de México al año 2030, estableciendo escenarios posibles y probables” como parte del proceso de culminación de dichos estudios.

La relevancia del abordaje en el sector energético y específicamente el hidrógeno, es el situar a México dentro de los cambios energéticos que se están presentando a nivel mundial con este recurso y del cual, los interesados puedan tomar decisiones para su adopción y aprovechamiento que le brinde al país un panorama competitivo respecto a los sectores y cadenas productivas.

Es así, que se desarrolla este trabajo prospectivo, considerando elementos teóricos – metodológicos comprendidos en dos capítulos; el primero de ellos incluye la descripción del problema que abarca aspectos sociales, económicos, políticos y tecnológicos, el marco conceptual que subyacen todos los elementos técnicos, y los objetivos que se persiguen, comprendiendo la hipótesis de saber si el hidrógeno será competitivo y se adoptará al año 2030. Para el segundo capítulo se realiza el proceso prospectivo, empleando para la elaboración de escenarios, el Modelo de Configuración de Escenarios en Movimiento por sus siglas CEM de la consultoría



Inteligencia que preside el Dr. Manuel Cervera Medel. Para iniciar con este estudio, se realizó una vigilancia tecnológica y tendencias competitivas, acerca de los medios de obtención y aprovechamiento del hidrógeno, posteriormente se plasmaron los estados del arte indicando el grado de implementación con que cuentan los países por el tipo de energético, usos y aprovechamiento. Todo ello permitió identificar los modelos internacionales basados en el hidrógeno, los cuales - por sus aspectos tecnológicos, económicos y ecológicos- se dividen en la producción indistintamente de su fuente, es decir; de donde es extraído, para posteriormente hacerlo libre de carbono o por otro lado, el énfasis en el hidrógeno verde. Esto permitió tener elementos para identificar las variables a través de la herramienta STEEP, refiriéndose a los aspectos económicos, políticos, tecnológicos, ambientales y sociales.

El método culminó con la elaboración de los escenarios y su modelación, planteando el escenario idealizado, los escenarios posibles y probables.

Finalmente, se describen las conclusiones y consideraciones finales, dividiendo estas en la primera parte, que es el cumplimiento de los objetivos, para determinar el futuro del hidrógeno y su adopción en la suficiencia energética de México y sus escenarios, mientras que en la segunda parte, el abordaje prospectivo y sus herramientas.



Capítulo I. Aspectos teóricos – metodológicos

1.1 Justificación

El avance de la ciencia y la tecnología ha crecido rápidamente, sin embargo, esta no siempre va a la par del desarrollo económico y social en las regiones y el mundo, es por ello que se busca constantemente en conjunto con la academia la forma de resolver los problemas que se presentan en el mundo contemporáneo, entre estos; el cambio climático y el consumo desmedido de recursos naturales siendo de emergencia mundial, por lo que se destinan recursos y desarrollo en la creación de posibles soluciones y métodos de introducción a la sociedad.

Dadas estas condiciones y ante la oportunidad que representa la búsqueda de opciones energéticas sostenibles, tenemos que el desarrollo a nivel global de los medios de obtención del hidrógeno y los procesos de almacenamiento, han logrado evolucionar actualmente a un nivel comercial, conllevando a la par, la integración de bloques regionales para su adopción y emplazamiento, incluyendo la promoción a más posibles países participantes.

En esta evolución de las sociedades contemporáneas, se encuentra promover el estado de bienestar y desarrollo de economías más equitativas, por lo que la adopción del hidrógeno podría suceder si da paso a otro sistema económico cuya utilización de la energía dentro de sus cadenas de valor se realice mediante una base diversificada en un mayor número de productores nacionales o regionales, lo que incide en su costo de producción y transporte, reflejándose en el costo de los bienes y servicios, así como los beneficios generados gestados sobre este.

Es por ello por lo que la trascendencia sobre el trabajo vertido conlleva un análisis profundo desde la complejidad y transdisciplinariedad, a fin de estudiar las variables de poder que impacten en el proceso de planeación y adopción de este energético y los profundos cambios que conlleva en los aspectos económicos, políticos, sociales, medio ambientales y tecnológicos que sostienen las cadenas de valor en



las que se fundamenta la economía, siendo de gran relevancia las capacidades anticipatorias de la prospectiva y sus visiones de futuro con posibilidades bajo un contexto crítico y un entorno incierto, con lo cual, los escenarios que se propondrán constituirán una narrativa de utilidad en la implementación de cambios y políticas en esquemas de planeamientos para los tomadores de decisiones que sean trazables en el largo plazo.

1.2 Descripción del problema

El planeta se encuentra rodeado en una espiral de cambios, algunos de estos de manera gradual, mientras que otros se han expuesto por razones sociales y tecnológicas. Actualmente, el estilo de vida acelerado del ser humano lo ha hecho dependiente de la energía eléctrica, ejemplo de ello tenemos el uso indiscriminado del vehículo, aires acondicionados, utilización de aparatos electrónicos, por mencionar algunos, en tanto que, en las actividades productivas, existe un sobreuso de fuentes fósiles.

Vemos entonces que a mayor crecimiento poblacional y hábitos será el consumo de energía, corriendo el riesgo de multiplicarse y deteriorar nuestro planeta al liberar grandes cantidades de bióxido de carbono. Hoy en día el consumo de energía a nivel mundial es de 158,839 TW/h disparándose en forma exponencial desde 1950 esperando que para el año 2030 - de continuar con los mismos modelos económicos y tecnológicos-, aumente un 20%., esta crecida viene acompañada de mayor demanda por satisfacerla, trayendo consecuencias en el medio ambiente como cambios en el clima y modificación en las condiciones de vida en el planeta, siendo esta un motor principal en la búsqueda de nuevas fuentes alternas de energía cuyas emisiones sean 0 o cercanas a él.

Es por ello por lo que se estudia el Hidrógeno como un cambio de paradigma energético a nivel tecnológico, social y económico, para su empleo en el uso y almacenamiento, lo cual es comparable con la utilización de hidrocarburos para mantener el funcionamiento de los procesos industriales y sociales que soportan la



economía actual, resolviendo con ello problemas ambientales en los gases de efecto invernadero.

El hidrógeno deriva de dos procesos principales, la **electrolisis** a través del empleo de agua y el más usado en la actualidad es el llamado **cracking** del metano o gas natural, este último proviene de hidrocarburos; ambos cuentan con el problema de usar energía eléctrica provenientes de centrales que utilizan hidrocarburos para su proceso de realización, mientras que adicionalmente en el cracking se debe de adicionar el contratiempo de la generación de gases de efecto invernadero, producto de la descomposición de los hidrocarburos empleados.

Estos han sido hasta hace poco las contrariedades que limitaban la producción del hidrógeno por tener un precio de venta superior a los hidrocarburos convencionales, es decir, no ser competitivos en un esquema de oferta y demanda; adicionado a eso, se tiene que los sistemas actuales y en general el sistema económico, político, social y financiero, está cimentado en el empleo del petróleo e hidrocarburos, considerándose dentro de la geopolítica en el contexto actual.

Ante esto, existe la apuesta por el hidrógeno en países líderes de tecnología, que aparte de su comercialización, están creando economías basadas en él, que incluye su uso y almacenamiento en procesos industriales, misma que migrarían a energías limpias basadas en fuentes renovables.

Es por ello por lo que nos planteamos la siguiente interrogante, a fin de dar respuesta,

¿Cuáles son los escenarios posibles y probables en la suficiencia energética de México y su competitividad al año 2030 respecto a la adopción del hidrógeno?

1.3 Marco conceptual

El tema objeto de estudio es la exploración del futuro del hidrógeno, su adopción en la suficiencia energética de México y su competitividad al año 2030, estableciendo escenarios posibles y probables, por ello es necesario establecer un concepto claro



de energía que permita entender el estado actual y la visión a futuro que conlleva el hidrógeno como motor de este estudio.

Iniciaremos diciendo que la Energía es por definición una transformación o cambio que permite realizar una acción o movimiento en el cual se emplea un elemento como combustible y cuya reacción se aprovecha mediante su canalización en alguna de sus formas como calor u otro medio que sirva de impulso en máquinas e implementos, he de aquí el concepto que conduce a la consideración de diversos energéticos como los hidrocarburos, solar, eólico, hidrógeno almacenado, entre otros, etc., siendo este último el seleccionado por su trascendencia en diversos campos y enfoques para este estudio.

El elemento hidrógeno, identificado en la tabla periódica como H₂, su nombre proviene de hydro que indica agua y genos o generador, este elemento es escaso en la tierra de forma pura por la acción de la gravedad que incide en su estabilidad, por lo que tiende a unirse con otros elementos; dada su configuración atómica es capaz de generar grandes cantidades de energía al momento de unirse o separarse de otros elementos, por lo que la adopción de hidrogeno como medio de almacenamiento de energía a nivel global para obtenerlo mediante el uso actual del cracking o la electrolisis, será fundamental como un modelo de transformación económica y social en países que lo empleen.

Este preámbulo nos lleva a un elemento de suma importancia; el cambio estructural de los países que lo adoptarán y que su sistema industrial funcione en torno al hidrógeno como medio de almacenamiento y transporte de energía renovable, ofreciendo al mismo tiempo una solución a la intermitencia contando con la cantidad necesaria, ante esto Jeremy Rifkin (2002) expone a la economía del hidrógeno dependiendo de su origen, ya sea mediante el uso del gas natural (cracking) o el agua (electrolisis), y de estas fuentes determinar cuál es la que ofrecerá el precio más competitivo respecto a los hidrocarburos.

El empleo del Hidrógeno y de cualquier fuente de energía va a depender en sí misma de la disponibilidad en tiempo y volumen, procedente de una cadena de



suministro o un proceso de producción, esto conduce a plantear un sistema que permita la suficiencia energética generando la cantidad de hidrógeno necesaria y a su vez, que la tecnología tenga el potencial de proveerla mediante un marco legal que como finalidad logre este objetivo en un entorno que cuente con los recursos económicos y humanos.

Para cerrar, se puede decir que la aplicación de la Prospectiva Estratégica a partir de la construcción de escenarios múltiples, permite a países como México brindar y esclarecer las incertidumbres críticas ante diversos factores entorno al Hidrógeno y los Hidrocarburos, como la suficiencia energética, economía del hidrógeno y la sustentabilidad, por mencionar algunos; un panorama que permita explorar los riesgos u oportunidades en la adopción de otros países y que se traduzcan en modelos de intervención adaptados a las características del país.

1.4 Objetivos

Objetivos generales

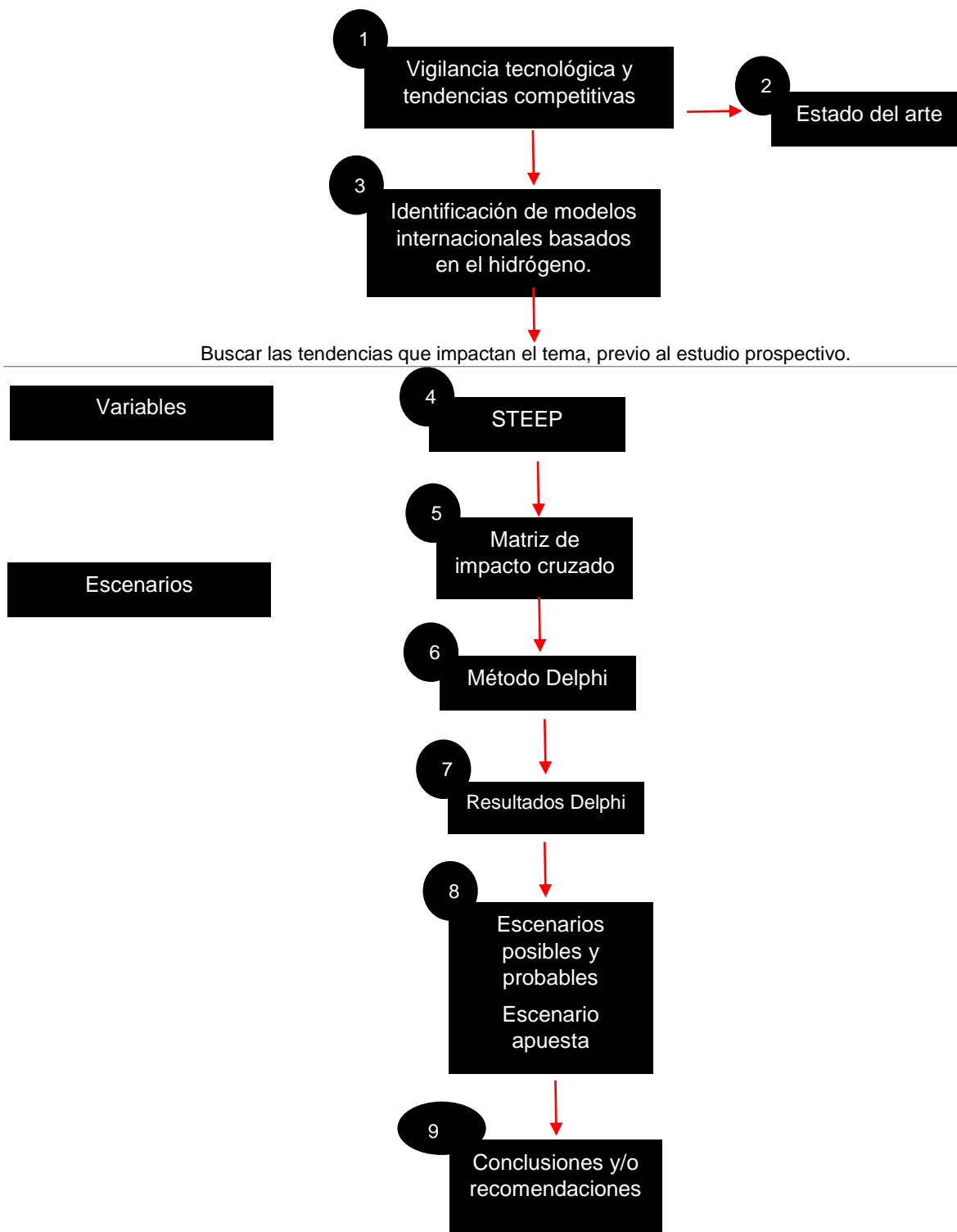
Elaborar un estudio exploratorio del hidrógeno, su desarrollo tecnológico y uso, que establezca escenarios posibles y probables en la suficiencia energética de México y su competitividad al año 2030.

Objetivos específicos

1. Documentar modelos internacionales para su adopción en México.
2. Desarrollar un ejercicio de vigilancia tecnológica y del entorno para identificar el estado de adopción de procesos de obtención del hidrógeno y el marco normativo que lo regule.
3. Analizar la transdisciplinariedad desde la complejidad que comprenda las variables de poder para desarrollar escenarios futuros.
4. Anticipar el escenario más probable para el desarrollo de acciones que permitan a los tomadores de decisiones aprovechar el potencial del hidrógeno en México.

1.5 Metodología

Análisis del entorno.





A fin de llevar a cabo el estudio prospectivo señalado, se desarrolló el proceso metodológico que da respuesta a los objetivos establecidos, desglosado cada fase y su propósito de la siguiente manera:

1. **Vigilancia tecnológica y tendencias competitivas:** Conocer e identificar los aspectos trascendentales en desarrollo tecnológico para la producción y aprovechamiento del hidrogeno, así como la forma en que configuran mercados y cadenas de valor, delimitando los aspectos relevantes del hidrógeno bajo diversos contextos (social, económico, político, etc.) y su evolución, a fin de conocer las incertidumbres críticas, lo que puede potenciarlo u obstaculizar su adopción y en que horizontes de tiempo.
2. **Estado del Arte:** Investigación profunda de la energía e hidrógeno como medio para identificar y analizar los avances científicos – tecnológicos, sociales, económicos, normativos, etc., existentes a nivel mundial y que incidan en su aplicación dentro de diversos campos.
3. **Identificación de modelos internacionales basados en el hidrógeno:** Analizar los mecanismos y procesos por los cuales, los países integrarán el hidrógeno a su oferta energética, económica y política, a fin de determinar cuál será su papel y ventaja competitiva (producción para exportar o fortalecer el mercado interno).
4. **Técnica STEEP:** Para identificar factores y/o variables del entorno de manera ordenados y sistematizada conforme a varios aspectos que fortalezcan al análisis del sistema de estudio.
5. **Sistema de matrices de impacto cruzado a través del modelo CEM:** Identificar la influencia de las variables, a fin de establecer las hipótesis entorno al rol y posición que tienen.



6. **Método Delphi (escenarios y tendencias):** Explorar, sintetizar e integrar las opiniones conforme al conocimiento de los expertos sobre el futuro del hidrógeno y las incertidumbres críticas que convergen en él.
7. **Resultados del Método Delphi:** Informe con los escenarios probables y posibles, así como las tendencias, magnitud e impacto.
8. **Construcción de escenarios posibles y probables:** Generar narrativas prácticas y útiles acerca de los cambios del entorno global de la energía y la adopción del hidrógeno dentro del balance energético, a fin de identificar los procesos de cambio y las realidades que se puedan presentar en el país.
9. **Conclusiones y recomendaciones:** argumentación coherente y articulada en torno al estudio realizado respecto a los objetivos alcanzados.



Capítulo II. Desarrollo del proceso prospectivo

En este capítulo se aborda la ejecución del proceso prospectivo, enfatizando en la investigación del entorno, modelos internacionales y estados del arte, a fin de tener una aproximación y entendimiento de la situación actual, que posteriormente -a través del desarrollo del proceso- se confecciona su situación futura vista por escenarios probables y posibles.

2.1 Proceso prospectivo

A continuación, se describen los resultados de la aplicación del proceso prospectivo y sus etapas específicas, para lo cual fue retomado el Modelo CEM¹, mismas que se implementaron para la elaboración de la matriz de impacto cruzado de variables y la configuración de escenarios.




2.1.1 Vigilancia tecnológica y tendencias competitivas.

El hidrogeno se constituye como un elemento abundante en el planeta, pero dependiente de la necesidad de ser sintetizado para su uso y aprovechamiento. El proceso de obtención del hidrógeno es la separación de elementos que pueden ser hidrocarburos o agua, pero dependiendo del origen se deja como subproducto agua, oxígeno o carbono. Esto implica que la producción puede ser descentralizada y de diferente magnitud en función de la cantidad de energía disponible para ser suministrada en el proceso y la materia prima para su separación, por lo cual, el conjuntar un gran volumen requiere de una mayor cantidad de instalaciones o de la planificación efectiva de un sistema de producción a nivel local, regional o nacional; esto con relación a una comparativa frente al petróleo o gas cuyo origen se centra en pozos o cuencas, la oportunidad e importancia se da en función de su tamaño y de ahí su explotación.

¹ Por sus siglas, Configuración de Escenarios en Movimiento, son de la consultoría Inteligenzza del Dr. Manuel Cervera Medel, aplicado para empresas y gobierno.

Existen actualmente tres denominaciones de hidrógeno según el impacto que generan al medio ambiente en su obtención, tal como se muestra en la figura 1. Tipos de hidrógeno, que indica los precursores, y los procesos asociados a estos que nos dan como resultado el vector energético, los subproductos y la ventaja competitiva actualmente.

Figura 1. Tipos de Hidrógeno, formas de obtención y ventajas

Tipos de hidrógeno					
	Energía	Elemento a separar	Por medio de:	Resultado	Ventajas / impacto
Empleando	Combustibles fósiles	Metano	Reformado de metano	 Gris	Gran volumen de producción, relativamente barato al originarse de hidrocarburos y es la base para los desarrollos actuales impacta con emisiones de CO ₂ en los insumos y su producción.
		Carbón	Gasificación		
Empleando	Combustibles fósiles	Metano	Reformado de metano y captura de carbono	 Azul	Grandes volúmenes de hidrogeno de bajo precio que permite desarrollar nuevas tecnologías, se tiene un 80 a 90% de reducción en gases GHG.
		Carbón	Gasificación de carbón con captura de carbono		
	Energía renovable o carbón neutral	Biometano	Pirólisis		Volúmenes altos de hidrogeno, no hay emisiones de GHG, pero tiene residuos de carbón en la obtención del hidrogeno.
	Energía nuclear Hidroeléctrica	Agua	Electrolisis		Volúmenes medianos de hidrogeno, no hay emisiones de GHG, pero tienen residuos en la obtención de energía para el proceso.
Empleando	Energía renovable	Agua	Electrolisis	 Verde	Volúmenes medianos de producción esperados, no se emiten gases GHG o residuos en todo el proceso de obtención.

Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de Energía 2022.

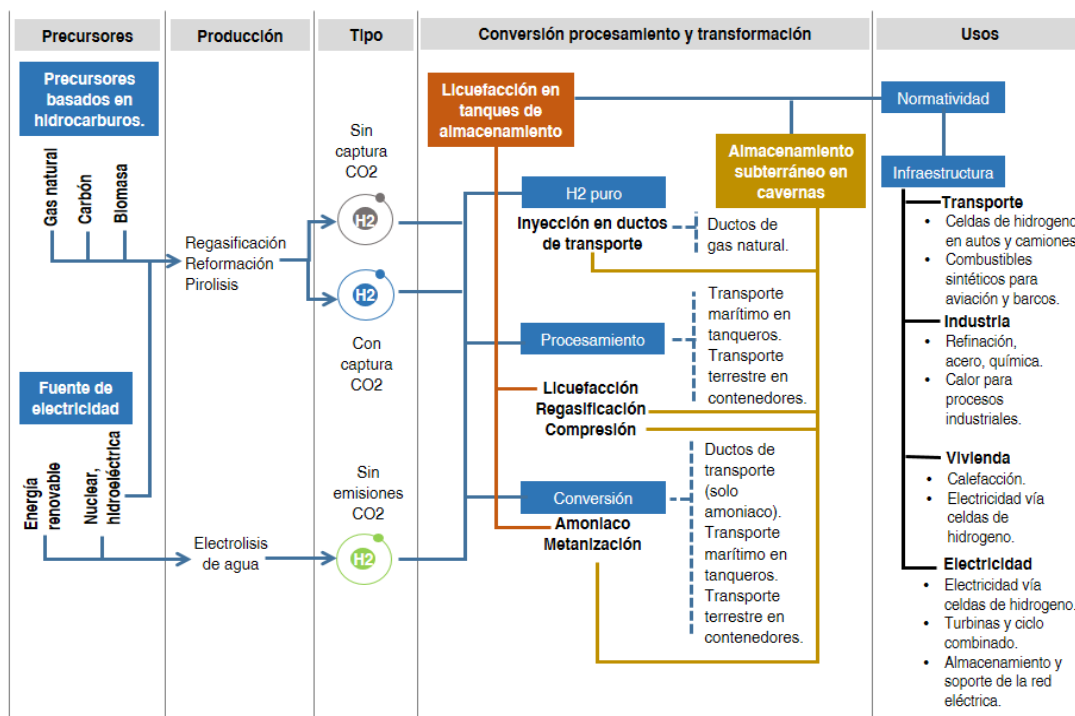
El hidrógeno tiene dos vertientes en torno a su uso como medio energético, el primero es que requiere de energía eléctrica para su generación, y en segundo lugar, sus usos son solamente el quemado o su transformación en electricidad mediante una celda de hidrógeno, ante esto, el petróleo resulta ser superior por los diferentes usos en materia económica y tecnológica que lo torna más atractivo y rentable para su explotación, de igual forma los medios para su transformación y empleo, son más simples y menos costosos junto con mercados y aplicaciones completamente desarrollados. El hidrógeno por su parte comprende usos especializados en campos industriales, aeroespaciales y energía solamente, por lo que, en cuestión de rentabilidad y cadena de valor, se recorta sustancialmente,

mientras que los equipos y sistemas para aprovechamiento son actualmente más costosos, derivado que el principio de operación depende de reacciones químicas, sistemas electrónicos diversos, líneas de alta presión y regulación, así como materiales especiales.

Cabe mencionar que, actualmente se desarrolla la posibilidad de “quemar hidrógeno”, es decir; emplearlo de una manera más convencional en sistemas parecidos al gas natural o gas licuado de petróleo y, aunque tomando en cuenta su naturaleza al requerir de volúmenes mayores, es una opción en términos de la implementación más rápida y menos costosa, aunque en aspectos tecnológicos, representa poco avance respecto a lo que se emplea actualmente.

Haciendo alusión al origen del hidrógeno, existen 4 fases en su cadena de valor para ser empleado conforme a su procesamiento y transformación, ya sea en la industria, transporte, vivienda o generación de electricidad, de acuerdo con lo que se muestra en la figura 2. Cadena de valor del Hidrógeno.

Figura 2. Cadenas de valor del hidrógeno



Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de Energía 2022.



Ante ello, en función de su introducción en los mercados de los combustibles y usos, se toma como referencia el valor o la paridad del gas natural, el petróleo y sus derivados, respecto al costo del hidrógeno para establecer su viabilidad y rentabilidad, por lo que la comparación es compleja, siendo la cadena de valor, el proceso de aprovechamiento y los mercados del petróleo y derivados, partes fundamentales de la integración de un precio que a la par competirá con el hidrógeno.

El precio del hidrógeno se establece en el costo de la materia prima y la energía empleada en el proceso designado para su obtención, posteriormente se agrega el costo de la compresión para el volumen comparable en términos de energía con otros combustibles, culminando con el transporte convencional o por ducto, aunque el costo puede ser mayor o menor, derivado de la cantidad necesaria equivalente en relación con otros combustibles.

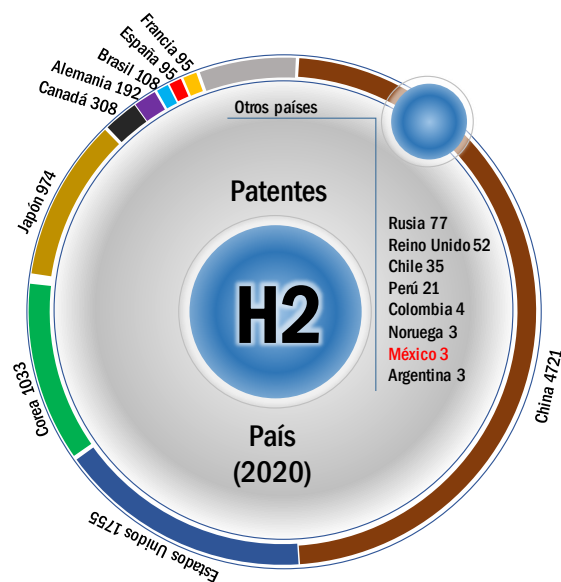
Es necesario tomar en cuenta que, el hidrógeno es un emergente en los mercados de combustible requiriendo de una inversión considerable en tecnología y elementos auxiliares para su uso; el precio resulta ser muy variado y fuera de competencia pues no se cuenta con la infraestructura que aporte los grandes volúmenes de producción constante para estabilizar una oferta sostenida del vector, más aún, los implementos que lo usan aún están en fases finales de pruebas o en desarrollo, por lo cual implica caer en subsidios u operar bajo pérdidas.

El panorama del hidrógeno se puede definir como el surgir de una tecnología que se encontraba relegada por su alto costo y complejidad, por mencionar un ejemplo, Alemania tiene una ventaja tecnológica en la investigación del hidrógeno dentro de las actividades de la cadena de su sector energético, mientras que los países de América Latina no muestran avances significativos en la obtención o desarrollo de tecnologías de aprovechamiento, pero sí en la producción y almacenamiento con el objetivo central de establecerse como una figura predominante en la exportación.

Para determinar la adopción del Hidrógeno, resulta vital analizar el comportamiento de los países respecto a las patentes, su número, así como las aplicaciones de

estas, tal como lo señala la figura 3. Patente por país, se aprecia que China cuenta con el mayor número de patentes registradas y en proceso, seguida de los Estados Unidos, Corea y Japón, en tanto que, en América Latina, Chile resulta ser el referente de patentes, y México es uno de los países con un déficit marcado, ahora bien, en la figura 4. Patentes por tipo de organización, se puede visualizar que el sector privado ostenta la mayor cantidad de patentes, siendo, por lo tanto, el actor preponderante en el impulso del desarrollo de soluciones para la cadena de valor del hidrógeno.

Figura 3. Patentes por país



Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de Energía renovables (IRENA) 2022.

Figura 4. Patentes por tipo de organización



Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de Energía renovables (IRENA) 2022.

Partiendo de la premisa en cuanto a que las empresas o sector privado son un actor clave para avanzar en la optimización y aprovechamiento del hidrógeno en procesos de descarbonización, el desarrollo de nueva tecnología se torna a un objetivo principal por parte de estas organizaciones, siendo un elemento clave la producción de electrolizadores para potenciar la obtención del hidrógeno, ante ello, podemos referir conforme a la figura 5. Principales empresas que presentaron patentes de catalizadores a 2022, misma que Japón actualmente tiene a través de varias empresas un papel preponderante, seguido de Alemania con consorcios reconocidos a nivel mundial desarrollando aplicaciones diversas, se tiene el caso de Francia que participa con un laboratorio gubernamental en el desarrollo de electrolizadores y posteriormente corea y Dinamarca se suman a este grupo con menor participación.

Figura 5. Principales empresas que presentaron patentes en electrolizadores al 2022

		2005 - 2010	2011 - 2015	2016 - 2020
	Japón	4	16	75
	Francia	12	30	49
	Alemania	3	36	41
	Japón	16	22	22
	Estados Unidos	2	4	48
	Corea	0	36	2
	Alemania	2	9	22
	Japón	6	20	3
	Dinamarca	0	4	19
	Japón	0	2	22

Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de Energía renovables (IRENA) 2022.

Ahora bien, el otro componente que resulta fundamental para el uso de este vector energético son las celdas de hidrógeno, estas son empleadas para el sector transporte e industria para generación de energía, por lo que conforme a datos de IRENA del año 2022, se muestra en la figura 6, las 20 principales empresas en términos de patentes relacionadas a este componente, por lo que Toyota se ostenta con el mayor número de registros y de igual manera el comportamiento que tiene es a la alza, seguido de Hyundai, Honda, General Motors y Volkswagen, este grupo que actualmente lidera el desarrollo de estos implementos solamente Honda y General Motors tienen un comportamiento estancado o a la baja en el número de solicitudes de patentes.

Es relevante destacar que del continente americano Ford y General Motors figuran, ya que la mayor cantidad de empresas se localizan en Europa y Asia, teniendo estrecha relación con sus planes futuros.

Figura 6. Principales empresas que presentaron patentes en celdas de hidrógeno al 2022

Empresa	2015	2016	2017	2018	2019	Acumulado 2000-2021	Tendencia	
Toyota	130	260	260	328	216	2,720	Alza	↑
Hyundai	109	161	161	93	113	1,402	Alza	↑
Honda	90	108	108	87	94	1,191	Estancamiento	→
GM	22	23	23	17	11	697	Descenso	↓
VW Group	64	64	64	122	109	671	Crecimiento	↗
Kia	26	54	54	90	107	576	Crecimiento	↗
Nissan	57	39	39	14	16	540	Baja	↘
IGE Wuhan	0	3	3	35	113	489	Inicios	↗
Bosch	25	26	26	56	108	479	Alza	↑
Denso	19	29	29	30	32	301	Sostenimiento	→
Panasonic	16	17	17	19	26	267	Sostenimiento	→
BMW	33	60	60	14	18	250	Alza	↑
Ford	24	24	24	17	11	217	Sostenimiento	→
Volvo	33	21	21	13	14	197	Crecimiento	↗
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering	48	39	39	25	15	189	Alza	↑
Daimler Truck	32	21	21	13	12	182	Crecimiento	↗
LG Chem	15	20	20	7	0	175	Alza	↑
Airbus Group	5	6	6	10	21	156	Sostenimiento	→
FAW Group	0	0	0	8	56	153	Crecimiento	↗
State Grid Corp	5	6	6	12	11	144	Alza	↑

Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de Energía renovables (IRENA) 2022.

Un aspecto importante por resaltar es que no solamente las empresas occidentales representan el total de patentes en celdas de hidrógeno, China con su sistema propio de generación de tecnología originaria y con la finalidad de la autosuficiencia y competitividad, cuenta de acuerdo con la figura 7. Panorama de china, celdas de hidrogeno a 2021, con las mayores generadoras de patentes respecto a esta tecnología, resaltándose que a la fecha mantiene una estrategia de crecimiento sostenido. China es actualmente el mayor usuario de vehículos eléctricos y de hidrógeno, y cuenta a su vez con el mayor mercado en este sentido, por lo que es común desconocer de una gran cantidad de productos y desarrollos de su mercado que gradualmente empiezan a ser exportados a otros países.



Figura 7. Panorama en China, celdas de hidrógeno al año 2021

Empresa	Patentes	
IGE Wuhan	477	↑
FAW Group	149	↑
Zhengzhou Yutong Bus	133	↑
Dongfeng Motor	125	↑
SAIC Group	94	↑
Beiqi Foton Motor	62	↑
Zhejiang Geely	47	↑
Great Wall Automobile	41	↑
Chery Automobile	30	↑

Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de Energía renovables (IRENA) 2022.

El panorama para el desarrollo de la tecnología necesaria en la cadena de valor del hidrogeno aún resulta cambiante e incierta, conforme se va avanzando surge la necesidad de cambios incrementales o radicales que conlleven a mejoras en la eficiencia, confiabilidad y cantidad de hidrogeno obtenido, es por lo tanto, necesario observar además de los lideres o empresas que ostentan los desarrollos que resultan principales en este momento, también desde un punto de vista de estrategia y oportunidad a las empresas emergentes que pueden en términos de innovación, costo y competitividad, consolidarse como los referentes en el mediano y largo plazo potenciando un mercado y la dominación tecnológica de un país sobre los demás, tal como se muestra en la figura 8. Empresas emergentes en tecnología de hidrógeno 2022.

Figura 8. Empresas emergentes en tecnología del hidrógeno al año 2022

Empresas emergentes en tecnología de hidrógeno a 2022. Materiales			Empresas emergentes en tecnología de hidrógeno a 2022. Polímeros separadores		
Empresas	Patentes	País	Empresas	Patentes	País
South China Univ. Tech	36	(China)	Global Graphene Group	24	(Estados Unidos)
Qingdao Uni. Sci.&Tech.	34	(China)	Sang-a Frontech	23	(Corea)
Beijing Uni. Chem. Tech.	28	(China)	Zhuhai CosMX Battery	22	(China)
Zhejiang University	27	(China)	Ulsan Nat. Ins. Sci. & Tech.	21	(Corea)
Soochow University	20	(China)	Ionic Mat	13	(Estados Unidos)
Central South University	20	(China)	Michelin	12	(Francia)
Fuzhou University	15	(China)	Global Frontier Multiscale	12	(Corea)
Fudan University	15	(China)	Ballard Mat Products	12	(Canada)
Univ. Sci. & Tech. Beijing	15	(China)	Daegu Gyeongbuk Sci&Tec	12	(Corea)
Sun Yat Sen University	14	(China)	EKPO Fuel Cell Tech.	10	(Alemania)

Empresas emergentes en tecnología de hidrógeno a 2022. Pilas y ensamblajes			Empresas emergentes en tecnología de hidrógeno a 2022. Hidrolizador		
Empresas	Patentes	País	Empresas	Patentes	País
De Nora	12	(Italia)	Sungrow	10	(China)
DLR	12	(Alemania)	Kwatercraft	9	(Corea)
3M	11	(Estados Unidos)	Qingdao Uni. Sci.&Tech.	9	(China)
Morimura SOFC Tech.	11	(Japon)	China Huaneng Group	7	(China)
Nihon Trim	8	(Japon)	Dalian Univ. of Techn.	7	(China)
Sumitomo Group	7	(Japon)	Tongji University	6	(China)
Fuzhou Pinxing Tech. Dev.	6	(China)	Zhejiang University	6	(China)
Hymeth	6	(Dinamarca)	Xi'an Jiaotong Univ.	5	(China)
Toyota	5	(Japon)	Soochow University	4	(China)
Fraunhofer	5	(Alemania)	Electricite de France	4	(Francia)

Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Internacional de Energía renovables (IRENA) 2022.

En conclusión, el problema de la transición al hidrógeno proviene de la dificultad de desarticular la producción de productos y servicios derivados de petróleo, siendo los combustibles un subproducto del sistema petroquímico, y a su vez el gas natural una sustancia sustituta equiparable que limita el potencial económico y tecnológico de la adopción del hidrógeno a gran escala o velocidad en los sistemas tecnológicos y económicos de los países; es decir, el proceso de aprovechamiento y procesamiento del crudo y el gas natural, conllevan subproductos vitales en un sinnúmero de materias primas, productos y servicios que, dado los procesos tecnológicos actuales y su valor económico, deben ser sustituidos por otros medios que permitan obtenerlos y hagan menos atractivo el continuar su empleo, el hidrógeno en sí, su uso es específico es como vector energético para necesidades de la industria y movilidad, ya que sus competidores directos son los combustibles, representan solo una porción limitada del petróleo empleado en el mundo, su falta de subproductos que añadan valor u oportunidad de negocio, lo ponen en



desventaja en comparación al petróleo; en este sentido podría compararse estrictamente con el gas natural cuya cadena de valor es el uso es similar.

Esto implica a largo plazo que, dada la necesidad de petróleo en diversos productos y servicios, se continuará la producción de combustibles derivados, y así mismo, el comportamiento en la generación de patentes por parte de países y empresas es un reflejo de la oportunidad que se tendrá en el futuro para su adopción. Dado que las tendencias son un marco idóneo para identificar comportamientos o acciones que definirán el futuro, en el caso del hidrógeno resulta de gran importancia por la convergencia de elementos sociales, políticos, tecnológicos, ambientales, etc., que pueden ser partícipes de transformaciones en mayor o menor velocidad, muestra de ello, es la figura 9. Tendencias competitivas, en las que a través de diversas fuentes se analizaron las señales de cambio, transformaciones y horizontes de tiempo respecto al objeto de estudio, mismos que muestran su comportamiento, ventajas y desventajas de México con respecto al papel que pueda adoptar.

Lo trascendental que muestra el gráfico, es la emergencia de aplicar estrategias que acorten los tiempos de adopción, ya que la mayoría de las tendencias en torno al hidrógeno presentan un tiempo de 3 a 5 años, seguidos de 1 a 3, implicando que la transición o adopción de nuevas fuentes y vectores energéticos será gradual, aún y con los problemas alarmantes del cambio climático, y sobre explotación de los recursos naturales, los cuales son un medio geopolítico de poder entre países, más que acciones concretas y aporte social que promuevan los cambios. De igual manera el rol de México es limitado como un actor o eje preponderante pues las tendencias son globales y los impactos locales serán lentos.

Por lo anterior, se enlistan las tendencias internacionales y nacionales a partir de información de fuentes diversas de los últimos tres años, los cuales fueron aplicadas bajo el Método Delphi a los expertos en temas de energía, con el fin de determinar la importancia respecto a la adopción del hidrógeno en México y su impacto, es decir; si impactarán decisivamente, aumentará, se mantendrá igual, decrece o simplemente desaparece.

Tendencias internacionales

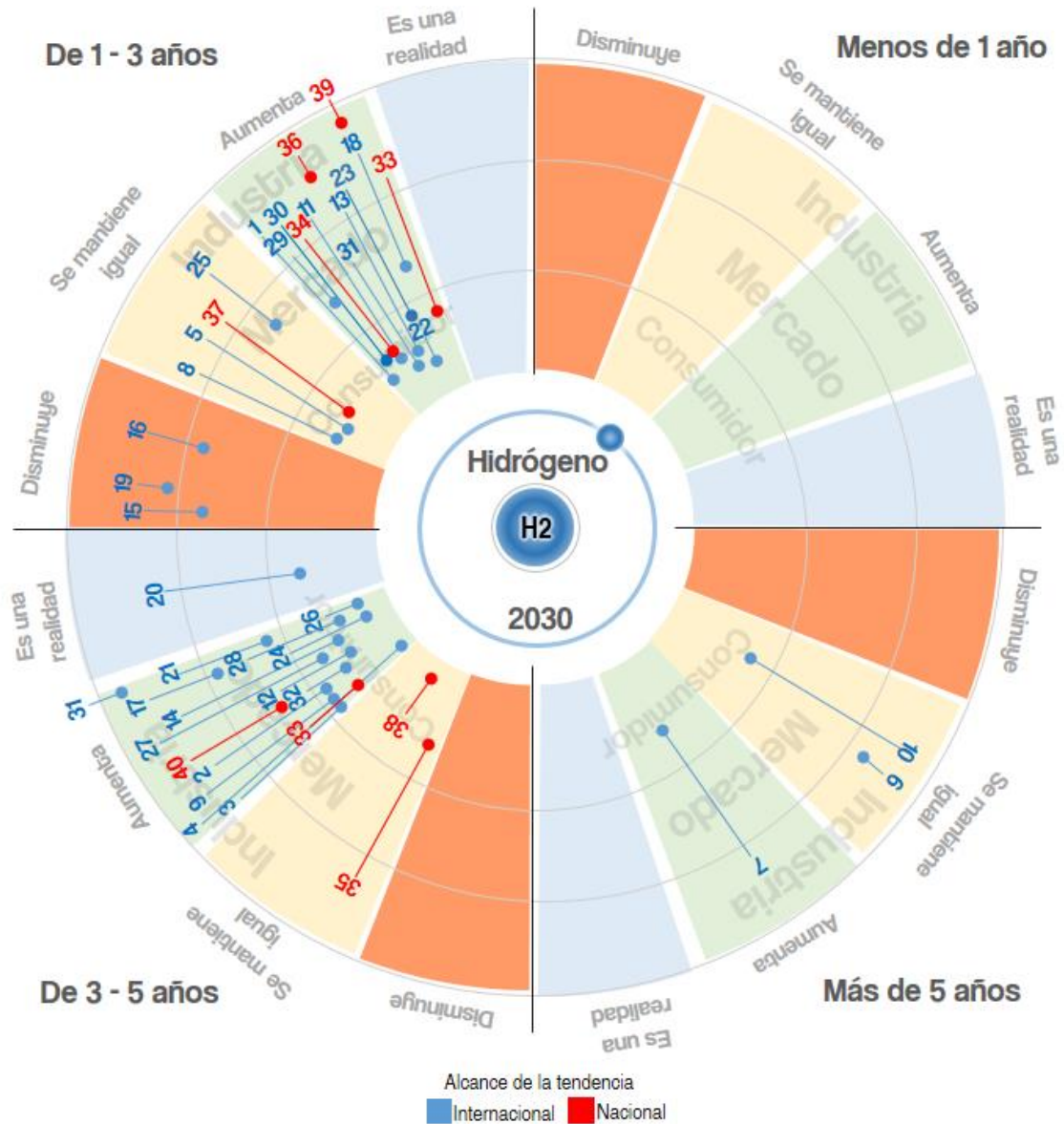
1	Creación de mercados internos y proveedores
2	Modelo de generación, almacenamiento, transporte, consumo y exportación de hidrógeno verde
3	Crecimiento de volumen de hidrógeno producido
4	Patentes para el uso y aprovechamiento del hidrógeno
5	Balance de fuentes de energía renovables y no renovables
6	Disponibilidad de infraestructura del gas natural
7	Adopción del hidrógeno en procesos y desarrollo tecnológico para su aprovechamiento
8	Economía internacional globalizada
9	Escasez y disponibilidad de agua para procesos de producción del hidrógeno
10	Aumento de emisiones de gases efecto invernadero del sector transporte
11	Sectores estratégicos unificados (automotriz, producción, transporte, etc.).
12	Estilo de vida, asentamientos humanos y demanda energética alternativa
13	Productos y servicios con alta demanda energética por país para procesos industriales.
14	Demanda energética para procesamiento industrial para la seguridad alimentaria
15	Cambio climático e impacto mundial
16	Compromiso de cero emisiones
17	Descarbonización del transporte marítimo, terrestre y la siderúrgica
18	Potencialización del hidrógeno verde y azul.
19	Incremento de precios del petróleo.
20	Transición a movilidad con vehículos de celdas de hidrógeno.

- 21 Regulación y transformación de la normativa para energías alternativas
- 22 Redistribución de asentamientos humanos con impacto en la demanda energética
- 23 Desarrollo a gran escala de las paraestatales PEMEX y CFE
- 24 Alta demanda energética con implantación de modelos tecnológicos.
- 25 Precio competitivo de producción del hidrógeno
- 26 Descentralización del sistema energético
- 27 Potencialización y transición hacia la Electromovilidad
- 28 Sobre población en ciudades
- 29 Agricultura sostenible y uso de energías alternativas
- 30 Conflictos geopolíticos
- 31 Conglomerado y concentración de poder y riqueza por corporaciones.
- 32 Reducción de la propiedad de automóviles

Tendencias nacionales

- 33 Localidades rurales urbanizadas.
- 34 Desarrollo a gran escala de las paraestatales PEMEX y CFE para la integración del Hidrógeno
- 35 Hub de producción de hidrógeno
- 36 Prácticas desleales en modelos energéticos
- 37 Banca para desarrollo de proyectos tecnológicos en Hidrógeno
- 38 Movilidad sostenible en ciudades
- 39 Normativa relativa a eficiencia y emisiones de combustibles derivados de hidrocarburos
- 40 Redistribución de la tenencia de la tierra para proyectos energéticos en México

Figura 9. Tendencias competitivas del hidrógeno



Elaboración propia a partir de datos hemerográficos y conferencias virtuales del 2019 – 2022.

2.1.2 Estado del arte del Hidrógeno

En el presente rubro se presentan las investigaciones, los documentos científicos, revistas, libros, videoconferencias y todo lo referente al tema objeto de estudio, partiendo de la revisión general conforme al contexto, su clasificación y



categorización, consistiendo así, en la revisión detallada de los avances en materia tecnológica, económica y políticas encaminadas a la adopción del hidrógeno y las ventajas competitivas tanto como para uso local como para exportación, de esta manera permite la generación de conocimiento, a través del análisis y objetivos que se persiguen en este documento. Para ello, y con la finalidad de tener mayor comprensión, se enlistan los principales países que están desarrollando la Energía del Hidrógeno, los avances y los datos de consulta son a partir de fuentes humanas y abiertas.

Para este trabajo, es necesario entender los estados del arte del hidrógeno como elemento dentro del mercado energético mediante dos aspectos fundamentales, el primero es la eficiencia teórica y práctica máxima de los sistemas de celdas de hidrógeno en conjunto con los procesos industriales que permiten su obtención, de tal forma le sea posible posicionarse dentro de parámetros económicos respecto a los demás energéticos, mientras en segundo término, será la conjunción de los impactos teóricos previstos por los encargados de decidir, planear y establecer políticas en términos de la cantidad de dióxido de carbono emitido al ambiente, el porcentaje que va a desplazar sobre el uso de hidrocarburos y el cambio de la tecnología y procesos que se usan actualmente en diversos sectores industriales para dar paso al uso del hidrógeno, a lo cual los precios estimados por su producción sostenida cuyo origen puede ser local, regional o incluso internacional de forma descentralizada o centralizada estabilicen la oferta, pasando a ser de uso estandarizado a nivel mundial.

En primer orden, tenemos la integración de la sociedad del hidrógeno en Japón que responde a la suficiencia energética y mejora de procesos.

Japón establece su estrategia del hidrógeno bajo el lema de 3E+S que significa seguridad energética, asequibilidad económica, ambiente y seguridad, con esto el 87% de los combustibles que usan provienen de fuentes fósiles, lo que es un reto de magnitud considerable en el objetivo de reducir el 80% de emisiones de gases efecto invernadero para el 2050. Conforme a su hoja de ruta y estrategias, instituye



la integración de sus sectores industriales, económicos y de consumo en el empleo de hidrógeno; considerando su situación geográfica, se espera que la mayoría del hidrógeno provenga de importaciones de terceros, identificando las tecnologías de electrolizadores, celdas de hidrógeno y los procesos de la cadena de almacenamiento y distribución como elementos estratégicos, los cuales se habían analizado desde el año 2014; para el sector de generación eléctrica, el país cuenta con 132 gw de capacidad en el proceso térmico, las estimaciones del gobierno es que solo de 15 a 30 gw podrían ser convertidas a hidrógeno, con esto y dado los objetivos planeados, se propone el empleo de hidrógeno azul y verde, implicando un costo competitivo al consumirlo.

El presupuesto previsto por la dependencia designada de Japón asciende a 748 MDD para la investigación y desarrollo, así como subsidios en el consumo de tecnologías de hidrógeno y movilidad limpia, presentando un incremento del monto comparado a lo registrado del 2019 de 560 MDD, constituyendo así la movilidad, producción de hidrógeno y la generación eléctrica como sus prioridades, dejando fuera la industria.

Competitividad y costos

El precio del hidrógeno debe ser competitivo respecto al gas natural licuado, con el objetivo al año 2030 de ubicarlo alrededor de 28 centavos de dólar por metro cubico normal, mientras que al 2050 se ubique alrededor de 19 centavos de dólar por metro cubico normal; la realidad es que las importaciones de GNL de Japón han fluctuado desde 2011 entre 4-7 a 15 USD por MMBTU lo que se traduce en términos de energía para el hidrogeno entre 8 a 19 centavos de dólar por metro cubico normal.

El costo de hidrogeno limpio proveniente de carbón gasificado - incluyendo la captura de carbono -, se ubica en muchos cientos de dólares por metro cubico normal, de acuerdo con los resultados del proyecto de demostración entre Japón y Australia en el estado de victoria, se espera que en este año 2022 reduzca el precio hasta 11 centavos de dólar por metro cubico normal de hidrógeno, incluida la captura del dióxido de carbono y separación que se encuentra en desarrollo con



una planta de gasificación construida en el año 2019 por el consorcio japonés para el uso del hidrógeno, que de paso a la cadena de suministro de hidrógeno líquido.

Para lograr estos objetivos, el gobierno de Japón estima que el volumen de hidrógeno para usos energéticos debe ser para el año 2030 aproximadamente 300,000 toneladas anuales, mientras que para el año 2020 se tiene 200 toneladas de hidrógeno al año.

En el plano de los electrolizadores, Japón está en busca de desarrollar el equipo con el menor costo de generación de hidrógeno en el mundo, con un monto que ronda los 467 dólares por kw, ya que actualmente se tiene un rango de 500 a 1000 dólares por kw, en china de acuerdo a estimaciones del reporte de Japón, se ha llegado a un costo de 200 dólares por kw, con esto la eficiencia misma de generación de hidrógeno debe pasar de 5 kwh/nm³ a 4.3 kwh/nm³ para el 2030 requiriendo de mejoras sustanciales en la durabilidad y resistencia a fluctuaciones durante su operación. Como ejemplo de ello, es que la central de generación de hidrógeno con electrolizador alcalina y alimentada por medio de energía solar más grande del mundo se encuentra en Namie, Fukushima con una capacidad de 10 MW y paneles que la alimentan con 20 MW, todo esto desarrollado en Japón siendo capaz de proveer hasta 1200 Nm³ de hidrógeno por hora o hasta 900 toneladas al año en celdas de membrana de intercambio de protones (PEM), también cuentan con la de mayor capacidad en el mundo desarrollada por Hitachi Zosen, con una capacidad de 200 Nm³ por hora usando paneles solares o aerogeneradores de 1 MW de capacidad.

Se puede decir que Japón reconoce la limitante en la producción de hidrógeno interno, por lo que la importación de este se previó más competitivo, las pujas promedio de energía solar son de 12.1 centavos de dólar, generalmente el doble de precio que se encuentra en Europa, mientras que el precio por kwh de energía eólica se ubica en 17.8 centavos de dólar, tres veces más alto del precio que se puede encontrar en Europa, a la fecha el gobierno japonés determinó que el amoniaco es el medio de transporte menos costoso para 2030.



En el caso de la licuefacción de hidrógeno, se realizan pruebas con la construcción en 2019 de un buque de transporte por la empresa Kawasaki mediante el traslado desde Australia, dado que se pretende emplear el hidrógeno obtenido mediante la licuefacción de carbón, lo cual tiene una baja eficiencia al emplear 13.6 kw/h/kg y se espera pasar a 6 kw/h con un alto impacto ambiental en el proceso.

Aplicaciones industriales, doméstico y movilidad

Existe actualmente una celda desarrollada por Panasonic para uso residencial en Japón, la cual provee de energía eléctrica y calor mediante la reformación de gas natural o metano, aunque no realiza la captura de carbono en el proceso, su huella resulta sustancialmente menor que el sistema convencional, de grandes aumentos en eficiencia y transmisión de energía, así como una durabilidad razonable, ya que los actuales se prevé tengan una vida útil de alrededor de 20 años, su introducción data de 2009 y se han instalado 300,000 unidades al corte de noviembre de 2019; de acuerdo a su hoja de ruta, planteó el objetivo de llegar a 1.4 millones al 2020 y 5.3 millones para el 2030 o un 25% de las casas en Japón, no se cuenta con incidentes registrados con precios de 7,500 usd para una de tipo polímero – electrolítico y 9,300 si es de óxido sólido; se espera que el costo baje entre 7 a 8 años, los subsidios se retiraron de forma gradual durante los años 2019 y 2020.

Los sistemas industriales y comerciales presentan estimaciones del gobierno, en promedio del sistema de entre 2,790 y 4,650 dólares por kw instalado y un costo de generación entre 15 y 23 centavos por kw/h para 2025 esperando que durante este periodo se logren mejoras en la eficiencia y ciclo de vida de los sistemas, ya que durante marzo del 2020 Tokio gas y Miura Kogyo iniciaron las pruebas de una celda de óxido sólido de 5W con una eficiencia del 65%, desarrollado por un sistema híbrido que a la par de generar electricidad -mediante la celda-, opera una turbina con los gases calientes.

En aspectos de movilidad, Japón se identifican bajo el lema “10, 10 y 10” siendo 10 mil estaciones de carga de hidrógeno con 10 millones de celdas de hidrógeno en 10 años, con esto los punteros en desarrollo de aplicaciones de la celda de hidrógeno



para la movilidad son Toyota y honda, considerando que en 2019 se han vendido 3,573 Toyota mirai y 227 honda clarity, desde su introducción en 2014, se ha visto presión, dadas las cifras objetivo de 200,000 vehículos para 2025 y 800,000 para 2030; si se considera el precio del Toyota mirai inicia en 69,000 dólares, al incluirle subsidios y ayudas se reduce a 32,000 dólares y se trabaja en la dirección de reducir el precio en 10,000 dólares adicionales considerando la caída en los costos del combustible, celdas y tanques de una cuarta parte para 2025 y una quinta parte al 2030.

Recientemente Hyundai se unió a esta competencia a través del modelo nexu, logrando colocar aún más unidades que Toyota, también durante agosto del 2020 Toyota firmó un acuerdo de cooperación con las empresas chinas FAW, Dong Feng, BAC, GAC y SinoHytec, con el 65% de participación Toyota busca fortalecer su posición a nivel mundial y tener presencia en el mercado chino; para el caso del transporte público, en 2019 se contaba con 100 autobuses, con el objetivo de llegar a 1,200 autobuses en el 2030 acompañados de 1200 montacargas e introducción de camiones de celdas de hidrógeno en servicios municipales o de carga.

En el sector de movilidad, Japón contará este año 2020 con 116 estaciones de servicio o 130 locaciones, incluyendo sistemas de suministro móviles con un objetivo de 320 operando para 2025 y un total de 900 en 2030 con ayuda de un consorcio de empresas que dan asistencia en el financiamiento y desarrollo, esperan abandonar el subsidio en la carga de vehículos para ese mismo año 2030, al igual que reducir a la mitad el precio del hidrogeno de 9.35 dólares, para esto, se modificarán regulaciones que den paso al desarrollo acelerado de esta infraestructura, reduciendo el costo para su construcción de 3.87 millones de dólares a 1.87 y un costo de operación que pase de 318,000 dólares a 140,000 al año 2025.

Generación de electricidad

En la generación de energía eléctrica, Japón tiene la estrategia al año 2030 de usar centrales termoeléctricas adaptadas para el uso de hidrógeno como combustible, el



panorama en este sentido considera que de los 132 GW de generación a base de hidrocarburos con los que cuenta el país, 1 GW requiere de 400,000 toneladas de hidrógeno al año sin importar el origen, esto en comparación a 800,000 vehículos de celdas de hidrógeno que solo necesitarían de 100,000 toneladas anuales, si se pretendiera pasar una décima parte de la generación base del Japón requeriría de 50 millones de toneladas anuales, es decir; 500 veces más de lo necesario para la movilidad.

Para que la generación de energía a partir del hidrógeno logre un precio competitivo - de acuerdo a las estimaciones del gobierno japonés-, requeriría de 15 a 30 MW de capacidad; en términos de gas natural licuado se consumió 50 millones de toneladas en 2018 lo que representó el 35% de la demanda de energía durante ese año, actualmente se realizó una prueba en el 2018 con una unidad de 1 MW empleando 100% hidrógeno, misma que fue desarrollada por Kawasaki pero al aumentar el tamaño y potencia de los sistemas de generación, se vuelve más complejo, por lo que las pruebas actuales en sistemas de generación, emplean una mezcla de 70% gas natural con hidrógeno para lograr de forma gradual llegar al 100% para el año 2045 y mejorando los sistemas de combustión para disminuir la cantidad de NOx emitidos, también se han realizado pruebas que emplean mezclas de hidrógeno y diésel con una proporción de 40% a 60% durante tiempos limitados con una potencia de 300KW, llegando a un 80% de hidrógeno y 20% de diésel, culminando con las compañías japonesas JERA, IHI y Marubeni en asociación con woodside de Australia, realizan un estudio de factibilidad para el uso de amoniaco en centrales termoeléctricas como parte de la estrategia del gobierno de Japón para emplear amoniaco en la generación de energía eléctrica, esto en conjunto con una mezcla de carbón desde el 2020 y para las turbinas de gas para el 2030.

Estrategia e implantación en Europa

La unión europea maneja una hoja de ruta de la comisión europea a fin de realizar un cambio sistémico de los combustibles fósiles a electricidad e hidrogeno para el



logro de las metas respecto al cambio climático al año 2030 y 2050 de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA).

Se plantea el uso de hidrógeno verde y azul de forma indistinta con captura de carbón, con un costo de producción que este entre los 1.5 a 3 euros por kilogramo, mientras que la capacidad a desarrollar de energía renovable será de 20GW a 40GW principalmente en solar y eólico.

En los costos de transportación se estableció un precio menor a un euro por kilogramo para posicionar el costo de la energía del hidrogeno en el sector del transporte por debajo de la gasolina y el diésel con una política de exención de impuestos.

A nivel del uso doméstico, se plantea la instalación de 500,000 sistemas de celdas de hidrógeno, instalados en viviendas y edificios, mientras que en aplicaciones industriales se prevé sustitución en actividades como petroquímica, metalurgia y cemento con especial atención en la producción de acero para abatir el 20% del carbono industrial emitido y el 8% de la comunidad europea plantea el costo competitivo de producción de acero con hidrógeno para localizarse en 2.5 euros por kilo.

En agosto de 2019 la revista Bloomberg estudió la economía de la producción del hidrógeno a 2050, esta podrían alcanzar un precio del hidrógeno verde de 0.8 dólares por kilogramo con precio de energía proveniente de renovables entre 14 a 17 dólares por MWh, compitiendo con un precio del gas en el mercado de 2 dólares por MMBtu; un precio de 94 dólares por tonelada de carbón capturado le permite competir con los 56 dólares por tonelada del gas, por lo cual el precio del hidrógeno verde requiere forzosamente de este adicional para ser competitivo, para esto se basan en asunciones de una generación de entre 80% a 90% para ofrecer un costo de 30 dólares o menos por MWh con almacenamiento e interconexión, previendo que la operación de las redes energéticas estarían con un ligero incremento del contexto actual pero con la ventaja de ser neutras en emisiones de carbón.



En el caso de Alemania, la estrategia nacional de energía del hidrogeno establecida en junio del año 2020, plantea la inversión de 9 billones de euros hacia el 2030, con lo cual, se convertirá el 20% del mercado energético, fortalecerá su seguridad energética, así como su competitividad en la exportación de tecnología con la investigación y desarrollo y promoverá la conversión de la industria establecida, así como los emergentes y en especial la movilidad.

Para el contexto de Corea localizada en el mercado asiático, cuenta con empresas como Hyundai que son pioneros en los vehículos de hidrógeno, pero carece de una política clara y sobretodo tardía en la adopción del hidrógeno para su industria ya que sus esfuerzos iniciaron en el año 2018 desarrollando su estrategia en el año 2019, centrándose en tornar a las ciudades con un objetivo de sustitución de energía del 40% a hidrógeno para uso industrial, comercial, doméstico y movilidad, para el 2040.

Situándonos en los Estados Unidos, el avance principal se centra en el Estado de California, presenta un estudio prospectivo desarrollando escenarios a nivel mundial, esto les permite contar con los indicadores técnicos y económicos de evaluación anual y guiar las acciones para la adopción del hidrógeno.

Desarrollo del hidrógeno y su rol en China.

Actualmente China tiene el costo de producción más barato del mundo en usos industriales como subproducto y petroquímico por la gran cantidad que es capaz de sintetizar, facilitando la creación de escenarios en ciudades de tamaño mediano, contando pues podría contar con grandes cantidades del elemento a precios muy baratos, aunado a esto, también ha llegado a tener una capacidad instalada de 100 billones de KWh en energías renovables, así que solamente con el empleo de su capacidad adicional en materia de renovables le da la capacidad de ofrecer costos notablemente bajos; en cuanto a las aplicaciones, China tiene actualmente los mercados de consumo más grandes del mundo para vehículos automotores de todo tipo, transporte marítimo, autobuses y más, por lo que fácilmente se pueden



desarrollar estaciones para una demanda de 200 vehículos, este tipo de consideraciones difícilmente se encuentran en cualquier mercado de occidente.

En lo concerniente a la industria, a comparación de occidente el panorama es opuesto, ya que las políticas y avances se centran en los avances tecnológicos para hacer crecer el mercado de la movilidad mientras que su sector industrial el más grande del mundo, su adopción es dispersa y diversificada, liderado principalmente por emprendimientos o empresas de tecnología de desarrollo bajo riesgo o de capital y las grandes empresas de giros metal, mecánica o generación de energía no están envueltas en el proceso de adopción y desarrollo, por lo que los altos costos son inminentes y no competitivos frente a los hidrocarburos, por ello los subsidios y sobre todo las políticas incluidas en sus planes multianuales deben ser parte de las acciones inherentes al establecimiento del hidrógeno en el plano industrial, a la par del desarrollo la producción y establecimiento de los sistemas de transporte y almacenamiento.

Por otra parte es una realidad que existen problemas inherentes más allá de la tecnología y las aplicaciones para la adopción de este energético en China, tales como la escasez de agua y la desigualdad que existe entre sus regiones, lo que establece en principio, la necesidad de generar procesos de importación de regiones ricas en recursos naturales hacia zonas ricas por el alto desarrollo tecnológico, lo que la obligaría a tornarse en un importador, otro aspecto importante es el reto de desarrollar un estimado de 2500 kilómetros de tuberías para el transporte del hidrógeno, en especial en el sureste donde se encuentran los recursos naturales necesarios, el precio objetivo para el transporte bajo criterios de rentabilidad es de 3 a 4 dólares por kilogramo, en comparación con un mercado en desarrollo como el de Australia , sus importaciones suponen un precio de 4 a 5 dólares por kilogramo, para lograrlo se tornó al amoniaco como forma principal para el transporte, considerando que la producción de hidrógeno en china a base de renovables aun es bajo, da como resultado precios elevados del hidrógeno que sumando la falta de sistemas de transporte, infraestructura de almacenamiento y el



lento proceso de desarrollo de tecnologías clave, encareciendo o haciendo poco competitivas las aplicaciones e imposibilitando economías de escala, además algo muy importante es que el 90% a 95% del hidrógeno producido por china lo consume en sus procesos industriales de la petroquímica y acero, por lo que el remanente para el mercado energético es muy pequeño, también los precios de las celdas de hidrógeno rondan los 230 dólares por kilowatt medianamente competitivo, y si se pasa de las 1,000 unidades anuales hasta un estimado de 100,000 podrían bajar a un precio de 50 dólares por kilowatt.

Para el caso de Canadá, la estrategia principal identificada se centra en la región de la Columbia británica a base de delinear las acciones a la obtención de un 80% del elemento vía electrolisis estimando un precio de 5 a 7 dólares por kilogramo de hidrógeno o por otro lado ofertar una tarifa promedio de 60 dólares por MWH de energía eléctrica, para ser competitivo, el costo de la energía eléctrica debe de bajar o ser menor a 40 dólares por MWH, con esta consideración se emplearía la reserva de generación por medio de aerogeneradores de entre 40% a 70%.

Para la distribución del elemento, los estudios económicos identifican la licuefacción de hidrógeno como el medio de transporte optimo, ya que les genera precios en estación de 2 y 3 dólares en distancias de 100 y 500 kilómetros para una cantidad de 1,000 kilogramos al día, en contraste con el hidrógeno comprimido que arroja precios de 6 y 10 dólares por 200 kilogramos al día respectivamente, actualmente el potencial de generación para la provincia es estimado en 18.5 toneladas por día o 6,800 toneladas anuales, de acuerdo a esto, restando el autoconsumo de la región se esperan 2.2 millones de toneladas en excedentes, mismas que pueden ser usadas para exportación.

El costo base del gas natural incluyendo transporte y almacenamiento de 5.70 dólares por giga joule de energía, este combustible constituye el 30% de los hidrocarburos que consumen y provee el 80% de la energía suministrada a la región, por lo que un plan que tienen delineado, es el de manejar una mezcla del 15% de hidrógeno por 85% de gas natural en su infraestructura actual, lo que permitiría bajar



de forma considerable las emisiones de gases de efecto invernadero al año 2030 y evitando a la par el desarrollo de costosos proyectos de transporte (ductos y estaciones) de hidrógeno, pero requiriendo de adecuaciones en los volúmenes y velocidades de transporte mayores a través de los gasoductos actuales.

En cuestiones del sector de transporte, la apuesta que presenta es el gas natural comprimido más que las celdas de hidrogeno y los vehículos a partir de estas, seguidos de las soluciones eléctricas a baterías en el grueso de vehículos privados, solo una fracción de los vehículos comerciales y una mayor probabilidad en los dedicados al transporte pesado de largas distancias se prevé que emplearían hidrogeno, sobre todo tomando en consideración el rango total y el tiempo de carga, por lo que los escenarios que visualizan, se prolongan al 2050 con acciones desde el año 2020, ante esto se observa que la parte medular de la estrategia de Canadá recae en el desarrollo de combustibles sintéticos y en menor medida del hidrógeno y su implementación, proyectando para el 2050 dentro de su escenario moderado y más probable, su punto de vista se centra en contar con un volumen de 100 millones de litros al año de crudo sintético, mientras que en un escenario con extrema demanda estaría en un volumen de 380 millones de litros al año, ya que si se dispara la demanda bien podría llegarse hasta 1,710 millones de litros al año, evidenciando que en el caso de Canadá la oferta del hidrogeno carece de atractivo.

Para el caso de América Latina, sus avances y los documentos existentes, se presentan los resultados.

Tabla 1. Situación por países del estado del arte del hidrógeno

México	
Autor	Alianza Energética Energiepartnerschaft México – Deutschland Cooperación alemana https://www.energiaestrategica.com/tag/h2v/ https://www.energiaestrategica.com/la-proxima-semana-le-presentaran-una-hoja-de-ruta-del-hidrogeno-a-las-autoridades-de-mexico/
Título	Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación.
Tipo de trabajo	Documento con cooperación alemana, a través de la consultoría HINICIO (Expertos en Energía América Latina, especialmente Chile y Colombia), con fecha octubre 2021

Resultados	<p>Proyectos en gestación de entre 100 a 130 de hidrogeno a través de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno, congregando apoyos gubernamentales e iniciativa privada.</p> <p>Marco jurídico se desglosa de la Ley de Industria eléctrica, art. 3 reconociendo el uso del hidrógeno como energía limpia, así como también en programas sectoriales de energía, así como otorgamiento de permisos por otras instancias. Existen dos proyectos de hidrógeno, el primero de HDF Energía los cabos, con planta fotovoltaica a través sistema power to power, la producción será 115 gwh. En los cabos, el segundo de Dhamma Energy, planta de producción h2 a partir electrolisis de agua y energía fotovoltaica para movilidad eléctrica e industria su capacidad 12.6 k ton h2 en Guanajuato para construirse 2023. No hay avances del hidrógeno por falta de normativa o leyes para cumplir acuerdo de París. Comisión Federal de electricidad desarrolla un proyecto para consolidarse en el año 2023. Israel Hurtado, presidente de la Asociación Mexicana de Hidrógeno, estima que serán necesarios 80 GW de capacidad renovable y 51 GW de electrolisis para satisfacer la demanda en el futuro equivalente a una inversión total de 60 mil millones de dólares entre 2025 y 2050., son 45 empresas del sector las que se suman al h2 verde y llevaran una propuesta al legislativo.</p>
Chile	
Autor	<p>Alianza Energética Energiepartnerschaft México – Deutschland Cooperación Alemana</p> <p>https://energiaadebate.com/en-2023-arrancara-cfe-primera-produccion-de-hidrogeno-verde/</p>
Titulo	Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación
Tipo de trabajo	Documento con cooperación alemana, a través de la consultoría HINICIO (Expertos en Energía América Latina, especialmente Chile y Colombia), con fecha octubre 2021
Resultados	<p>2050 producción de h2 será menor de 1,6 USD/kg.</p> <p>Política energética de des carbonización desde 2015, su objetivo es exportar h2 a Estados Unidos, Asia y Europa. Proyectos de h2 verde industria minera: 1) explosivos mineros liderados Engie y Enaex y 2) Hydra por Engie y MINAE3 para desarrollo camiones mineros en celdas de combustible. Talleres regionales en 16 ciudades con 900 asistentes.</p> <p>Proyectos en desarrollo:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Planta h2 (electrolizador 800 mw, 62000 ton/año, 2025. -Proyecto combustible sintético Magallanes. - Camión minero de combustión dual. - Proyecto Hydra 2023 camión minero celda h2. - Walmart flotas montacarga a h2 en centros logísticos, 180 a 200 vehículos. - Piloto h2 verde con planta fotovoltaica producción 2kg/día.
Brasil	

Autor	<p>Sociedad alemana de cooperación internacional GÍZ</p> <p>https://h2lac.org/paises/brasil/#:~:text=El%2095%25%20de%20los%20miembros,todav%C3%ADa%20en%20una%20fase%20inicial.</p> <p>https://www.pv-magazine-latam.com/2022/05/23/shell-brasil-pondra-en-marcha-la-primera-planta-de-hidrogeno-verde-del-pais/</p>
Titulo	Plataforma para el desarrollo del hidrógeno verde en Latinoamérica y el caribe
Tipo de trabajo	Reporte de avances del hidrógeno verde.
Resultados	<p>La producción de hidrógeno verde se destina tanto al mercado nacional como a la exportación, están creando una demanda interna de H2 verde y sus derivados por parte de la industria local. Para el uso nacional, además de la aplicación del hidrógeno como medio de almacenamiento en el sector energético, se consideran prometedores sectores clave como la industria del acero y de los fertilizantes. También se atribuye gran importancia al sector del transporte, especialmente a los biocombustibles como el etanol, donde ya existen varios proyectos piloto sobre el hidrógeno. En el plan energético nacional 2050 de diciembre 2020 el h2 se describe como tecnología disruptiva.</p> <p>El Consejo Nacional de Política Energética (CNPE) decidió a mediados de marzo de 2021 dar prioridad al hidrógeno en una directriz sobre investigación, desarrollo e innovación en el sector energético. Empresas se han preocupado en invertir en Brasil, alrededor de 1300 se han instalado allí, el 95% de los miembros del hidrógeno tiene filiales en Brasil, las empresas hasta agosto de 2021 firman cartas de entendimiento, su valor era de unos US\$ 22 Mdd. La mayoría de los proyectos están todavía en una fase inicial. La planta piloto de producción de hidrógeno verde que planea Shell en Brasil al año 2025 tendrá una capacidad inicial de 10 MW y podrá alcanzar los 100 MW.</p>
Costa rica	
Autor	<p>Ministerio de ambiente y energía de Costa Rica en cooperación con GIZ.</p> <p>https://minae.go.cr/noticias-minae/comunicados/241-costa-rica-es-finalista-para-acceder-a-fondos-para-desarrollar-proyecto-de-hidrogeno-verde#:~:text=El%20pa%C3%ADs%20toma%20al%20Hid%C3%B3geno,un%20centro%20experimental%20de%20hid%C3%B3geno.</p> <p>https://es.euronews.com/2022/02/01/costa-rica-hidrogeno-verde-la-energia-limpia-que-puede-revolucionar-el-pais</p> <p>https://alianzaporelhidrogeno.cr/aplicaciones/</p> <p>https://crusa.cr/wp-content/uploads/2021/05/Hinicio_Alianza-H2_Entregable-3_V1.pdf</p>
Titulo	Compendio de artículos sobre los avances del hidrógeno verde.
Tipo de trabajo	Entrevista. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2021, COP26, en Glasgow, Escocia Reporte a través de la consultoría HINICIO

Resultados	<p>El país toma al Hidrógeno Verde como un medio para alcanzar su meta de des carbonización neta para 2050. Costa Rica dio sus primeros pasos en 2011, cuando la empresa Ad Astra Rocket y la estatal Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) crearon un centro experimental de hidrógeno. El hidrógeno verde permitiría aliviar la factura energética de Costa Rica, en especial, de hidrocarburos, que el país importa en su totalidad, con un coste de 2000 millones de dólares anuales. Usos en el transporte PARA 2025 tendrán una red de cobertura con luz verde y pruebas piloto.</p> <p>El Plan Nacional de descarbonización de Costa Rica (MINAE, 2018), menciona ya algunas acciones para trabajar en el desarrollo de las tecnologías de hidrógeno para la movilidad. La cuantificación de estaciones de recarga de hidrógeno, o HRS, requiere de dos piezas de información principales: Demanda de H2 por presión de recarga y Criterios tecnológicos sobre la capacidad de las HRS. Atendiendo la metodología de la Guía Sintética de Despliegue de Estaciones de Recarga de Hidrógeno y haciendo uso de los criterios tecnológicos, se obtienen 101 estaciones de hidrógeno a 350 bar y 40 estaciones a 700 bar en 2050. Fuente de financiación fue la industria de petróleo de Costa Rica, RECOPE, quien financió la planta, que básicamente fue la primera escuela práctica y técnica de generación de hidrógeno</p>
Bolivia	
Autor	<p>Sociedad alemana de cooperación internacional GÍZ</p> <p>https://h2lac.org/paises/bolivia/#:~:text=El%20pa%C3%ADs%20no%20cuenta%20con%20una%20hoja%20de%20ruta%20referente%20al%20Hidr%C3%B3geno.&text=El%20pa%C3%ADs%20no%20cuenta%20con%20ninguna%20iniciativa%20de%20regular%20el%20Hidr%C3%B3geno.</p>
Título	Documento general de Bolivia a cargo de Juan Pablo Claure.
Tipo de trabajo	Documento de fases primarias del hidrógeno
Resultados	<p>La propuesta va por un camino no evidente, pero viable y coherente: incrementar el consumo interno de gas temporalmente para luego sustituirlo con hidrógeno. Experto afirma Bolivia puede reducir su dependencia del gas al 2035 con hidrógeno y amoniaco verde. No se tienen precedentes de normativas, ni políticas para la transición al hidrógeno.</p>
Colombia	
Autor	Ministerio de minas y energía de Colombia
Título	Hoja de ruta para el hidrógeno en Colombia (minenergia.gov.co)
Tipo de trabajo	Hoja de ruta del hidrogeno verde en Colombia.
Resultados	La Hoja de Ruta del Hidrógeno tiene por objeto contribuir al desarrollo e implantación del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia reforzando así el compromiso del Gobierno con la reducción de emisiones estipulada

	<p>en los objetivos del Acuerdo de París del 2015. Objetivos: permite el reemplazo progresivo de los combustibles fósiles en aquellos sectores donde su sustitución por otros energéticos de bajas emisiones y fomenta el desarrollo de una nueva cadena de valor que incluye el desarrollo de conocimiento, el despliegue industrial de las tecnologías renovables y CCUS, así como la implantación del uso del hidrógeno en diversas actividades. Metas al 2030: Desarrollar entre 1 y 3 GW de electrólisis con el objetivo de minimizar los costos asociados al transporte, implicando la instalación de al menos 1,5 - 4 GW de FNCER en el país. Alcanzar esta capacidad instalada de electrólisis permitirá asimismo posicionar a Colombia como un país exportador de hidrógeno. • Alcanzar un hidrógeno verde competitivo, logrando costos de 1,7 USD/kg cuando se produzca en las zonas de recurso renovable óptimo • Producción de al menos 50 kt de hidrógeno azul mediante la captura de CO2 en plantas SMR existentes o nuevas plantas (SMR o gasificación) para su almacenamiento o utilización. Se están sentando las bases para un marco regulatorio.</p>
Paraguay	
Autor	<p>Ministerio de Obras públicas y comunicaciones. Viceministro de minas y energía. https://www.energiaestrategica.com/paraguay-lanzo-su-hoja-de-ruta-de-hidrogeno-verde-y-dio-detalles-de-los-proyectos-piloto/#:~:text=de%20noviembre%202021-.Paraguay%20lanz%C3%B3%20su%20hoja%20de%20ruta%20de%20hidr%C3%B3geno%20verde%20y,a%20partir%20de%20transporte%20sustentable.https://h2lac.org/wp-content/uploads/2021/11/Hoja-de-Ruta-PY.pdf</p>
Título	Hacia la hoja de ruta del hidrógeno verde.
Tipo de trabajo	Hoja de ruta del hidrogeno verde en Paraguay. Junio 2021.
Resultados	<p>Paraguay a través de su gobierno, comunicó su hoja de ruta de hidrógeno verde. Producirán entre 60 y 200 kg de H2V por día, también incorporarán almacenamiento y se fomentará la demanda del vector energético a partir de transporte sustentable.</p> <p>La inversión para instalación de la cadena de suministro de H2 en los tres proyectos será de USD 6.100.000 y la consolidación de su demanda costará USD 2.240.000. A ello se le deben sumar los valores de ejecución (USD 500.000), asistencia técnica (USD 1.000.000) y gestión de la demanda eléctrica (USD 1.600.000). En cuanto al precio, debido a que el país tiene un enorme potencial para la producción de hidrógeno verde a precios competitivos de alrededor de 2,2 USD/kgH2.</p>
Perú	
Autor	<p>Asociación peruana de hidrogeno https://h2.pe/uploads/Li%CC%81nea-de-tiempo.jpg</p>
Título	Hoja de ruta del hidrogeno verde en Perú.
Tipo de trabajo	Documento general Perú 2050

Resultados	Para 2025 se prevé la adopción de la ley de promoción del hidrógeno verde. Regulación de inyección de hidrógeno verde a redes de gas natural. 2030, pretenden ser exportadores, acuerdos marco con países en exportación y derivados. Pretende 40% de penetración en industria, migración a transporte sostenible con 50 vehículos transporte público, 2000- 2500 vehículos de carga ligera y pesada, 1 tren propulsado de h2, 50 montacargas eléctricos con pilas a combustible y 50 – 100 hidrogenadoras para repostaje eléctricos de pilas de combustibles. Se pretende contar con centros de investigación público y privado. 2040 con precio promedio 1.3 usd/kg h2v.
-------------------	--

Nota: Elaboración propia a partir de datos y diversas bibliografías 2018 – 2022.

La investigación, sistematización y narrativa de los avances del hidrógeno a nivel mundial, se fundamentan en que Japón, China, Estados Unidos, Alemania y Corea, presentan un avance significativo en su adopción de tecnología y mercado, para la industria, sectores estratégicos, doméstico y/o movilidad, presentándose para exportación o importación del hidrógeno verde y azul, bajo la modalidad de hojas de ruta como política energética, o la integración en sus planes con visión a largo plazo, en tanto que, en América Latina, aun cuando se tienen en varios países las hojas de ruta, existen vacío en materia normativa y poca evidencia de cambios estructurales que conlleven a una adopción real del hidrógeno como fuente de energía, se tiene poca claridad del gobierno y la iniciativa privada para la aceleración de este energético, complicando en desarrollo de mercados y tecnología que incidan en su adopción bajo modelos locales o producción para otros países.

2.1.3 Modelos internacionales basados en el Hidrógeno

En el presente capítulo se describen los modelos internacionales que convergen en torno a la adopción del hidrógeno en cualquiera de su tipo, para lo cual se desprenden por país cinco indicadores específicos, a referir: los actores claves conformado por el Gobierno, las empresas, Academia o laboratorios tecnológicos, etc., el segundo elemento es el papel que desempeñarán correspondiente a la producción para consumo nacional o de exportación, seguido



por el tiempo en su apropiación, el costo y el tipo de hidrógeno; abriendo un panorama específico de como los países están avanzando para una economía del hidrógeno y los países que apropian modelos de las naciones más desarrolladas.

El hidrógeno constituye un energético referido recientemente para que los países en transición de los combustibles fósiles hacia energía sostenible pretendan alcanzar los objetivos climáticos; hasta el año 2021 existían 13 países con estrategias claras comprobables dedicadas al hidrógeno, mientras que 40 países preparan sus estrategias en las fases de las discusiones políticas preliminares o invirtiendo e investigando en proyectos piloto para demostración, generando un panorama situacional para el crecimiento de la economía del hidrógeno detonando en inversiones encaminadas a la producción del energético, independientemente de su denominación “verde”, “azul”, “gris” o “negro”, tal como se muestra en la tabla Modelos internacionales, refiriendo a los países sobresalientes por las acciones y desarrollo de infraestructura conforme al modelo que pretenden implantar, esto brinda un panorama general en torno a México.

Aunque durante el año 2020 se acordó en el seno de la Comisión Europea por la mayoría de las organizaciones de energía a nivel mundial, que el “hidrógeno verde” es el único “cero carbón” y sostenible en el largo plazo; el impulso de los pactos para la descarbonización, acompañado de una presión cada vez más fuerte en la reducción de emisiones y el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, los gobiernos y personajes de relevancia que se encargan de planear y decidir, han establecido diversas formas de desarrollar e integrar la economía del hidrógeno; si bien es importante recordar que el contexto mismo del energético y las políticas alineadas a este se encuentran en la etapa inicial, es necesario contextualizar dos modelos estructurales base para su adopción y sobre todo el impacto en el cumplimiento de los objetivos en materia de cambio climático y emisiones contaminantes.



Modelos internacionales del hidrógeno

La parte fundamental de la conceptualización de la energía y sobre todo de opciones que se pueden vislumbrar a largo plazo es el proceso de integración, esto engloba los aspectos, técnicos, humanos, sociales y tecnológicos, pero con especial atención en el sentido económico y financiero hacia una implementación viable dentro de la oferta de energéticos empleados en los procesos productivos.

Es a partir de estas premisas que se emplean los siguientes modelos conforme a Lu, j. (2021) a fin de dar claridad a lo que están desarrollando y realizarán los países.

Modelo de adopción “Escalar primero, limpiar luego”

Este modelo se centra en potenciar el crecimiento de la economía del hidrógeno a través de la inversión por parte del sector privado y políticas públicas indistintamente del o los elementos empleados para producirlo, es decir; si proviene de hidrocarburos, carbón, gas natural, agua o biomasa y, la fuente de la energía ya sea renovable o a partir de petróleo y derivados; de esta forma se promueve facilitando la creación de infraestructura clave con las redes y procesos de distribución necesarios, con la intención, -posterior al desarrollo de lo descrito anteriormente- de pasarlos en conjunto a “limpios” en un tiempo probable o razonable por su impacto ambiental, para lo cual; integrarán o sustituirá a través del tiempo, sistemas, equipos o tecnologías primarias y secundarias de procesamiento y obtención, incluyendo cambios de la materia prima que se separa en hidrógeno con procesos de captura y almacenamiento de carbón pertinentes en cantidad, calidad y volumen con costos razonables.

A través de este esquema, les permite emplear los hidrocarburos y el carbón para la generación de hidrógeno a gran escala, a su vez cumplir con metas sobre emisiones y cambio climático; la captura y almacenamiento de carbón está en una etapa incipiente y los proyectos en operación refieren a sistemas desarrollados para pruebas, investigación o demostración de sus elementos.



Económicamente la captura y almacenamiento de carbono aun es inviable a gran escala y aunque se desarrollan diversas aplicaciones alrededor de este proceso como gasolinas sintéticas o uso agroindustrial, la implementación efectiva y factible aún se ve lejana por la necesidad de tecnologías que están en desarrollo, su viabilidad económica y los mercados que deban ser establecidos; los países que están adoptando este modelo tienen el objetivo de ser exportadores netos y planean o trabajan en el desarrollo de la capacidad con la esperanza de que la captura y almacenamiento de carbono se consolide en términos de costo, mercados y tecnología.

Los países que se inclinan a la aplicación de este modelo son los que históricamente han sido dependientes de los combustibles fósiles o hidrocarburos en su matriz energética, entre los que figuran Australia y Arabia Saudita, ya que cuentan con grandes reservas de gas natural y petróleo incluyendo sus políticas para implementación y crecimiento de energías renovables, permitiéndoles decidir hacia un esquema de “escalarlo primero”, “limpiarlo luego” usando sus recursos actuales producto del petróleo y sus derivados, como apalancamiento para financiar la construcción de la infraestructura necesaria que les posicionará a largo plazo como exportadores netos en un contexto que observará la cantidad de emisiones de carbono.

Otra característica de gran importancia de estos países es su independencia política y económica a nivel internacional, pudiendo determinar qué énfasis le darán a la sustentabilidad y su enfoque sobre los objetivos de las políticas de descarbonización, toda vez que su hidrogeno es obtenido por medio de hidrocarburos siendo “hidrógeno gris” y aunque en la opinión internacional constituye un revés a los objetivos en materia de cambio climático, los países de Japón, Corea, Australia, Canadá y Arabia Saudita son respectivamente el 45°, 53°, 54°, 58° y 60°, de 61 países, se ubican al fondo en el ranking del cumplimiento de los objetivos sostenibles y descarbonización, esto puede ser contraproducente en el sentido que más países se sumen a esta práctica, con lo que en el corto plazo se



produzca un aumento significativo de emisiones contaminantes a nivel mundial para obtener hidrogeno en procesos “limpios”, sin embargo, encierra una gran incertidumbre ya que si el hidrogeno verde (que no impacte al ambiente) es el objetivo final, se necesita una estrategia para desarrollar infraestructura y capacidades alrededor del hidrogeno, por medio del gris se puede implementar en un sentido rentable desde el punto de vista económico.

Modelo para implementar con un Énfasis en el hidrógeno verde.

Este modelo se da bajo un programa u hoja de ruta que combina fases legales, políticas gubernamentales y objetivos climáticos, conformando un contexto donde la inversión y desarrollo de proyectos de hidrógeno “verde” tendrían un mayor apoyo en contraste a los que se enfoquen en “gris” o “azul”, para hacerlo posible a nivel país se priorizan los proyectos y la infraestructura relacionada al hidrógeno “verde” integrándolos en políticas gubernamentales y objetivos relacionados a metas climáticas específicas.

Una parte fundamental de este modelo es el factor de inversión, innovación y tecnología, enfocados intensivamente en el desarrollo y crecimiento de los mercados de renovables en conjunto con el hidrógeno limpio, planeando matrices energéticas a mediano y largo plazo para lograr la descarbonización en el menor tiempo posible, por lo cual deben tener un firme compromiso y disciplina de los sectores privado y gubernamental, así como una sociedad enfocada en valores para llevar el proceso a la práctica.

Sin duda la descarbonización y la sustentabilidad es un punto central en los países que deciden adoptar este modelo cuyos programas y estrategias son ambiciosas por definición; en este grupo tenemos naciones desarrolladas de la eurozona, en especial Alemania, Francia, Suecia y el Reino Unido, todo esto considerando sus acciones y estrategias, el fuerte apego a las directivas de la unión europea y las políticas que están implementando a nivel nacional y estatal encaminándose a la viabilidad y desarrollando sectores como la industria y el transporte bajo el enfoque del hidrógeno “verde” y la sustentabilidad.



Otro factor es la gran capacidad de generación de energía renovable que han desarrollado, permitiendo integrar y capitalizar más rápido la implementación del hidrógeno “verde”, sin embargo este enfoque cuenta con varios inconvenientes, entre los que figuran aspectos sociales y económicos en torno a las zonas de construcción y la forma de generar la inversión para los proyectos, también al apostar e implementar tecnologías que no han alcanzado paridad entre costo de manufactura y de operación, por lo que requieren de una gran cantidad de incentivos, apoyos y apoyos y subvenciones en materia de impuestos o exenciones e incluso en algunos países les es posible emplear u optar por hacer uso de la inversión pública para detonar el desarrollo de la industria con la consecuencia que los costos reales del hidrógeno “verde”, su desarrollo y sus pérdidas iniciales recaen en los contribuyentes, creando en la mayoría de ellos impactos en sus ingresos, aversión y malestar entre los ciudadanos, esto puede verse en el caso de Alemania con las tarifas eléctricas más altas del mundo, derivado de impuestos especiales establecidos por la ley de energía renovable con un 20% de precio excedente respecto al promedio mundial, esto le permitió a Alemania a ser el referente en energía renovable pero que a su vez fue financiado en su mayor parte por los usuarios.

Este modelo abarca más elementos de un país ya que no se limita a lo económico o tecnológico, tiene el potencial de desarrollar tecnológica y socialmente a las naciones que lo implementen, alcanzar la descarbonización incluye entre otros elementos crear cadenas productivas y fuentes de empleo, pero la planeación e instauración debe ser bajo nociones económicas reales e inversión efectiva que deje de lado el transferir el costo a consumidores o cargas tributarias adicionales a los contribuyentes por la necesidad de exenciones o incentivos, siendo al final el origen de los subsidios que haga competitivo el costo de desarrollar el hidrógeno “verde”.

Los países referidos en la tabla, desempeñan un papel fundamental en el proceso de adopción del hidrógeno, ya que marcan referentes como precursores o



implementándolo como seguidores de este modelo, por ello es de vital importancia identificar y entender sus experiencias actuales, tales como el caso de Japón con Australia cuyas líneas estratégicas están centradas en la venta del hidrógeno azul y gris por parte de Australia para satisfacer las necesidades de Japón, o por otro lado, tenemos a Alemania, posicionándose a nivel mundial como un fuerte desarrollador tecnológico para el aprovechamiento del hidrógeno por el sector privado consolidándolo mediante el impulso de sus políticas públicas centradas en proyectos de electrolisis; para el caso de América Latina el panorama aún no es claro, si bien el discurso en muchos casos suele centrarse en países posicionados como exportadores del energético a mercados europeos o asiáticos, los componentes para su obtención pueden ser actualmente energías renovables o petróleo, proyectan precios competitivos en términos de los esperado a nivel mundial y algunos principalmente en Sudamérica cuentan con sus hojas de ruta al año 2050 (excluyendo México) pero aún sus acciones son incipientes en la mayoría de los casos, también están apoyándose en alianzas tecnológicas o a través de políticas con incentivos para su adopción. En conclusión, en México no existe una política clara para su aprovechamiento, toda vez que intervienen y comunican diversos actores y dependencias del sector público o asociaciones privadas cada uno con diferentes discursos e intereses que vienen soportados con el apoyo de países líderes en torno a la implementación, lo que causa ambigüedades y conflictos económicos y tecnológicos sobre la claridad en el Modelo a configurar y adoptar.

La experiencia internacional y el tipo de modelo utilizado por país, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2. Modelos internacionales. La experiencia por países significativos

China	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	Hidrógeno verde para 2025 es parte de una nueva estrategia denominada: "Plan a mediano y largo plazo para el desarrollo de la industria de la energía del hidrógeno (2021-2035)". El hidrógeno fue declarado un componente clave del futuro sistema energético nacional del país y una importante industria emergente estratégica por el principal organismo de planificación económica de China, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma (NDRC).

<p>Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).</p>	<p>El nuevo plan de hidrógeno establece tres tareas para que el país logre en el período previo a 2035:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Construir una plataforma de innovación centralizada colaborativa y eficiente para fortalecer la investigación y desarrollar tecnologías disruptivas, con miras a mejorar continuamente la competitividad del sector; 2) Promover la construcción de infraestructura de energía de hidrógeno — para “desplegar racionalmente” las instalaciones de producción, almacenamiento, transporte y recarga de H₂. 3) “Promover constantemente” el uso de hidrógeno en el transporte, el almacenamiento de energía, la industria pesada “y otros campos” — incluidos la aviación y el uso de celdas de combustible en edificios— y formar “un camino efectivo para el desarrollo de la comercialización de la energía del hidrógeno”; y Mejorar los marcos para “establecer y mejorar políticas”, incluso sobre gestión de hidrógeno, construcción de infraestructura, precios de electricidad para la producción de H₂ verde , así como establecer y mejorar estándares para la calidad, seguridad, infraestructura y aplicaciones del hidrógeno, mientras se fortalece todo el cadena de valor.
<p>Tiempo</p>	<p>Para 2035, se formará una variedad de aplicaciones diversificadas de energía de hidrógeno, y la proporción de producción de hidrógeno a partir de energías renovables, lo cual aumentará significativamente, lo que desempeñará un importante papel de apoyo en el desarrollo de la transformación de la energía verde.</p>
<p>Costo</p>	<p>Espera que el costo de producción del hidrógeno verde, incluido el gasto de capital, caiga por debajo de los 25 yuanes/kg o alrededor de \$4/kg en China para 2025 y \$2,40/kg para 2030, y que la capacidad del electrolizador alcance los 80 GW para 2030.</p> <p>Si toda la capacidad proyectada entra en línea, podría impulsar significativamente los pronósticos globales.</p>
<p>Tipo</p>	<p>Produce actualmente alrededor de 33 millones de toneladas de hidrógeno por año, casi el 80% del cual proviene de la gasificación de carbón altamente contaminante y el reformado de metano con vapor, con hidrógeno como subproducto industrial, de la producción de cloro y sosa cáustica, gas de horno de coque y des hidrogenación de propano para el 20% restante.</p>
<p>Modelo empleado</p>	<p style="text-align: center;">“Escarlar primero, limpiar luego”</p>
Japón	
<p>Actores clave (gobierno, privados o ambos).</p>	<p>En 2017, Japón emitió la Estrategia básica de hidrógeno , convirtiéndose en el primer país en adoptar un marco nacional de hidrógeno.</p> <p>El gobierno japonés proporciona una sólida financiación para la investigación, el desarrollo, la demostración y el despliegue (RDD&D), mantiene abiertas sus opciones tecnológicas. El gobierno busca</p>

	<p>umentar el gasto público, el trabajo de innovación tecnológica y la colaboración con los actores industriales para expandir una adaptación de la tecnología de hidrógeno y celdas de combustible en toda la sociedad.</p>
<p>Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).</p>	<p>Tiene un amplio enfoque de uso final que analiza la energía, el transporte, la industria pesada residencial y, potencialmente, la refinación.</p> <p>Mientras tanto, Japón es líder en tecnología de celdas de combustible, especialmente vehículos de celdas de combustible (FCV), y a los líderes japoneses les gustaría exportar esta tecnología al resto del mundo.</p> <p>El hidrógeno y el amoníaco constituirán el 1 por ciento tanto de la combinación de energía primaria como de la combinación de suministro de electricidad en 2030, consistente con el objetivo de reducción de gases de efecto invernadero del 46 por ciento.</p> <p>Se considera clave para la descarbonización de sectores industriales, como la siderurgia y la producción petroquímica.</p>
<p>Tiempo</p>	<p>Ve el hidrógeno como una forma importante de descarbonizar su economía mientras mantiene su competitividad industrial.</p> <p>El hidrógeno se encuentra entre los 14 sectores identificados en la estrategia de crecimiento verde mediante el logro de la neutralidad de carbono en 2050 (anunciada en diciembre de 2020) que será clave para la capacidad de cumplir los objetivos.</p> <p>El gobierno duplicó el hidrógeno con una actualización de la estrategia de crecimiento verde anunciada en junio de 2021, que agrega planes de acción específicos a los sectores prioritarios.</p>
<p>Costo</p>	<p>Reducir el costo de la producción de hidrógeno es una agenda importante.</p> <p>Se está trabajando para reducir el costo de alrededor de US\$1 por metro cúbico (Nm3) en 2017 a 30 centavos/Nm3 para 2030 y alrededor de 20 centavos/Nm3 o menos para 2050.</p>
<p>Tipo</p>	<p>Hidrogeno azul, verde o negro a partir de carbón.</p>
<p>Modelo empleado</p>	<p>“Escalar primero, limpiar luego”</p>
<p>Alemania</p>	
<p>Actores clave (gobierno, privados o ambos).</p>	<p>Se han destinado 7,000 millones EUR de inversiones públicas en el presupuesto para el hidrógeno verde. También incluye 2 000 millones EUR para asociaciones internacionales.</p> <p>Establecerá así alianzas de comercio exterior con países con condiciones de producción más favorables para el hidrógeno verde, para construir grandes plantas de producción con tecnologías alemanas. Se</p>

	<p>trata de 31 países socios potenciales (principalmente ubicados en África Occidental y Sudáfrica).</p> <p>Una parte del hidrógeno producido se exportará a Alemania, animará a las economías socias a ser menos dependientes de los combustibles fósiles, mientras ayuda a Alemania a satisfacer su demanda de hidrógeno.</p>
<p>Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).</p>	<p>Tiene la intención de expandir el papel del hidrógeno para disminuir la dependencia nacional del carbón.</p> <p>La producción de hidrógeno se realizará mediante licitaciones de servicios de electrólisis, subvenciones para la construcción de nuevas plantas y nuevos programas piloto.</p> <p>Se promoverá el hidrógeno en el sector industrial para reducir el uso de combustibles fósiles en los procesos industriales (ej: para producir acero amigable con el clima).</p> <p>Promoverá el uso directo de hidrógeno verde en los motores de los aviones y fomentará el desarrollo de conceptos para el vuelo híbrido eléctrico (combinación de tecnología de hidrógeno/pilas de combustible/baterías).</p> <p>El ministro de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear emitió una declaración de intenciones en septiembre de 2021 sobre la financiación de 55 millones de euros para la producción de acero a base de hidrógeno. El proyecto H2H de ArcelorMittal, con una inversión total de más de 110 millones de euros, implementará un proceso de producción de acero bajo en carbono basado en hidrógeno a escala industrial. Con este fin, la compañía construirá una planta DRI impulsada por hidrógeno en el sitio existente en Hamburgo.</p>
<p>Tiempo</p>	<p>Planea construir una capacidad de producción de 5 GW para 2030. Se construirán 5 GW adicionales para 2035-2040.</p> <p>Se había comprometido, junto con los otros estados miembros europeos, a lograr la neutralidad de gases de efecto invernadero (GEI) para 2050.</p> <p>Cuando en junio de 2021, el gobierno federal alemán fortaleció aún más el objetivo climático nacional para lograr la neutralidad de GEI ya para 2045</p>
<p>Costo</p>	<p>Reducir el costo total del hidrógeno limpio a USD 2 por kilogramo.</p> <p>La producción de hidrógeno verde estará exenta del impuesto EEG.</p>
<p>Tipo</p>	<p>Aunque la Estrategia Nacional del Hidrógeno claramente favorece el hidrógeno verde, el papel del hidrógeno azul como posible tecnología puente sigue sin estar claro en la actualidad. La estrategia se centra en el hidrógeno verde, pero también dice que otros hidrógenos bajos en carbono (por ejemplo, azul o turquesa) "desempeñarán un papel" en un mercado de hidrógeno global y europeo y, por lo tanto, en Alemania. En</p>



	<p>julio de 2021, el consejo de hidrógeno de Alemania, el organismo asesor designado por el gobierno, pidió una decisión urgente sobre el estado del hidrógeno azul. Una mayoría en el consejo apoya el hidrógeno azul como una tecnología puente que ayudaría a satisfacer la demanda a corto plazo de hidrógeno bajo en carbono y permitiría una transición en las asociaciones comerciales de energía existentes.</p>
Modelo empleado	<p>“Énfasis en el hidrógeno verde”</p>
Estados Unidos	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	<p>Presentó el hydrogen program plan por medio del Departamento de energía vía el secretario de energía Mark W. Menezes. Los estados de EE. UU. Compiten por una parte de los \$ 8 mil millones en fondos federales destinados a los llamados centros de hidrógeno. El plan de infraestructura bipartidista del presidente Joe Biden, que se convirtió en ley en noviembre, incluye fondos para construir al menos cuatro centros de hidrógeno, lugares donde el gas se puede producir y usar en un ciclo de auto refuerzo. Dos deben estar en regiones con abundantes reservas de gas natural, una disposición que ayudó a asegurar el respaldo del senador estadounidense Joe Manchin de Virginia Occidental.</p>
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	<p>La Ley de Infraestructura Bipartidista define los "Centros Regionales de Hidrógeno Limpio" como redes de productores de hidrógeno limpio, consumidores potenciales e infraestructura conectiva en las proximidades. Los centros de producción deben (a) contribuir de manera demostrable al logro del estándar de producción de hidrógeno limpio (definido como 2 kg CO₂e/kg H₂ en el punto de producción) conforme a la ley;(b) demostrar la producción, el procesamiento, la entrega, el almacenamiento y el uso final de hidrógeno limpio, y (c) convertirse en una red nacional de hidrógeno limpio para facilitar una economía de hidrógeno limpio.</p>
Tiempo	<p>Si bien el plan sienta las bases para una economía del hidrógeno en pleno funcionamiento que abarque varios usos industriales y públicos, el plan requiere una remodelación del sistema energético en los EE. UU. Estima que se necesitarían alrededor de 10 millones de toneladas métricas de hidrógeno para ejecutar completamente la economía energética, lo que actualmente aún no es alcanzable. Sin embargo, el plan no implica que todo el trabajo sea realizado por las agencias gubernamentales. Solo se deben sentar las bases, momento en el cual se espera que el sector privado asuma un papel cada vez más importante a partir de 2030.</p>
Costo	<p>\$2/kg producción de hidrógeno. \$2/kg entrega y distribución para transporte</p>

	<p>\$1/kg de hidrógeno para aplicaciones industriales y generación de energía</p> <p>Costo de celda de combustible \$80/kW y durabilidad de 25 000 horas para camiones pesados de larga distancia</p> <p>Almacenamiento a bordo de vehículos a 8 \$/kWh, 2,2 kWh/kg y 1,7 kWh/l.</p> <p>Costo de capital del electrolizador \$300/kW, durabilidad de 80 000 horas, eficiencia del 65 %.</p> <p>Costo de celdas de combustible de \$900/kW, durabilidad 40 000 horas para estacionarias de alta temperatura.</p>
Tipo	Hidrogeno gris, azul y a futuro verde.
Modelo empleado	“Escalar primero, limpiar luego”
Canadá	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	En diciembre de 2020, el gobierno publicó su " Estrategia de hidrógeno para Canadá consistiendo en aprovechar las oportunidades para el hidrógeno: un llamado a la acción ". La estrategia federal de hidrógeno para Canadá articula una visión ambiciosa de las contribuciones potenciales del hidrógeno a la economía para 2050 y establece un marco para posicionar a Canadá como un proveedor mundial de hidrógeno limpio y tecnologías relacionadas con él.
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	<p>La Estrategia Federal de Hidrógeno para Canadá contiene 32 recomendaciones estructuradas en torno a ocho pilares:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Asociaciones Estratégicas; (ii) Eliminación de riesgos de las inversiones; (iii) Innovación; (iv) Códigos y Estándares, (v) Políticas y Regulaciones Habilitantes; (vi) Concienciación; (vii) Proyectos Regionales y (viii) Mercados Internacionales. <p>Algunas de las acciones recomendadas están destinadas a implementarse a corto plazo, pero la estrategia también incluye medidas a mediano plazo (2025-2030) y largo plazo (2030-2050) para hacer crecer y diversificar el sector del hidrógeno y sentar las bases para un mercado con rápida expansión.</p>
Tiempo	<p>1. Corto plazo: entre 2021 y 2025, el enfoque de Canadá es sentar las bases mediante la planificación y el desarrollo de una nueva infraestructura de suministro y distribución de hidrógeno para respaldar los HUB de implementación temprana en aplicaciones maduras, al tiempo que respalda las demostraciones canadienses en aplicaciones emergentes.</p> <p>2. Mediano plazo: a partir de entonces, en el período de 2025 a 2030, a medida que la tecnología madure y el conjunto completo de aplicaciones de uso final se acerque a los niveles de preparación de la tecnología</p>

	<p>comercial, el uso del hidrógeno se centrará en el crecimiento y la diversificación.</p> <p>3. Largo plazo: entre 2030 y 2050, Canadá tiene como objetivo obtener todos los beneficios de la rápida expansión de la economía del hidrógeno a medida que se implementa más tecnología y crecen nuevas aplicaciones comerciales, con el apoyo de la infraestructura fundamental de suministro y distribución de Canadá.</p>
Costo	Puede producir hidrógeno 'verde' por \$2,50 a \$5,00/kg H ₂ (\$18 a \$35/GJ hhv H ₂) y en provincias con gas natural de bajo costo y la geología adecuada para capturar el subproducto CO ₂ , se puede producir hidrógeno 'azul' a un precio de \$1.50 a \$2.0/kg H ₂ (\$10 a \$14/GJ hhv H ₂).
Tipo	<p>Podría convertirse en un exportador líder de hidrógeno azul y verde. Es el cuarto mayor productor de energía hidroeléctrica del mundo y Ontario alberga una de las plantas nucleares en funcionamiento más grandes del mundo, ambas fuentes de electricidad sin carbono pueden permitir la producción de hidrógeno verde. Canadá también tiene la geología adecuada para la captura de carbono a gran escala para transformar el hidrógeno gris en azul.</p> <p>Columbia Británica, Manitoba, Quebec y Ontario podrían exportar hidrógeno verde fabricado con electricidad hidroeléctrica o nuclear, Alberta puede reutilizar su infraestructura de petróleo y gas y su fuerza laboral para producir hidrógeno azul a precios competitivos a nivel mundial.</p>
Modelo empleado	“Escalar primero, limpiar luego”
Australia	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	<p>La Estrategia Nacional de Hidrógeno de Australia establece una visión para una industria del hidrógeno limpia, innovadora, segura y competitiva que beneficie a todos los australianos.</p> <p>Se centra más en los objetivos económicos que en los objetivos climáticos.</p> <p>La producción de hidrógeno se ve como una oportunidad para diversificar la economía, atraer inversiones y llegar a nuevos mercados de exportación.</p> <p>El enfoque del país está guiado por la Estrategia Nacional de Hidrógeno, publicada en noviembre de 2019, que contiene 57 recomendaciones para que el gobierno actúe.</p>
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	Las exportaciones son un foco clave de estas metas a las que se aspira. Para 2030, la estrategia tiene como objetivo que Australia se encuentre entre los "tres principales exportadores de hidrógeno a los mercados asiáticos".
Tiempo	La primera fase, "Fundamentos y demostraciones", que dura hasta 2025, se centra en el desarrollo de las cadenas de suministro de hidrógeno y la



	<p>competitividad para responder a la rápida expansión de la industria a medida que aumenta la demanda.</p> <p>La segunda fase, “Activación del mercado a gran escala”, contiene menos acciones concretas y es más aspiracional en esta etapa. El gobierno espera escalar el uso de hidrógeno en una variedad de aplicaciones, incluida la mezcla en las redes de gas existentes; sin embargo, esto probablemente dependerá del progreso tecnológico, el desempeño de los primeros proyectos y el tamaño de la demanda del mercado.</p>
Costo	Reducir el costo del hidrógeno limpio a menos de \$2 uds por kilogramo, denominado "H2 por debajo de 2", haciéndolo competitivo con aplicaciones intensivas en carbono, como la producción de amoníaco.
Tipo	Hidrógeno limpio a partir de lignito en el Valle LaTrobe de Australia (tipos azul, gris y marrón).
Modelo empleado	“Escarar primero, limpiar luego”
México	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	<p>Gobierno Federal, a través de la Comisión Federal de Electricidad.</p> <p>Sociedad Mexicana del Hidrógeno, presidida por Israel Hurtado, congregando a 43 aliados estratégicos y gobiernos de estados de la república, así como a la sociedad mexicana del hidrógeno (apoyo de gobierno y empresas en colaboración con instituciones educativas y gobierno de puebla) y empresas del sector energético.</p>
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	<p>Producción local de hidrógeno verde por parte de CFE en alianza con Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia, aunque no tiene una estrategia clara, únicamente llevarán energía a comunidades que viven en pobreza energética. Israel Hurtado de la AMH, refiere a 2030 exportar marítimamente en Europa 6uds/kg y por ducto a los estados fronterizos de estados unidos ensenada/Altamira a 2.5 usd/kg.</p> <p>La agencia alemana de cooperación internacional (GIZ) a través de la Asociación mexicana del hidrógeno (AMH) comenta que existe la posibilidad de producir 1,400 millones de toneladas de hidrógeno verde, y los 10 estados que se tienen detectados con mayor potencial de producción de hidrógeno verde son: Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango, Nuevo León, Zacatecas, Tamaulipas, Campeche, San Luis Potosí y Veracruz.</p> <p>*Existe una división entre gobierno e iniciativa privada.</p>
Tiempo	2030 se ve reflejada un marco de exportación hacia la competitividad.
Costo	6uds/kg para Europa. Ducto a estados unidos 2.5usd/kg.
Tipo	Hidrógeno verde.
Modelo empleado	“Énfasis en el hidrógeno verde”
Chile	



Actores clave (gobierno, privados o ambos).	Gabriel Boric apuesta al hidrógeno verde desde el Estado y el sector privado, para remplazar gasolina y producir amoniaco verde, los actores principales son Empresa Nacional del Petróleo (Enap) y Corporación del Cobre (Codelco).
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	Chile se convertirá en un exportador de energías renovables al mundo, a través de sus energéticos y productos con sello verde. Busca ser líder productor global de hidrógeno verde por electrólisis a 25gw en 2030. Y busca exportar 2.5 BUSD/año en 2030.
Tiempo	Se desarrollarán proyecto antes del 2025 produciendo electrolisis 3.7 gw y 2030 35 gw.
Costo	Actualmente 6usd/kg, pero están alcanzando condiciones técnicas para en el año 2030 alcanzar a 1.5usd/kg.
Tipo	Hidrógeno verde reconfigurado en forma de amoniaco verde.
Modelo empleado	“Énfasis en el hidrógeno verde”
Colombia	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	<p>Trabajo en conjunto con el Ministerio y las empresas, actualmente, Ecopetrol y Promigas que están transformando sus procesos con ese objetivo y han puesto en marcha una serie de pilotos con los cuales se está generando el conocimiento necesario para la producción del hidrógeno verde a gran escala.</p> <p>Gobierno de Colombia espera que para 2030 se proyecte y desembolse aproximadamente US\$2.500 millones para inversiones que ayuden al desarrollo, generación y uso de este energético. Decreto 895 de 31 de mayo de 2022 (el Decreto), el Ministerio de Hacienda y Crédito Público de Colombia expidió los lineamientos relacionados con los incentivos tributarios a la generación de energía eléctrica con Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE).</p> <p>Como adiciones principales se destaca que el Decreto incluyó: 1. Los proyectos de hidrógeno verde y azul como proyectos susceptibles de ser beneficiarios de los incentivos tributarios, Y 2. Los proyectos de gestión eficiente y de medición inteligente y eficiente de proyectos de energía de fuentes no convencionales.</p>
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	La exportación de energéticos de origen fósil es uno de los pilares de la balanza comercial. Colombia no solo se prepara para la transición energética, sino que busca ser socio de Europa en energías renovables. La situación actual es uso del hidrógeno gris a partir del uso en refinerías (hidrotratamiento e hidro craqueo), industria química (amoniaco y metanol) y siderurgia y otros usos industriales. Y nuevas demandas futuras: transporte terrestre (pilas combustibles), transporte aéreo y marítimo (combustibles derivados de h2), y para el sector energético bajo consumo de calor (blending o transporte calor industrial y residencial), y generación de electricidad (almacenamiento de energía y generación de electricidad en pilas de combustibles y turbinas. En 2030 se espera



	<p>crecimiento de hidrogeno de bajas emisiones llegando a 120 kt, incluyendo remplazo de 150 kt de hidrógeno gris consumido en la actualidad. La demanda del sector transporte comenzará en el año 2026 (autobuses y camiones). Para 2040 se espera demanda en sector industrial.</p> <p>En 2030: Capacidad instalada de hidrogeno verde a partir de electrólisis de 1 – 3 gw y 1.7 USD/KG LCOH verde obtenible. Mientras que de hidrógeno azul producción de 50 kt h2.</p> <p>Hidrogeno de bajas emisiones comenzara a consumirse en refineries como remplazo del hidrógeno gris (reformación de gas natural con vapor existente). Demanda de transporte con 0.4 kt para 2026. Para 2027 el hidrógeno será competitivo en la industria.</p> <p>Demanda al 2030: 1.500 a 2.000 vehículo ligero de pilas de combustible, 1.000 a 1.500 vehículo pesado y 50 a 100 hidrogeneras de acceso público.</p>
Tiempo	A partir del 2026 con mayor impacto en el 2040. Para 2050 se espera alcanzar la neutralidad de hidrógeno verde en el país.
Costo	1.7 usd/kg hidrógeno verde al 2030, cuando se produzca en zonas de recurso renovable.
Tipo	Hidrógeno verde e hidrógeno azul.
Modelo empleado	“Escalar primero, limpiar luego”
Perú	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	<p>Sinergia de la iniciativa privada, gobierno y académico.</p> <p>Integración grupo de trabajo multisectorial coordinado por el ministerio de energía y minería. Se inician las bases para los marcos regulatorios al 2025 bajo una ley de adopción del hidrógeno. Se realizarán al 2030 los estudios de factibilidad de potenciales hubs.</p>
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	<p>Incluir para la demanda de H2: refineries, fertilizantes, transporte, inyección redes de GN, minería y acero.</p> <p>En transición 2025- 2030, se pretende posicionar al Perú como principal exportador, mediante acuerdos marco con países en exportación y derivados con países en infraestructura y logística.</p> <p>Su oferta se centra en 20 MUSD+ de financiamiento para apalancar proyectos. 3.000 MUSD de inversión privada en proyectos e investigación. Demanda del 40% de penetración de la industrial en transición al año 2040 y migración a un transporte terrestre sostenible.</p>
Tiempo	La hoja de ruta migra al 2025 con estudios base, para que en el 2030 se pueda implementar.
Costo	+1 gw potencia instalada de electrolizadores a 1.6 usd/kg precio promedio a dos pilotos nacionales esto al 2030, y al 2040 1.3 usd/kg, para 2050 1.0 usd/kg.



Tipo	Hidrógeno verde para exportación.
Modelo empleado	“Énfasis en el hidrógeno verde”
Uruguay	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	El Gobierno de Uruguay ubica al hidrógeno verde como un instrumento prioritario en su programa de sostenibilidad y está comprometido a impulsar la regulación correspondiente, la racionalización de los permisos, un conjunto de incentivos atractivos y el análisis de la infraestructura necesaria para su desarrollo y su eventual promoción a futuro. Uruguay comenzó a trabajar en el desarrollo del hidrógeno verde en el año 2018, a partir de la formación de un grupo interinstitucional inicial compuesto por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y las empresas públicas de energía ANCAP y UTE. El impulso del H2 verde permitirá acelerar los avances en los ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 13 (Acción por el Clima), e indirectamente aportará a otros objetivos. Las características de las energías renovables solar y eólica en Uruguay permitirían alcanzar, en 2030, costos nivelados de energía (LCOE), con valores que se ubicarían en el rango comprendido entre 16 y 19 USD/MWh. Uruguay es un país abierto a la inversión privada nacional e internacional.
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	En Uruguay, el desarrollo del hidrógeno verde es un paso natural en su proceso de descarbonización, luego de que disminuyera significativamente el uso de los combustibles fósiles en la matriz eléctrica. Además, el país cuenta con ventajas competitivas importantes para ser un productor relevante de hidrógeno verde y derivados, tanto para el mercado local como para la exportación.
Tiempo	Fase 1 (2022 - 2025): Desarrollar regulación; desarrollar primeros proyectos piloto; atraer los primeros proyectos a escala de exportación. Fase 2 (2026 - 2030): Expansión nacional; inicio de los primeros proyectos a escala de exportación. Fase 3 (+2030): Mercado nacional a gran escala; crecimiento acelerado de exportaciones.
Costo	2030, alcance valores de producción de hidrógeno verde (LCOH) de entre 1,2 y 1,4 USD/kgH2 en la región oeste y de entre 1,3 y 1,5 USD/kgH2 en la región este, para una escala superior a 500 MW. Estos costos de producción permitirían que Uruguay se posicionara de manera competitiva entre exportadores netos, como Chile, Arabia Saudita, Omán, Namibia o Australia.
Tipo	Hidrógeno verde.
Modelo empleado	“Énfasis en el hidrógeno verde”
Paraguay	
Actores clave (gobierno, privados o ambos).	Agenda Energética Nacional (AEN) y propone al hidrógeno verde como un vector energético que puede contribuir al desarrollo del sector energético del país, principalmente para el sector de transporte. La inversión para instalación de la cadena de suministro de H2V en los tres proyectos será de USD 6.100.000 y la consolidación de su demanda



	costará USD 2.240.000. A ello se le deben sumar los valores de ejecución (USD 500.000), asistencia técnica (USD 1.000.000) y gestión de la demanda eléctrica (USD 1.600.000), tal como detallaron desde el Viceministerio de Minería y Energía (VMME) de Paraguay.
Exportación o producción nacional (procesos y su volumen desean cambiar).	NeoGreen Hydrogen Corporation, desarrollador canadiense de energía renovable, anunció una inversión de 500 millones de dólares para construir una planta de hidrógeno verde en Paraguay a partir de energía eléctrica renovable, la instalación de una planta industrial en Paraguay para producir hidrógeno verde a gran escala e implica adquirir de la ANDE hasta 500 MW, con el fin de vender a las industrias locales y exportar.
Tiempo	Año 2030
Costo	3 USD/kg H2
Tipo	Hidrógeno verde.
Modelo empleado	“Énfasis en el hidrógeno verde”

Nota: Elaboración propia a partir de diversos datos 2018 – 2022.

Como se observa, la mayoría de estos países han preferido el modelo de “escalar primero, limpiar luego” como se resume en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resumen de los modelos por países significativos

País	Modelo
China	Escalar primero, limpiar luego
Japón	Escalar primero, limpiar luego
Alemania	Escalar primero, limpiar luego
Estados Unidos	Escalar primero, limpiar luego
Canadá	Escalar primero, limpiar luego
Australia	Escalar primero, limpiar luego
México	Énfasis en el hidrógeno verde
Chile	Énfasis en el hidrógeno verde
Colombia	Escalar primero, limpiar luego
Perú	Énfasis en el hidrógeno verde
Uruguay	Énfasis en el hidrógeno verde
Paraguay	Énfasis en el hidrógeno verde

Nota: Elaboración propia a partir de diversos datos 2018 – 2022.

Esto se debe a que los países industrializados que tiene previsto dentro de sus planes a largo plazo introducir o consumir el hidrógeno, se centran en preparar sus sistemas energéticos, productivos y económicos para su aprovechamiento, mientras que gran parte de América Latina, y en específico México, tienen la estrategia adoptada del hidrógeno verde bajo conceptos de los Objetivos de

desarrollo sostenible, ya que no cuenta con tecnología propia ni impulso del gobierno y por ende, no se tiene claridad en su aprovechamiento y uso.

2.1.4 Variables de estudio

Con la finalidad de obtener las variables de estudio que precisen los elementos claves del hidrógeno, se empleó el método STEEP que por sus siglas se refiere a elementos socioculturales, tecnológicos, económicos, ecológicos y políticos, a fin de estudiar su situación presente y evolución en el futuro, se recurrió a diversas fuentes de información, plasmando una definición clara y su indicador de medición, señalando que son variables de tipo cuantitativas, cualitativas o mixtas.

Cada una de las variables obedece al análisis e información de su estado presente y su comportamiento en el futuro, para con ello proceder a realizar la descripción de escenarios posibles guiados por su estado ideal.

No	Variable	Definición	Indicadores
1	Modelo económico	Sistema financiero y económico estructurado que determina los mercados y el valor asignado a los productos y servicios con base a una moneda, que a su vez mide la cantidad de recursos destinados a realizar proyectos.	Índice de competitividad en energía limpia. (Proyectos de hidrógeno, inversiones, precio y costes).
2	Precio del hidrógeno por tipo	Cantidad monetaria que se paga por una unidad determinada de hidrógeno en el mercado incluyendo generación o comercialización independientemente de su denominación (verde, azul o gris).	Dólares por kilogramo o unidad determinada por tipo u objetivo
3	Precio de hidrocarburos	Cantidad monetaria que se paga por una unidad determinada de petróleo y sus derivados en el mercado (generación y comercialización).	Dólares por barril o unidad determinada.
4	Tratados internacionales y compromisos sostenibles	Acuerdos, compromisos adquiridos, y acciones efectivas a nivel país para el cumplimiento de metas y reducciones de contaminantes en materia de cambio climático.	Metas alcanzadas en materia de descarbonización y cambio climático.

5	Política Pública, metas y recursos estratégicos en materia energética	Planes, programas y proyectos en materia económica, tecnológica y energética encausando estrategias en el sector energético en función de las fuentes primarias para obtención del hidrógeno, ya sean recursos naturales, hidrocarburos, energías renovables y convencionales.	Número de políticas alcanzadas. Capacidad de mw de energía renovable. Millones de litros de agua disponible. Barriles disponibles.
6	Usos y producción de hidrógeno.	Producción de hidrógeno verde, azul o gris y sus aplicaciones industriales, domésticas, de movilidad, generación de energía, etc.	Porcentaje alcanzado de producción por tipo. Número de aplicaciones por nicho.
7	Producción y demanda de hidrocarburos.	Producción y demanda nacional para procesos de petróleo y derivados.	Barriles diarios.
8	Infraestructura de hidrógeno incluido el Transporte y almacenamiento	Instalaciones estratégicas de producción, transporte y venta al público del energético, incluyendo los sistemas y cadenas de valor permitiendo trasladar y almacenar el hidrógeno de su origen al consumidor final.	% de infraestructura instalada y en operación para el h2 y volumen de hidrogeno transportado y almacenado.
9	Desarrollo tecnológico del Hidrógeno	Promoción e implementación de patentes, inventos o sistemas encaminados a la producción, aprovechamiento y almacenamiento de hidrógeno.	Número de patentes ingresadas y en desarrollo comercial.
10	Petroleras y proveedores.	Empresas consolidadas en torno a la explotación de hidrocarburos y proveedores de equipos y servicios cuyo conjunto tienen poder económico, político y tecnológico.	Valor en millones de dólares.
11	Consumo de hidrógeno por sectores	Cantidad de hidrógeno que se consume actualmente.	Toneladas de hidrógeno consumido en el país.
12	Captura de carbón	Sistemas que permiten capturar el carbón que se emite en el proceso de separación para obtener hidrógeno y se convierta sustentable.	Tonelada de carbón capturado en el país.



2.2 Escenarios posibles y probables en México al año 2030

Introducción a los escenarios

El futuro como advertimos no está determinado, para mejorarlo no basta con la capacidad de anticiparlo, sino con la acción para hacerlo realidad. El futuro probable se configura con las tendencias de las distintas variables y/o comportamiento de los actores. **El cumplimiento de las tendencias se concreta si se sigue haciendo lo mismo, si se mantiene su comportamiento inercial.** Construir un futuro posible, mejor que el probable, consiste en modificar – romper las tendencias.

Los escenarios son narraciones conformadas por la descripción de una situación futura y la trayectoria de eventos que permiten pasar de la situación inicial a la situación prevista.

Los escenarios describen caminos alternos hacia el futuro, presentando una gama de resultados, permitiendo que las personas, instituciones o sectores, reflexionen en torno al futuro, lo trascendental no es predecir el futuro, si no los procesos que se gestan sobre ellos.

Escenario idealizado

A partir del análisis de variables se elaboró para cada una de ellas su situación ideal, entendida esta como aquella que refleja la adopción del hidrógeno en la suficiencia energética de México y su competitividad al año 2030, con su narrativa se integra el escenario deseado, los resultados se presentan a continuación:

Variable	Escenario deseado 2030
<i>Modelo económico</i>	Se tiene un Modelo económico y financiero eficiente que permite la planeación y desarrollo del país brindando una correcta distribución de los recursos para el desarrollo de



	<p>infraestructura, así como productos y servicios empleados en los sectores sociales, energéticos, industriales y tecnológicos, con lo que se redujo de forma significativa la dependencia en hidrocarburos y remesas dando paso al crecimiento sostenido y competitividad.</p>
<i>Precio del hidrógeno por tipo</i>	<p>El precio del hidrógeno en México es competitivo y en algunas regiones ligeramente inferiores al que se ofrece en ciertos estados respecto a combustibles derivados de los hidrocarburos o el gas natural, independientemente de su origen, por lo que se torna en una opción atractiva para los usuarios en todos los sectores.</p>
<i>Precio de hidrocarburos</i>	<p>México logró la soberanía energética en el plano de los hidrocarburos, manteniendo la estabilidad de los precios asequibles a las clases populares y preferenciales para los sectores industriales y de transporte, siendo así un pilar del desarrollo económico y social.</p>
<i>Tratados internacionales y compromisos sostenibles</i>	<p>Se cumplen los tratados y acuerdos internacionales en reducción de carbono en un 50%, ya que México muestra un firme compromiso en la mitigación del cambio climático.</p>
<i>Política Pública, metas y recursos estratégicos en materia energética</i>	<p>Dado el avance energético, tecnológico y de innovación, México cuenta con políticas públicas y programas estratégicos claves que integró en la matriz energética y potencializó el hidrógeno a partir de fuentes primarias.</p>
<i>Usos y producción de hidrógeno.</i>	<p>México emplea el Hidrógeno para uso industrial, generación de energía eléctrica y transporte, ascendiendo al 10% de la energía demandada por el país, que a su vez se satisface integralmente de producción nacional.</p>

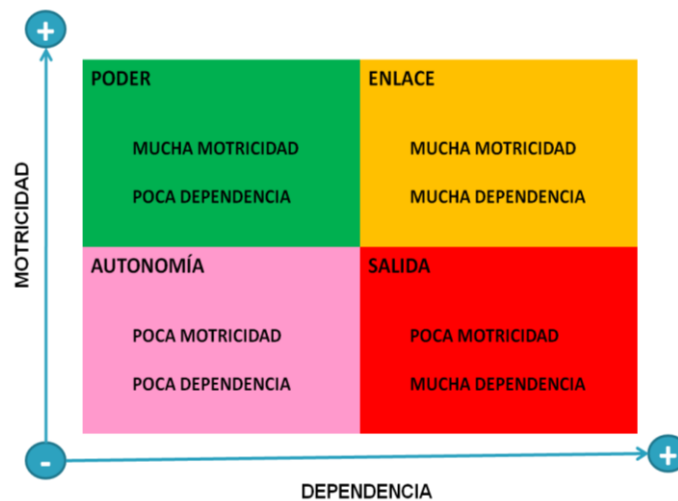
<p><i>Producción y demanda de hidrocarburos.</i></p>	<p>La producción de hidrocarburos en México cubre actualmente el 90% de la demanda total de energéticos, logrando exportar un 10% por el desarrollo de la infraestructura y los sistemas existentes.</p>
<p><i>Infraestructura de hidrógeno incluido el Transporte y almacenamiento</i></p>	<p>México cuenta con sistemas de infraestructura, transporte y almacenamientos de hidrógeno con base en modelos de negocio rentables y eficientes, mismos que son auspiciados en sinergia entre el sector privado y gobierno, permitiendo la llegada continua al consumidor final.</p>
<p><i>Desarrollo tecnológico del Hidrógeno</i></p>	<p>El sector de la innovación, ciencia y tecnología que se encuentra en sinergia con gobierno y privados, han generado el cúmulo de patentes aprobadas y equipos para el aprovechamiento competitivo en aplicaciones comerciales dando la viabilidad a un mercado para consumidores en los ramos industriales, transporte, etc.</p>
<p><i>Petroleras y proveedores.</i></p>	<p>Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad constituyen las entidades dominantes en torno a hidrocarburos y gas natural, realizando al interior de estas una reingeniería en la cual integran el hidrógeno en los procesos de producción y transporte, y realizando alianzas con los nuevos proveedores tecnológicos.</p>
<p><i>Consumo de hidrógeno por sectores</i></p>	<p>México consume el 7% de hidrógeno para la generación de energía eléctrica, mientras que el restante se distribuye en los demás sectores, siendo a nivel América Latina el referente en adopción del vector.</p>
<p><i>Captura de carbón</i></p>	<p>La normatividad aplicada a los proyectos de infraestructura para la producción de hidrógeno, les obligan a contar con sistemas de captura de carbono, por lo cual, el 40% está libre de emisiones de carbono.</p>

Dinámica de desarrollo del escenario

Para entender la dinámica de progreso del futuro, se considera el desarrollo y adopción del hidrógeno en México como un sistema en donde cualquier influencia sobre uno de sus elementos o variables repercute sobre las demás y sobre la totalidad del sistema. Se realizó su análisis mediante la elaboración de una matriz de impactos cruzados, el uso de la matriz ayuda a clasificar las variables con base en su capacidad de influencia, mover a las demás, y la dependencia existente entre ellas.

El análisis se desarrolla conforme a un modelo con cuatro posibilidades de ubicación de las variables:

Figura 10. Clasificación de las variables mediante MIC



Metodología de Configuración de Escenarios en Movimiento, de la consultoría Inteligenzza

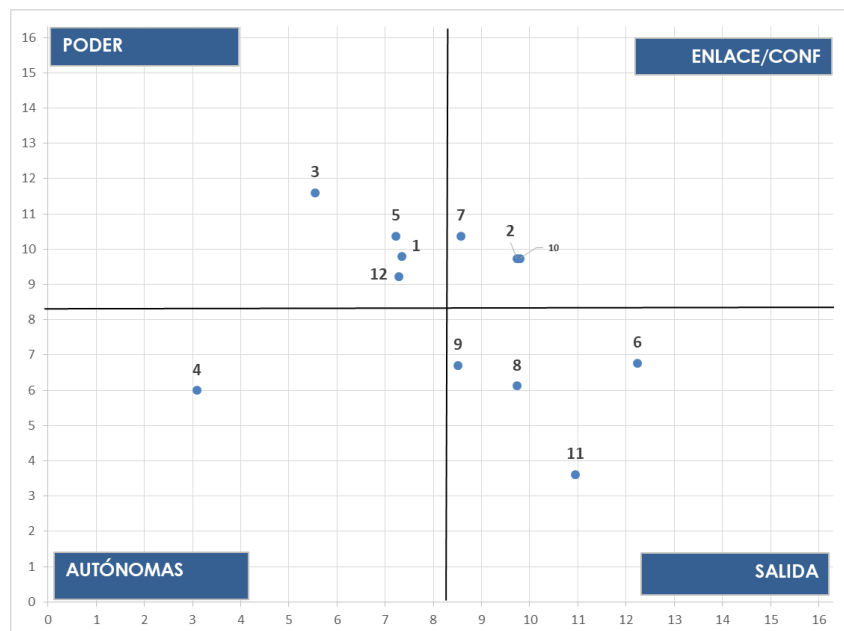
La definición para estos cuatro conjuntos de variables, resultado del análisis estructural, se describe en la tabla 3. Descripción del tipo de variables, las cuales explica en que consiste cada una de ellas.

Tabla 4. Descripción del tipo de variables

Situación	Descripción de las variables
PODER	Tienen la más alta motricidad y la más baja dependencia. Estas variables son en consecuencia las más importantes del movimiento del sistema, porque influyen sobre la mayoría y dependen poco de ellas. Cualquier modificación que ocurra en ellas tendrá repercusiones, positivas o negativas, en todo el sistema.
CONFLICTO /ENLACE	Estas variables tienen motricidad alta, pero también son altamente dependientes, influyen sobre las restantes, pero a su vez son influidas por ellas. Por esta razón están en conflicto.
AUTONOMÍA	No influyen significativamente sobre las otras ni son influidas por ellas, dado que tienen poca motricidad y poca dependencia.
SALIDA	En buena parte dependen de las anteriores, tienen baja motricidad y alta dependencia.

Nota: Descripción del tipo de variables *mediante la matriz de impacto cruzado, bajo la metodología de Configuración de Escenarios en Movimiento, de la consultoría Inteligenzza del Dr. Manuel Cervera Medel, aplicado para empresas y gobierno.*

Gráfica 1. Distribución de las variables en la aplicación del Hidrógeno



Nota: Distribución de variables, elaboración propia a través de *la metodología de Configuración de Escenarios en Movimiento, de la consultoría Inteligenzza del Dr. Manuel Cervera Medel, aplicado para empresas y gobierno.*

Tabla 5. Valores de motricidad y dependencia de las variables

No.	Variable	% mot	% dep	Motricidad	Dependencia	Ubicación
1	Modelo económico	9.79%	7.35%	MOTRIZ	INDEPENDIENTE	PODER
2	Precio del hidrógeno por tipo	9.73%	9.73%	MOTRIZ	DEPENDIENTE	CONFLICTO
3	Precio de hidrocarburos	11.60%	5.54%	MOTRIZ	INDEPENDIENTE	PODER
4	Tratados internacionales y compromisos sostenibles	5.99%	3.09%	NO MOTRIZ	INDEPENDIENTE	AUTONOMA
5	Política Pública, metas y recursos estratégicos en materia energética	10.37%	7.22%	MOTRIZ	INDEPENDIENTE	PODER
6	Usos y producción de hidrógeno.	6.77%	12.24%	NO MOTRIZ	DEPENDIENTE	SALIDA
7	Producción y demanda de hidrocarburos.	10.37%	8.57%	MOTRIZ	DEPENDIENTE	CONFLICTO
8	Infraestructura de hidrógeno incluido el Transporte y almacenamiento	6.12%	9.73%	NO MOTRIZ	DEPENDIENTE	SALIDA
9	Desarrollo tecnológico del Hidrógeno	6.70%	8.51%	NO MOTRIZ	DEPENDIENTE	SALIDA
10	Petroleras y proveedores.	9.73%	9.79%	MOTRIZ	DEPENDIENTE	CONFLICTO
11	Consumo de hidrógeno por sectores	3.61%	10.95%	NO MOTRIZ	DEPENDIENTE	SALIDA
12	Captura de carbón	9.21%	7.28%	MOTRIZ	INDEPENDIENTE	PODER
		100%	100%			

Nota: Los valores de motricidad y dependencia de las variables, elaboración propia a través de la metodología de Configuración de Escenarios en Movimiento, de la consultoría Inteligenzza.

Figura 11. Clasificación de las variables del impulso del hidrógeno

PODER	ENLACE / CONFLICTO
Modelo económico Precio de hidrocarburos Política pública en materia energética Captura de carbón	Precio del hidrógeno Producción y demanda de hidrocarburos Petroleras y proveedores
AUTÓNOMAS	SALIDA
Tratados internacionales	Usos y producción de hidrógeno Infraestructura de hidrógeno Desarrollo tecnológico del hidrógeno Consumo de hidrógeno

A partir del resultado obtenido, se puede establecer el desarrollo lógico del futuro, la evolución de las variables afectará el comportamiento de las demás variables atendiendo al sistema de interdependencia en que se encuentran inmersas, lo que



acontezca en las variables de poder y conflicto afectará, según sea el caso, positiva o negativamente al comportamiento de las demás variables del sistema.

Análisis de escenarios

De acuerdo con la matriz de impacto cruzado utilizada bajo el Modelo CEM, se analizaron las 12 variables, las cuales acorde a las etapas del proceso se estudiaron bajo el nivel de influencia una sobre la otra, dando como resultado un cuadrante con los 4 elementos, conformándose por las variables de poder, enlace, autónomas y de salida.

El modelo económico, precio de hidrocarburos, política pública y captura de carbón, son variables que tienen alta motricidad, esto quiere decir que tienen un gran impacto y poder dentro de la adopción del hidrógeno, para ello; las variables presentes tienen una implicancia en las decisiones que vengan de parte del ejecutivo federal, puesto que si hay un cambio en la política energética impactará en las demás variables, a la par, la exigencia de las autoridades internacionales por capturar el carbón incidirá en incentivos para la implementación del hidrógeno, en tanto que el modelo económico existente de México es correlacionado con el gobierno en turno, mientras no se cambie, se mantendrá esta variable de poder, y si hay cambio tendrá un efecto positivo o negativo en las demás.

Para las variables de enlace, a referir el precio del hidrógeno, petroleras y proveedores, así como la producción y demanda de hidrocarburos, podemos decir que estas variables influyen sobre las restantes y a su vez son influidas sobre de ellas, situándonos en el precio del hidrógeno, se han desarrollado avances tecnológicos para disminuir los costos de producción y por ende de comercialización, sin embargo para que exista un precio equilibrado con relación a los demás países, debe de haber una oferta y un esquema que sea rentable para México, pero de ello depende el avance en tecnología y la forma de producirlo, en tanto que las petroleras y su producción, juegan un papel primordial por ser los que abastecen al país de hidrocarburos, infraestructura y demanda, por ello, no marcan un cambio en la política energética para el uso del hidrógeno, solo dependerá del



ejecutivo federal y de las demás variables para que se realice un cambio en esta, y la producción y demanda de hidrocarburos es una variable que no cambiará hasta que haya una política clara y visionaria en los cambios que se vienen o bien que por exigencia de tratados internacionales se mire hacia otras formas de energía.




La variable autónoma de tratados internacionales gira en función de que son acuerdos entre los países desarrollados e instituciones a nivel mundial, por lo cual tiende a ser una variable que no es movida por las otras ni mueve a las demás, esto significa que México no influye en los acuerdos internacionales dado el tamaño de su economía y la tecnología que posee.

Concluyendo con las variables de salida, corresponden a Usos y producción de hidrógeno, Infraestructura de hidrógeno, desarrollo tecnológico del hidrógeno y consumo de hidrógeno, esto es muy claro, derivado que para que se adopte el hidrógeno en México, dependerá de las demás variables, incluyendo las internacionales que son los tratados internacionales, y las del país en política pública energética, hidrocarburos y precio del hidrógeno lo cual afectara como las variables mencionadas anteriormente se potencien o sufran deficiencias.

Escenarios posibles

El futuro es múltiple y no está predeterminado las alternativas son diversas, todas son posibles y todas tienen alguna probabilidad. A continuación, se presentan tres escenarios: el más probable conforme a la estimación de expertos y dos alternativas factibles bajo tendencias y sucesos de relevancia que podría encontrar México al 2030 en la adopción del hidrógeno.

Escenarios:

-  Escenario Probable. Sin novedad
-  Escenario 1. Arrastrados por la corriente
-  Escenario 2. En espera de un jamás



El escenario más probable: Sin novedad

El futuro probable sigue el rumbo que marca el escenario inercial, corresponde a la estimación de tendencias que se consideran si no se hace nada diferente en cada una de las variables. Este escenario se visualizó mediante exposición de supuestos, discusión y calificación (consulta Delphi) que determinó la opción más probable para cada variable que se presentará en el 2030, configurando así el escenario más probable.

Las tendencias precisadas en este estudio se comunicaron a los expertos a partir de revisar su evolución en México, describiendo varias bajo un mantenimiento y en menor calificación como en aumento, que contrastado con la situación actual con la futura brinda un panorama sin cambios significativos o bajo ciertos supuestos conllevando al empeoramiento en la actualidad, estando presentes el desarrollo de localidades urbanizadas y tenencia de la tierra, así como la organización de hub de producción de hidrógeno, la banca para el desarrollo de proyectos y la participación de PEMEX y CFE configurando un papel trascendental, estos fueron elementos de rigor para poder precisar el escenario, mismo que es narrado a continuación:

El Modelo económico y financiero está soportado en la producción de hidrocarburos y concentración de remesas, las energías verdes son parte de las hojas de ruta del país, pero no se cuentan con fondos suficientes por lo cual únicamente integran ejercicios de demostración en busca de financiamientos para su ampliación.

El precio del Hidrógeno en México está anclado a Hidrocarburos y la energía que procede de los mismos para su obtención, resultando en un costo excesivo de 6dls/kg que no le permite ser competitivo como país y difícilmente atractivo para inversiones, exportación o uso en cualquier sector productivo.

México aun con la infraestructura y sistemas para la producción de hidrocarburos y sus derivados, se enfrenta a altos precios por la disminución de subsidios y apoyos gubernamentales, aunado a una fuerte competencia de energías alternativas que dificulta el desarrollar estrategias en el sector energético.



México mantiene una política energética basada en hidrocarburos, se realizan esfuerzos parciales en limitar las emisiones de gases a la atmosfera y hacer eficientes los procesos de producción y refinación, con lo que no se cumplen los objetivos, pero se avanza parcialmente.

La política pública se encuentra enfocada en proyectos en operación y en desarrollo conforme a los hidrocarburos y refinados para los sectores industriales y transporte con esfuerzos limitados en torno a las energías alternativas y solamente ciertos sectores de la población interesados en su implementación, lo que genera críticas a nivel internacional e incertidumbre en el país frente a las inversiones.

México cuenta con limitada participación en la producción y uso del hidrógeno, tan solo representando el 4% en su mayor parte de esfuerzos aislados por la iniciativa privada y una incipiente producción de energía eléctrica por parte del gobierno.

Conforme a los esfuerzos por ampliación de infraestructura para la producción y refinación de hidrocarburos, se logra satisfacer en un 50% la demanda interna en el país, implicando continuar con un esquema de importaciones sujetas a precios de mercado altamente volátiles por la competencia con energías alternativas en el mercado internacional.

Se cuenta con una infraestructura de Hidrógeno muy limitada impulsada principalmente por el sector privado, localizándose en estados productivos e industrializados, mientras que el gobierno invierte únicamente en todo lo relacionado en Hidrocarburos con señales débiles de inversiones en la materia, incurriendo en rezagos.

México cuenta con financiamiento limitado y escasas iniciativas de investigación y desarrollo en torno al uso del hidrógeno, siendo así el número reducido de patentes con prototipos de demostración mínimos, teniendo una brecha amplia para lograr productos en aplicaciones comerciales.

Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad concretaron estudios estratégicos de factibilidad y selección de proveedores con sitios propicios para el



hidrógeno, sin embargo, se dificulta la implementación por la ausencia de fondos, justificación o dependencia de hidrocarburos.

México consume el 3% de hidrógeno para la generación de energía eléctrica, en tanto que sectores como el transporte o industrial, únicamente se dedican a infraestructura privada combinado con proyectos en operación y volúmenes reducidos.

Los procesos para la producción del hidrógeno que están en operación no cuentan con sistemas de captura de carbono, ya que las políticas y normatividad no obliga a su instalación, implicando un impacto en mantenimiento de un precio competitivo respecto a los hidrocarburos, aunque ello genere afectaciones ambientales.

Es por ello, que este escenario conforme a la participación de los expertos, denotan una claridad en el uso y aprovechamiento basados en su mayoría por hidrocarburos, los cuales el hidrógeno gira un papel poco relevante con la participación de las paraestatales PEMEX y CFE, Es aquí donde el hidrógeno no se visualiza con una alta participación en el país, puesto que existe una deficiente infraestructura y por ende una oferta reducida anclada a una ambigüedad claridad en materia de política pública.

Se plasma en términos numéricos el porcentaje del escenario global probable, estando en 15.31% respecto a su logro del 100%, siendo factores clave el alto valor de los precios de hidrocarburos para su obtención por la falta de subsidios y el lento desarrollo tecnológico del hidrógeno observado por el limitado número de patentes en México, así como también se le adiciona un crecimiento menor de la infraestructura del hidrógeno auspiciada en propuestas y proyectos principalmente por la iniciativa privada, y al consumo del hidrógeno que es mínimo a efecto de la oferta y demanda en el país.



Tabla 6. Escenario global probable, alcance cuantitativo

Escenario Global Probable		15.31%
VARIABLE		ALCANCE
1	Modelo económico	17.26%
2	Precio del hidrógeno por tipo	7.50%
3	Precio de hidrocarburos	24.98%
4	Tratados internacionales y compromisos sostenibles	18.75%
5	Política Pública, metas y recursos estratégicos en materia energética	19.82%
6	Usos y producción de hidrógeno.	15.16%
7	Producción y demanda de hidrocarburos.	8.84%
8	Infraestructura de hidrógeno incluido el Transporte y almacenamiento	7.97%
9	Desarrollo tecnológico del Hidrógeno	21.27%
10	Petroleras y proveedores.	15.47%
11	Consumo de hidrógeno por sectores	8.00%
12	Captura de carbón	8.67%

Nota: Escenario global probable y porcentajes por variables, elaboración propia a través de *la metodología de Configuración de Escenarios en Movimiento*, de la consultoría Inteligenzza del Dr. Manuel Cervera Medel, aplicado para empresas y gobierno.

Escenario alternativo 1. Arrastrados por la corriente

Dicho escenario se realizó bajo el supuesto de qué pasaría si Estados Unidos realiza una transición rápida de sus sectores energéticos y comerciales hacia el hidrógeno y energías alternativas, que afecte de manera fundamental y sea el que moldee las operaciones de México y su país, sus comunicaciones e intercambio dadas su interacción comercial e infraestructura interconectada o compartida. Esta premisa conlleva un cambio en su política energética y derivado que la infraestructura existente en México para potenciar el hidrógeno a través del blending es de gran importancia y fuente de un poder económico y político, conlleva en sí, un escenario donde el hidrógeno se empieza a potencializar con la política pública más clara, los fondos internacionales para investigación y desarrollo, a la par de la integración de PEMEX y CFE para el desarrollo de proyectos tecnológicos hacia ese fin, ello impulsaría en la demanda del hidrógeno contribuyendo a la reducción en la huella de carbono, entre otros elementos que se describen en el escenario.



Se tiene funcionando un Modelo económico basado en la producción y aprovechamiento de los hidrocarburos, que, aunque su funcionalidad es adecuada para la demanda del país, el financiamiento y desarrollo de proyectos de energía verde es limitado dificultando su producción.

El precio del hidrógeno en México se desarticula de los hidrocarburos de forma parcial al integrar limitadamente energías renovables en su obtención, pudiendo llevarlo hasta los 4 - 5 dls/kg, incentivando proyectos de demostración en regiones con alto valor.

México aun con la infraestructura y sistemas para la producción de hidrocarburos y sus derivados, se enfrenta a altos precios por la disminución de subsidios y apoyos gubernamentales, aunado a una fuerte competencia de energías alternativas que dificulta el desarrollar estrategias en el sector energético.

México mantiene una política energética basada en hidrocarburos, se realizan esfuerzos parciales en limitar las emisiones de gases a la atmosfera y hacer eficientes los procesos de producción y refinación, con lo que no se cumplen los objetivos, pero se avanza parcialmente.

El implemento de las políticas públicas trajo consigo la exploración acerca de las energías alternativas y proyectos piloto de hidrógeno que complementan la demanda de energía en conjunto con los hidrocarburos de forma limitada, permitiendo concretar planes para su adopción y potencialización.

México presenta escasa participación en el uso y producción de hidrógeno representando el 6%, que en su mayoría se encuentra por la iniciativa privada introduciendo a través de fuentes de energía limpia, y encaminado principalmente a la exportación, se ha implementado de forma limitada en ciertas regiones por motivos técnicos y económicos.

La demanda interna está supeditada por los proyectos actuales que dan respuesta a un 70% de la producción, si bien se ha reducido la dependencia, aún el 30% sujeto



a mercados internacionales causa un grado de incertidumbre en los precios en ciertas regiones.

La incipiente infraestructura de transporte y almacenamiento de hidrógeno se ubica en algunos Estados de manera limitada, proveyendo pequeños volúmenes para uso regional.

En México, derivado de la falta de financiamiento conjunto entre gobierno y privados, se gestionaron fondos internacionales para iniciativas de investigación y desarrollo en torno al uso del hidrógeno, logrando incipiente número de patentes buscando mayores fondos para prototipos de demostración y algunos productos en aplicaciones comerciales.

Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad establecieron proyectos de la mano de empresas tecnológicas que desarrollan energías alternativas, integrándolas a sus procesos de manera parcial.

Se aumenta gradualmente el consumo en México de hidrógeno llegando al 6% empleando para la generación de energía eléctrica un 5% y el restante en los sectores de transporte e industrial, distribuido en estados colindantes con la frontera norte y regiones productivas.

En la producción del hidrógeno únicamente capturan el 10% del carbono, usando como justificación la falta de tecnología que permita ofrecer precios competitivos aún después de subsidios, lo que afecta su competitividad en el mercado respecto a los hidrocarburos.

Se plasma en términos numéricos el porcentaje del escenario global probable, resultando ser un 31.86% respecto a su logro del 100%, siendo factores clave la política pública en materia energética que por medio de los cambios plasmados en el escenario vaya a la par de una idea clara de la dirección del consumo y aprovechamiento del hidrógeno, así como también se le adiciona un crecimiento menor el desarrollo tecnológico del hidrógeno, el precio del mismo y por ende equivaldría a una reducción considerable de la captura de carbono en el país.

Tabla 7. Escenario alterno global probable 1

Escenario Global Probable		31.86%
VARIABLE		ALCANCE
1 Modelo económico		36.84%
2 Precio del hidrógeno		22.41%
3 Precio de hidrocarburos		38.37%
4 Tratados internacionales		28.50%
5 Política Pública en materia energética		45.00%
6 Usos y producción de hidrógeno		32.84%
7 Producción y demanda de hidrocarburos		34.20%
8 Infraestructura de hidrógeno		23.95%
9 Desarrollo tecnológico del hidrógeno		21.64%
10 Petroleras y proveedores		33.71%
11 Consumo de hidrógeno		42.35%
12 Captura de carbón		22.51%

Nota: Escenario alterno global con el porcentaje de probabilidad, elaboración propia a través de *la metodología de Configuración de Escenarios en Movimiento*, de la consultoría Inteligenzza del Dr. Manuel Cervera Medel, aplicado para empresas y gobierno.

Escenario alterno 2. En espera de un jamás

Dicho escenario se planteó bajo un supuesto de divergencia de gran relevancia sobre la energía a nivel mundial, qué pasaría si se encarece el petróleo y sus derivados más allá de los precios máximos del hidrógeno, bajo esta premisa se tiene una claridad en la probabilidad de que el precio de los hidrocarburos y sus derivados se eleve de forma sustancial obligando al Ejecutivo federal a adquirir e integrar energía de cualquier tipo para satisfacer la demanda del país a precios financieramente permisibles., ello considerando los tratados internacionales, así como los compromisos de energía renovable plasmados en las tendencias globales, las cuales se les suma el aumento en la presión por las acciones en materia de cambio climático y los compromisos de cero emisiones en contraste con la alta demanda de energía por país para productos y servicios por las nuevas tecnologías de la información y telecomunicaciones que derivado de los altos precios del petróleo observados en el escenario, sería una gran oportunidad para el desarrollo del hidrógeno tal como se muestra la narrativa siguiente:



El Modelo económico y financiero cubre la demanda mediante la producción y procesamiento de hidrocarburos, pero integra fondos y mecanismos para el desarrollo de las energías alternativas e infraestructura, con la inyección de un volumen moderado en sectores industriales, sociales y tecnológicos.

El precio del Hidrógeno en México proveniente de fuentes renovables como no renovables se encuentra en precio estándar con América Latina (3dls/kg), proveyendo una rentabilidad promedio que permite invertir en usos limitados donde sea atractivo para los sectores productivos.

México aun con la infraestructura y sistemas para la producción de hidrocarburos y sus derivados, se enfrenta a altos precios por la disminución de subsidios y apoyos gubernamentales, aunado a una fuerte competencia de energías alternativas que dificulta el desarrollar estrategias en el sector energético.

Dados los ahorros y fondos provenientes de la producción y procesamiento de hidrocarburos, se invierte en la mejora de estos, así como en una recuperación parcial de carbono, logrando cumplir de forma limitada hasta en un 35% los compromisos y objetivos contraídos.

El implemento de las políticas públicas trajo consigo la exploración acerca de las energías alternativas y proyectos piloto de hidrógeno que complementan la demanda de energía en conjunto con los hidrocarburos de forma limitada, permitiendo concretar planes para su adopción y potencialización.

México presenta escasa participación en el uso y producción de hidrógeno representando el 6%, que en su mayoría se encuentra por la iniciativa privada introduciendo a través de fuentes de energía limpia, y encaminado principalmente a la exportación, se ha implementado de forma limitada en ciertas regiones por motivos técnicos y económicos.

La producción interna alcanzo el 60% de la demanda de hidrocarburos y se tiene un grado significativo de volatilidad de los precios, derivado de las importaciones que logren abastecer al país, teniendo variaciones en precios al no estabilizarse.



Se cuenta con infraestructura base desarrollada por gobierno e iniciativa privada para el transporte y almacenamiento, permitiendo que algunos Estados cuenten con el energético para sus industrias y sectores productivos.

En México derivado de la falta de financiamiento conjunto entre gobierno y privados, se gestionaron fondos internacionales para iniciativas de investigación y desarrollo en torno al uso del hidrógeno, logrando incipiente número de patentes buscando mayores fondos para prototipos de demostración y algunos productos en aplicaciones comerciales.

Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad establecieron proyectos de la mano de empresas tecnológicas que desarrollan energías alternativas, integrándolas a sus procesos de manera parcial.

Actualmente en México se consume el 5% de hidrógeno que se distribuye para la generación de energía eléctrica y sectores de transporte e industrial, sobre todo ubicado en Estados colindantes con frontera norte.

En la producción del hidrógeno únicamente capturan el 10% del carbono, usando como justificación la falta de tecnología que permita ofrecer precios competitivos aún después de subsidios, lo que afecta su competitividad en el mercado respecto a los hidrocarburos.

Igualmente, se plasma en términos numéricos el porcentaje del escenario global probable, estando en 35.97% respecto a su logro del 100%, siendo factores clave la política pública en materia energética dado su papel de proponer opciones y visualizar el alcance de los cambios en los energéticos y el modelo económico ya que la energía representa en México un factor determinante por su modelo y prácticas de dependencia de los hidrocarburos, así como también se le adiciona un crecimiento menor al desarrollo tecnológico del hidrógeno y captura de carbono en el país.

Tabla 8. Escenario alternativo global probable 2.

Alcance global del escenario		35.97%
VARIABLE		ALCANCE
1 Modelo económico		49.12%
2 Precio del hidrógeno		35.28%
3 Precio de hidrocarburos		38.51%
4 Tratados internacionales		41.33%
5 Política Pública en materia energética		47.86%
6 Usos y producción de hidrógeno		34.74%
7 Producción y demanda de hidrocarburos		25.20%
8 Infraestructura de hidrógeno		36.72%
9 Desarrollo tecnológico del hidrógeno		24.06%
10 Petroleras y proveedores		35.29%
11 Consumo de hidrógeno por sectores		36.00%
12 Captura de carbón		24.07%

Nota: Escenario alternativo global con el porcentaje de probabilidad, elaboración propia a través de *la metodología de Configuración de Escenarios en Movimiento*, de la consultoría Inteligenzza del Dr. Manuel Cervera Medel, aplicado para empresas y gobierno.

Comparativo de escenarios

Los escenarios van evolucionando conforme a diversos eventos y tendencias que se mueven por la voluntad e intereses de los actores, es por ello, que en la siguiente tabla se muestra como referencia el escenario posible obtenido a partir de la aplicación de la encuesta Delphi de expertos, contrastándose con dos escenarios alternos bajo eventos de coyuntura visualizando el comportamiento de la brecha de cambio en cada una de las variables.

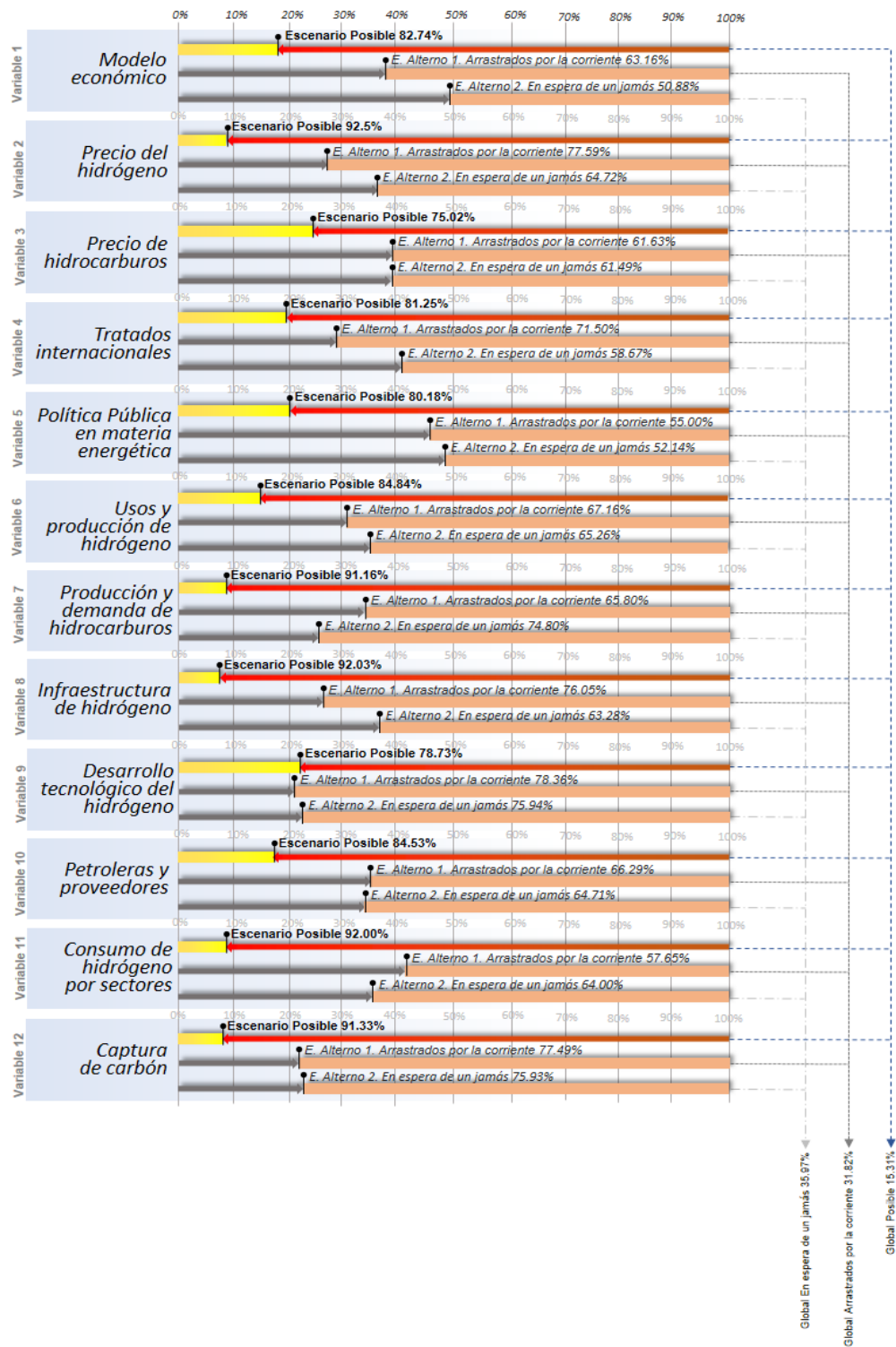
Como punto de partida de la comparación y tal como se muestra en la figura, es notable el contraste entre el escenario probable y los escenarios alternos, observándose en variables como el Modelo económico, la política pública en materia energética, usos y producción de hidrógeno y la infraestructura para este, como se potencia respecto a elementos del entorno que marcan brechas mucho menores, motivadas por las tendencias y eventos. La variable más notoria en esta comparación corresponde al desarrollo tecnológico del hidrógeno, misma que no se ve afectada o con impacto mayor en el escenario alternativo 1, esto es que crece la



brecha en contraste a un futuro deseado, en sí, no se desarrollará tecnología nacional en ninguna circunstancia.

Es así como las premisas desarrolladas pueden resumirse en el impacto que ejercería una transición en los estados unidos hacia el hidrógeno como alternativa 1, mientras que la alternativa 2 cambia el contexto en su totalidad visualizando que el petróleo y sus derivados se tornen inviables en su uso por los altos precios de obtención y aprovechamiento, ambos generan una disminución en la brecha del hidrógeno y pueden ser aceleradores de cambios para que en México se implemente en menor tiempo y con mayor profundidad, independientemente de la capacidad de adaptarse del sector científico – tecnológico, actuando al margen y con avances graduales.

Tabla 9. Comparativa de escenarios



Nota: Comparativa de escenarios conforme al porcentaje de probabilidad, elaboración propia a través de la metodología de Configuración de Escenarios en Movimiento, de la consultoría Intelgenzza del Dr. Manuel Cervera Medel, aplicado para empresas y gobierno.



2.3 Conclusiones y consideraciones finales.

El futuro del hidrógeno y su adopción en la suficiencia energética de México, sus escenarios.

El futuro, ¿es como lo pensamos?

El mundo que habitamos se ha convertido caótico e incierto por los cambios acelerados y repentinos de la tecnología, y las tendencias sociales y económicas, varios de estos cambios se han transformado en encrucijadas con problemas severos que a largo plazo ponen en entredicho el futuro de las organizaciones, regiones, países o el mundo entero; la energía como un elemento vital es clave en los territorios, valdrá analizar su aprovechamiento e impacto, toda vez que es un recurso estratégico.

Esto llevó a formularnos interrogantes acerca de la energía, tales como, ¿es viable el sistema energético que tenemos actualmente? ¿Habrán oportunidades para las energías renovables, más allá de los hidrocarburos o sus derivados?, ¿qué impactos se tendrán en el medio ambiente si seguimos con el uso desmedido de energía? pero más importante ¿cómo México puede ser parte de estos cambios y transformaciones para hacer uso de energía limpia a precios viables?, con ello permitiendo desarrollar sistemas energéticos para mejoramiento en procesos logísticos, impulsor en el sector eléctrico, así como un recurso para satisfacer las necesidades sociales de poblaciones y territorios.

El hidrógeno siendo un recurso en abundancia, que para su empleo debe ser separado a través de varios procesos los cuales se pueden ordenar en renovables, no renovables, o una combinación para energía eléctrica, tal como fue señalado en el desarrollo del estudio, ultimando que se trata de un energético emergente en los mercados actuales, por lo que requiere una inversión significativa en tecnología para su aprovechamiento. Con este panorama, los precios que ostenta actualmente no son competitivos, principalmente por los procesos empleados y el poco volumen que implica actualmente una demanda reducida.



Si bien, existen países con acelerados avances en la materia, para México el horizonte es distinto, por la escasa tecnología que presenta para el aprovechamiento del hidrógeno, siendo un factor, la compra de tecnología del extranjero visto en patentes, estando los países asiáticos al frente.

Refiriendo a la cadena de valor, aún está en proceso de desarrollo y en varios de los procesos requiere de mejoras o incluso de soluciones radicales que aumenten la eficiencia y confiabilidad para la producción del hidrógeno.

Así es como el hidrógeno es parte de un cambio gradual a largo plazo en los sectores energéticos y económicos, mientras que los aspectos revolucionarios se acotan únicamente a un pequeño núcleo de tecnologías para la generación de electricidad, movilidad y producción de hidrógeno con avances desde investigaciones científicas y ensayos comerciales, hasta modelos de demostración y prototipos de preproducción; todo lo anterior es trascendental, derivado a los escenarios posibles que puede enfrentar México, siendo una combinación de elementos endógenos y exógenos que impactarán en las decisiones tomadas conforme a las estrategias desarrolladas por los grupos o actores de interés, principalmente por el papel que jugarán los hidrocarburos como base de las políticas públicas y su interacción en un modelo económico, viable y ecológico.

Adicional, las tendencias principalmente se dan en el plano internacional en temas de los recursos naturales, disponibilidad de infraestructura de gas natural y los productos y servicios con alta demanda energética, concentrándose principalmente en una ventana de tiempo de 1 a 3 años y 3 a 5 años, implicando que su evolución tenga un impacto en los escenarios a mediano plazo, dependiente de la voluntad de los actores que intervienen.

Es a partir de estas premisas, que el panorama de las energías alternativas en México puede enfocarse entre el proceso de adaptación buscando su rentabilidad en pequeños mercados o aplicaciones, o en caso de grandes transformaciones a nivel mundial que lo obliguen a integrar energías alternativas, entre ellas el hidrógeno, cuyos estados del arte vistos por los avances de los países se enfocan



a ofertar un precio competitivo de forma regional independientemente de la fuente de obtención, con una disminución gradual del impacto al medio ambiente.

Y con esto, nos cuestionamos, ¿cómo será el actuar de México a nivel país?, ¿qué rol asumirá el gobierno federal en esta exigencia para el sector energético? y sobre todo, ¿qué interacción tendrá con el sector privado y los diversos actores económicos, sociales y políticos?

La elaboración de los escenarios brindó un abanico de posibilidades con cierto grado de probabilidad, su concreción real dependerá de la voluntad de los decisores de la política pública, ya que nos encontramos ante diversos elementos sociales y culturales que implican mantener un horizonte tendencial cuyos elementos críticos para transformarlos en un deseado implican esfuerzos extraordinarios, puesto que no se tiene un proyecto de nación en materia energética que implique tomar decisiones efectivas, por ende, la migración al hidrógeno, va a depender de las acciones que se realicen a nivel global, cuyo impacto alcance a México, su territorio, economía y/o recursos naturales, dicho de otra manera, el contexto es el impulsor que fungirá como elemento decisor hacia la implementación del hidrógeno.

El abordaje prospectivo y sus herramientas.

“La prospectiva como vínculo con el futuro incipiente”

Al tratar los cambios profundos con incertidumbre latente en aspectos emergentes, se torna de suma importancia el contar con un análisis de situaciones que se pueden presentar para no nublar las posibilidades de cambios repentinos en el corto plazo, ante eso se hace necesario contar con herramientas diferentes que contemplen los cambios evidentes, simultáneamente sondeen transformaciones sociales, económicas y tecnológicas midiendo discreta y verificablemente sus influencias e impactos en el contexto, para de esa forma identificar posibles futuros que se puedan presentar; indiferentemente de clasificarlos como benéficos o antagónicos a los intereses del lector o el usuario, partiendo de una reflexión adecuada para la toma de decisión con carácter anticipatoria, bajo un pensamiento estratégico en



función de las actividades a mediano y largo plazo o considerando proyectos a desarrollar como parte del fortalecimiento de una organización o empresa.

Esta es la utilidad clave de la prospectiva, la razón de ser en el proceso descrito anteriormente, pues si bien elementos convencionales como los promedios o estimaciones nos muestran un comportamiento esperado bajo una forma de pensar convencional, en la realidad quedamos a merced de factores externos o eventos inesperados que pueden ser determinantes en el mediano y largo plazo, muchas fuera de nuestra visión por aspectos cotidianos u obvios que les lleva a emerger de manera repentina, con grandes consecuencias como se ha visto recientemente.

Ante esto, hoy más que nunca para tomadores de decisiones, dueños de empresas, directores o encargados de planear y establecer estrategias, es de suma importancia analizar y determinar implicaciones que tendrán cambios probables, poco probables y sobre todo, impensables a mediano y largo plazo, visualizando los riesgos que pueden surgir en el proceso y su severidad, que resulta difícil concebirlas en formas tradicionales; la noción de un evento, acción o tendencias disruptivas o catastróficas se puede comunicar de manera más eficaz por medio de escenarios como los que se muestran en esta investigación, esto acrecienta a través de esta narrativa la capacidad de estar alerta a los cambios que se presentarán y las posibilidades a partir de estos, lo que permite enfocarse en las decisiones a tomar a niveles estratégicos.

Y, es precisamente la razón de ser de este estudio, dejar en sus manos los escenarios que parten de explorar el futuro del hidrógeno y su adopción en la suficiencia energética de México y su competitividad al año 2030, presentándose como las posibilidades y probabilidades de adoptar el energético que permitan tomar decisiones, siendo así, un panorama que se visualiza tendencial conforme a la opinión de los expertos y actores involucrados en este estudio, interviniendo así tendencias internacionales que –por ahora- marcan una dirección de alta demanda hacia los hidrocarburos para México y con una cuota menor de energías alternativas como el hidrógeno, esto puede resultar diferente si la política energética se



reconsidera e inversionistas o iniciativa privada generan proyectos trascendentales para adopción en sus procesos e industria, así como las paraestatales utilicen este recurso como estratégico para el país.

Pueden darse cambios que aceleren la adopción del hidrógeno, tornándose este documento en un estudio normativo por los eventos o sucesos impensables o poco probables que impliquen para el usuario una reflexión mediante un pensamiento crítico acerca de sus decisiones con visualización en los impactos en el futuro.



Bibliografía

Aguado M, Casteleiro R, Pérez E, Zayas G, Quintián P, Calvo R. (2021). Hidrógeno y su almacenamiento: el futuro de la energía eléctrica. A coruña. Universidade da coruña, servizo de publicacións. Isbn: 978-84-9749-798-5. Recuperado de <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497985>

Aguado, R. (2021, 2 febrero). *Hidrógeno y su almacenamiento: el futuro de la energía eléctrica*. Recuperado de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/27268>

Center for strategic and international studies. (S. F.). Australia's hydrogen industrial strategy. Recuperado de: <https://www.csis.org/analysis/australias-hydrogen-industrial-strategy>

Baena Paz., G. (2004). *Prospectiva Estratégica: Guía Para su Comprensión y Práctica*. Proyecto PAPIME de Prospección Política. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México

Beinstein, J. (2016). *Guía para el diseño e implementación de estudios prospectivos*. PRONAPTEC. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Bennett A. (2021). *Hydrogen & Fuel Cells Seminar [Webinar]*. Rho Motion. Estados Unidos. Recuperado de <https://rhomotion.com/products>

R Baker, D. (2022, 8 abril). *Biden's Hydrogen Hub Plan Sparks \$8 Billion Race Among U.S. States*. bloomberg. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-04-08/biden-s-hydrogen-hub-plan-sparks-8-billion-race-among-u-s-states?leadSource=uverify%20wall>

Bitar, S. (2013). *Las tendencias mundiales y el futuro de América Latina*. Serie Gestión Pública, 78. Santiago de Chile: CEPAL. Recuperado de http://www.ingenieriaaldia.udp.cl/pdf/Tendencias_mundiales.pdf

Zen and the Art of Clean Energy Solutions. (2019, Junio). British columbia hydrogen study. Recuperado de <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/government/ministries-organizations/zen-bc-bn-hydrogen-study-final-v6.pdf>

Cemex, s.a.b. de c.v. (2021). *Reporte integrado 2020*. Recuperado de: <https://www.cemex.com/reporteintegrado2020>

Cervera, M. (2008) *Sistema de Inteligencia y Dirección: la prospectiva como herramienta directiva*. Convenio Andrés Bello. Colombia.



Cervera; M. (2015) La inteligencia prospectiva y sus métodos. Cuadernos de pensamiento prospectivo número 10, México, DGAPA UNAM.

Cervera, M. (2014) Construyendo la Calidad en los ejercicios de prospectiva y vigilancia tecnológica. Capítulo: El Desarrollo Metodológico, soporte para la confiabilidad y calidad de la práctica prospectiva. Universidad del Valle. Colombia.

Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2018). El sector del gas natural. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/427889/2018_Boletin_de_Prensa_033.pdf

Defour, d. (2022, 13 Enero). Gie presents new study: picturing the value of underground gas storage to the european hydrogen system. Gas infrastructure europe. Recuperado de <https://www.gie.eu/gie-presents-new-study-picturing-the-value-of-underground-gas-storage-to-the-european-hydrogen-system/>

Yin, I. & spglobal. (2022, 29 marzo). El primer plan de hidrógeno de China se centró en reducir costos y desarrollar capacidades. www.spglobal.com. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/032922-chinas-first-hydrogen-plan-focused-on-lowering%E2%80%A6>

Energy partnership Chile – Alemania. (2020). Estrategia de hidrógeno verde de chile. Recuperado de <https://www.energypartnership.cl/es/newsroom/hidrogeno-chile/>

Agencia Energética del Gobierno Vasco (S. F.). Estrategia vasca del hidrógeno. Recuperado de <https://eve.eus/conoce-la-energia/la-energia-en-euskadi/estrategia-hidrogeno?lang=es-es>

Deloitte (2020). Fueling the future of mobility hydrogen and fuel cell solutions for transportation. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/content/dam/deloitte/cn/documents/finance/deloitte-cn-fueling-the-future-of-mobility-en-200101.pdf>

Fuentes, c. (2022, 29 noviembre). *Estudio: identificación de aspectos ambientales, sectoriales y territoriales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en toda su cadena de valor.* 4e chile. Recuperado de <https://4echile.cl/publicaciones/estudio-identificacion-de-aspectos-ambientales-sectoriales-y-territoriales-para-el-desarrollo-de-proyectos-de-hidrogeno-verde-en-toda-su-cadena-de-valor/>



Fundación naturgy. (2020). Hidrógeno vector energético de una economía descarbonizada. Recuperado de https://www.naturgy.com/files/libro_hidrogeno_fundaci%3%b3n_naturgy.pdf.

Huber, I. (2021). Germany's Hydrogen Industrial Strategy. Center for Strategic and International Studies. <https://www.csis.org/analysis/germanys-hydrogen-industrial-strategy>

Getting alberta back to work: natural gas vision and strategy - open government. (s. F.). Recuperado de <https://open.alberta.ca/publications/getting-alberta-back-to-work-natural-gas-vision-and-strategy>

Gmbh, (giz). (2022, 21 noviembre). Green hydrogen in mexico: towards a decarbonization of the economy. Recuperado de https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/hydrogen_ep_volume_vii.pdf

Gob.cl - (S. F.). *Artículo: gobierno presenta la estrategia nacional para que chile sea líder mundial en hidrógeno verde.* Recuperado de <https://www.gob.cl/noticias/gobierno-presenta-la-estrategia-nacional-para-que-chile-sea-lider-mundial-en-hidrogeno-verde/>

Gobierno colombiano & Banco Interamericano de Desarrollo. (2021, 25 agosto). *Colombia promete hoja de ruta del hidrógeno verde y prevé inversiones por 2.500 millones de dólares.* Green Finance LAC. <https://greenfinancelac.org/es/recursos/novedades/colombia-promete-hoja-de-ruta-del-hidrogeno-verde-y-preve-inversiones-por-2-500-millones-de-dolares/>

Godet, M. y Durance, P. (2011). *La Prospectiva Estratégica para las empresas y los territorios.* Paris: UNESCO. Recuperado de http://www.lapropective.fr/dyn/traductions/contents/1_dunod-unesco-vspan-ext-15-06-2011.pdf

Godet, M.; Monti R.; Meunier, F. y Roubelat, F. (2000). *La Caja de Herramientas de la Prospectiva Estratégica. Cuaderno 5.* Paris: Librairie des Arts et Métiers

H2 Perú (2022, 10 marzo). *Hoja de ruta del Hidrógeno.* Recuperado de <https://h2.pe/>

Hinicio. (2021). *Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación tomo vii: integración de resultados y recomendaciones generales.* Recuperado de https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/hidro%cc%81geno_ae_tomo_vii.pdf



Hinicio. (2021). *Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación*. Recuperado

de https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elementos/reports/hidro%cc%81geno_ae_tomo_i.pdf

Hortal, m. A. & barreras, a. L. M. (2007). *El hidrógeno: fundamento de un futuro equilibrado* (segunda edición) [2007]. Díaz de santos.

Hydrogen Generation Market. (2022, agosto). MarketsandMarkets. Recuperado de https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/hydrogen-generation-market-494.html?qclid=Cj0KCQiAnNacBhDvARIsABnDa685XtmN9yq1mf54EcRwDBSiYrKISgxPFFF8dN-Y0Qb--A4OCFpEWIwaAhkDEALw_wcB

United States Department of Energy Washington, DC (2020, Julio). *Hydrogen strategy enabling a low-carbon economy*. Recuperado de: https://usdoe.fe/hydrogen_strategy_july2020.pdf

Iberdrola. (2020). *Estado de información no financiera. Informe de sostenibilidad ejercicio 2020*. Recuperado de: https://www.iberdrola.com/documents/20125/40534/ib_informe_sostenibilidad.pdf/c/e2e11b1-69c9-43fa-1478-fa8049c12a45?t=1627451927572

Implementa sur. (2020). “Estudio para definir esquemas de financiamiento para acelerar la adopción tecnológica e implementación de proyectos de generación, almacenamiento, transporte, consumo y exportación de hidrógeno verde en Chile”. Recuperado de: https://energia.gob.cl/sites/default/files/estudio_para_definir_esquemas_de_financiamiento_para_acelerar_la_adopcion_tecnologica_e_implementacion_de_proyectos_de_genera.pdf

Implicaciones para los países del triángulo del litio, documentos *de proyectos* (lc/ts.2021/58), Santiago, comisión económica para América Latina y el Caribe (cepal), 2021.

Irena (2020), *green hydrogen cost reduction: scaling up electrolyzers to meet the 1.5°C climate goal*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Japan's hydrogen industrial strategy. Center for Strategic and International Studies. Recuperado de: <https://www.csis.org/analysis/japans-hydrogen-industrial-strategy>

Nagashima, M (2020, September). *Japan's hydrogen society ambition 2020 status and perspectives*. Recuperado de: https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/nagashima_japan_hydrogen_2020.pdf



Gov. Co. (2022) Hoja de ruta del hidrógeno verde. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/enlace-ruta-hidrogeno/>

Montagne V. (2016). "diseño de un generador de hidrogeno como combustible para los motores de combustión de ciclo otto en la región puno - 2015" (título profesional de: ingeniero mecánico electricista). Universidad nacional del altiplano.

Morín, E. (2002). El Método. El conocimiento del conocimiento. Colección Teorema Series, 3. Ciudad: Cátedra

Morín, E. (2004). Introducción al pensamiento complejo. Biblioteca de la Comunidad de Pensamiento Complejo: Salón Edgar Morín, Caps. 3-6. Recuperado de http://www.pensamientocomplejo.com.ar/docs/files/MorinEdgar_Introduccion-all-pensamiento-complejo-Parte1.pdf

Morín, E. (2004). La Epistemología de la Complejidad. Gaceta de Antropología, 20. Texto 20- 02. París: CNRS

Nacional Autónoma de México, U., Herrera-Vázquez, M., Rojas, T., & Fleury, A. (n.d.). Tip Revista Especializada en Ciencias. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2016.02.003>

Rifkin, j. (2002). La economía del hidrógeno: la creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la tierra. Paidós.

Rodrigo V, Felipe S, (GIZ) gmbh. (2018, marzo). Hidrógeno tecnologías del y perspectivas para chile. Recuperado de <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2020/07/libro-tecnologias-h2-y-perspectivas-chile.pdf>

Mckinsey, S (2021, 10 Octubre). Hydrogen insights 2021. Hydrogen council. Study reveals mexico's great potential for driving green shipping fuel production. World economic forum. Recuperado de: <https://www.weforum.org/friends-of-ocean-action/study-reveals-mexico-s-great-potential-for-driving-green-shipping-fuel-production>

Steele, L. (2019). 2019 Patent Analysis for the U.S. Department of Energy Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/10/f79/hfto-2019-patent-analysis.pdf>

Sun, x. And y. Yang (2021), 'china's hydrogen energy perspectives: a survey of policy and strategy from the hydrogen technology leading economies', in li, y., h. Phoumin, and s. Kimura (eds.), hydrogen sourced from renewables and clean energy: a feasibility study of achieving large-scale demonstration. eria research project report fy2021 no.19, jakarta: eria, pp.138-52.



Lu, j. (2021). The different pathways of hydrogen adoption: a social-technical analysis of hydrogen approaches in germany and australia (master in advanced european and international studies (maeis) global energy transition and governance). Centre international de formation europeenne institut european institute.

Tzimas, e. (2003). Hydrogen storage: state-of-the-art and future perspective|inis. Jrc publications repository. Recuperado de: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=rn:36058748

Viceministerio de minas y energía. (S. F.). Hacia la ruta del hidrogeno verde en Paraguay. Recuperado de https://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com_content

Wenger D. (2022). Hydrogen Online Conference [Webinar]. Mission Hydrogen. Alemania. <https://mission-hydrogen.de/>

Base de datos del Hidrógeno (2022). Repositorios internos de vigilancia estratégica del hidrógeno. Recuperado de Base de datos del hidrógeno.

Anexo 1. Consulta Delphi

Se realizaron dos instrumentos, el primero de ellos fue para determinar los escenarios probables conforme a las opiniones de los expertos en Hidrógeno, mismos que fueron seleccionados conforme a su expertis y áreas del conocimiento, desglosándose en académicos, gobierno, científicos, empresarios y asociaciones civiles., en tanto que se aplicó el segundo instrumentos a fin de profundizar en las tendencias globales relevantes para potenciar el Hidrógeno con influencia internacional con impacto en México, mismos que se desglosan a continuación.

Probabilidad de escenarios

Variable		Situación actual	Probable
1	Modelo económico PODER		
A	El Modelo económico y financiero implantado está excesivamente apoyado en elementos variables como remesas, y precios de los hidrocarburos, lo que dificulta una correcta distribución y fondeo efectivo de proyectos e infraestructura, trayendo como consecuencia un atraso en energías y sectores estratégicos ocasionando una baja competitividad y decrecimiento en el país.	A	B
B	El Modelo económico y financiero está soportado en la producción de hidrocarburos y concentración de remesas, las energías verdes son parte de las hojas de ruta del país, pero no se cuentan con fondos suficientes por lo cual únicamente integran ejercicios de demostración en busca de financiamientos para su ampliación.		
C	Se tiene funcionando un Modelo económico basado en la producción y aprovechamiento de los hidrocarburos, que, aunque su funcionalidad es adecuada para la demanda del país, el financiamiento y desarrollo de proyectos de energía verde es limitado dificultando su producción.		

D El Modelo económico y financiero cubre la demanda mediante la producción y procesamiento de hidrocarburos, pero integra fondos y mecanismos para el desarrollo de las energías alternativas e infraestructura, con la inyección de un volumen moderado en sectores industriales, sociales y tecnológicos.

E Se tiene un Modelo económico y financiero eficiente que permite la planeación y desarrollo del país brindando una correcta distribución de los recursos para el desarrollo de infraestructura, así como productos y servicios empleados en los sectores sociales, energéticos, industriales y tecnológicos, con lo que se redujo de forma significativa la dependencia en hidrocarburos y remesas dando paso al crecimiento sostenido y competitividad.

2 Precio del hidrógeno por tipo

CONFLICTO

A El precio del Hidrógeno en México está anclado a Hidrocarburos y la energía que procede de los mismos para su obtención, resultando en un costo excesivo de 6dls/kg que no le permite ser competitivo como país y difícilmente atractivo para inversiones, exportación o uso en cualquier sector productivo.

B El precio del hidrógeno en México se desarticula de los hidrocarburos de forma parcial al integrar limitadamente energías renovables en su obtención, pudiendo llevarlo hasta los 4 - 5 dls/kg, incentivando proyectos de demostración en regiones con alto valor.

C El precio del Hidrógeno en México proveniente de fuentes renovables como no renovables se encuentra en precio estándar con América Latina (3dls/kg), proveyendo una rentabilidad promedio que permite invertir en usos limitados donde sea atractivo para los sectores productivos.

D El precio del Hidrógeno en México logra madurez que da lugar a un descenso en el precio, obteniendo 2 dls/kg, potenciando inversiones y facilitando en regiones industrializadas con nivel socioeconómico medio su uso.

Situación actual Probable

A A



E El precio del hidrógeno en México es competitivo y en algunas regiones ligeramente inferiores al que se ofrece en ciertos estados respecto a combustibles derivados de los hidrocarburos o el gas natural, independientemente de su origen, por lo que se torna en una opción atractiva para los usuarios en todos los sectores.

3 Precio de hidrocarburos

Situación Probable actual

PODER

A México cuenta con infraestructura y sistemas para la producción de hidrocarburos y sus derivados, se han mantenido los precios de estos a niveles de años anteriores a la par de la eliminación de subsidios, resultando de incremento gradual generando malestar, inconformidad y desequilibrio en los sectores y cadenas productivas, así como interrumpiendo cualquier esfuerzo de desarrollar energías alternativas.

B C

B La infraestructura y sistemas de producción logran mantener los precios a niveles de años anteriores, y el retiro de subsidios se realiza parcialmente para controlar el malestar en clases populares acorde al estado general de la economía y conteniendo el impacto en la competitividad.

C México aun con la infraestructura y sistemas para la producción de hidrocarburos y sus derivados, se enfrenta a altos precios por la disminución de subsidios y apoyos gubernamentales, aunado a una fuerte competencia de energías alternativas que dificulta el desarrollar estrategias en el sector energético.

D La soberanía energética de México ha permitido estabilizar gradualmente el precio de los hidrocarburos dentro de parámetros de competitividad, resultando en una mayor accesibilidad a clases populares, por lo que las energías alternativas tienen mayor atracción para su aprovechamiento.

E México logró la soberanía energética en el plano de los hidrocarburos, manteniendo la estabilidad de los precios asequibles a las clases populares y preferenciales para los sectores industriales y de transporte, siendo así un pilar del desarrollo económico y social.

4 Tratados internacionales y compromisos sostenibles

Situación Probable actual

AUTONOMA



<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p>	<p>Las estrategias emprendidas por el Gobierno federal han resultado en una sobreexplotación de los hidrocarburos, dejando de lado procesos limpios y la captura de carbono, por lo que las industrias y sectores productivos no han implementado modelos verdes incumpliendo severamente los objetivos de los tratados internacionales.</p> <p>El Gobierno de México continua con su política energética a base de hidrocarburos, produciendo grandes cantidades con pocas limitaciones a las emisiones a la atmosfera, siendo foco de organizaciones y tratados a nivel internacional, aumento la presión sobre el país para emplazarlo a reducir el impacto y eficientar procesos.</p> <p>México mantiene una política energética basada en hidrocarburos, se realizan esfuerzos parciales en limitar las emisiones de gases a la atmosfera y eficientar los procesos de producción y refinación, con lo que no se cumplen los objetivos, pero se avanza parcialmente.</p> <p>Dados los ahorros y fondos provenientes de la producción y procesamiento de hidrocarburos, se invierte en la mejora de estos, así como en una recuperación parcial de carbono, logrando cumplir de forma limitada hasta en un 35% los compromisos y objetivos contraídos.</p> <p>Se cumplen los tratados y acuerdos internacionales en reducción de carbono en un 50%, ya que México muestra un firme compromiso en la mitigación del cambio climático.</p>	<p>B</p>	<p>C</p>
<p>5</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>C</p>	<p>Política Pública, metas y recursos estratégicos en materia energética</p> <p>PODER</p> <p>La política pública del gobierno se centra en la producción y refinación de hidrocarburos, por lo cual no hay financiamiento ni desarrollo tecnológico nacional en materia de energías alternativas, cayendo gradualmente en un atraso respecto a los estándares internacionales, mismo que obliga a la iniciativa privada y sectores de la sociedad trabajar en la promoción del hidrógeno con resultados limitados.</p> <p>Las políticas públicas se centran en los hidrocarburos y derivados como recursos estratégicos, mientras en el plano internacional, las energías alternativas ganan fuerza y mayor capacidad instalada obligando al país a desarrollar estudios y fondeo limitado en la posible implantación que le de apertura a los usuarios que demanden.</p> <p>La política pública se encuentra enfocada en proyectos en operación y en desarrollo conforme a los hidrocarburos y refinados para los sectores industriales y transporte con</p>	<p>Situación actual</p> <p>B</p>	<p>Probable</p> <p>C</p>

esfuerzos limitados en torno a las energías alternativas y solamente ciertos sectores de la población interesados en su implementación, lo que genera críticas a nivel internacional e incertidumbre en el país frente a las inversiones.

D El implemento de las políticas públicas trajo consigo la exploración acerca de las energías alternativas y proyectos piloto de hidrógeno que complementan la demanda de energía en conjunto con los hidrocarburos de forma limitada, permitiendo concretar planes para su adopción y potencialización.

E Dado el avance energético, tecnológico y de innovación, México cuenta con políticas públicas y programas estratégicos claves que integró en la matriz energética y potencializó el hidrógeno a partir de fuentes primarias.

6 Usos y producción de hidrógeno.

SALIDA

A México no logra avanzar en la implementación del hidrogeno, teniendo un 3% únicamente de producción y uso respecto a los hidrocarburos centrándose en la generación de energía eléctrica por parte de las empresas del estado y marginalmente en el sector transporte.

B México cuenta con limitada participación en la producción y uso del hidrógeno, tan solo representando el 4% en su mayor parte de esfuerzos aislados por la iniciativa privada y una incipiente producción de energía eléctrica por parte del gobierno.

C México presenta escasa participación en el uso y producción de hidrógeno representando el 6%, que en su mayoría se encuentra por la iniciativa privada introduciendo a través de fuentes de energía limpia, y encaminado principalmente a la exportación, se ha implementado de forma limitada en ciertas regiones por motivos técnicos y económicos.

D México logra poner en operación proyectos para la producción de hidrógeno equivalentes a los 8% de la energía demandada por el país distribuidos en la generación de energía eléctrica y transporte.

E México emplea el Hidrógeno para uso industrial, generación de energía eléctrica y transporte, ascendiendo al 10% de la energía demandada por el país, que a su vez se satisface integralmente de producción nacional.

Situación Probable actual

A B

7 Producción y demanda de hidrocarburos.

CONFLICTO

Situación Probable actual

<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p>	<p>Conforme a los esfuerzos por ampliación de infraestructura para la producción y refinación de hidrocarburos, se logra satisfacer en un 50% la demanda interna en el país, implicando continuar con un esquema de importaciones sujetas a precios de mercado altamente volátiles por la competencia con energías alternativas en el mercado internacional.</p> <p>La producción interna alcanzó el 60% de la demanda de hidrocarburos y se tiene un grado significativo de volatilidad de los precios, derivado de las importaciones que logren abastecer al país, teniendo variaciones en precios al no estabilizarse.</p> <p>La demanda interna está supeditada por los proyectos actuales que dan respuesta a un 70% de la producción, si bien se ha reducido la dependencia, aún el 30% sujeto a mercados internacionales causa un grado de incertidumbre en los precios en ciertas regiones.</p> <p>Se da cumplimiento al 80% de la demanda interna mediante la producción de hidrocarburos, permitiendo al gobierno ejercer control en los precios, reduciendo de forma significativa la incertidumbre en el país.</p> <p>La producción de hidrocarburos en México cubre actualmente el 90% de la demanda total de energéticos, logrando exportar un 10% por el desarrollo de la infraestructura y los sistemas existentes.</p>	<p>B</p>	<p>A</p>
<p>8</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p>	<p>Infraestructura de hidrógeno incluido el Transporte y almacenamiento</p> <p>SALIDA</p> <p>Se cuenta con una infraestructura de Hidrógeno muy limitada impulsada principalmente por el sector privado, localizándose en estados productivos e industrializados, mientras que el gobierno invierte únicamente en todo lo relacionado en Hidrocarburos con señales débiles de inversiones en la materia, incurriendo en rezagos.</p> <p>La incipiente infraestructura de transporte y almacenamiento de hidrógeno se ubica en algunos Estados de manera limitada, proveyendo pequeños volúmenes para uso regional.</p> <p>Se cuenta con infraestructura base desarrollada por gobierno e iniciativa privada para el transporte y almacenamiento, permitiendo que algunos Estados cuenten con el energético para sus industrias y sectores productivos.</p> <p>A nivel nacional se desarrolla infraestructura para el transporte y almacenamiento de hidrógeno, estando disponible el energético en varios Estados y usuarios finales, siendo así atractivo el país para inversiones en sectores estratégicos.</p>	<p>Situación actual</p> <p>A</p>	<p>Probable</p> <p>A</p>

E México cuenta con sistemas de infraestructura, transporte y almacenamientos de hidrógeno con base en modelos de negocio rentables y eficientes, mismos que son auspiciados en sinergia entre el sector privado y gobierno, permitiendo la llegada continua al consumidor final.

9 Desarrollo tecnológico del Hidrógeno

Situación actual Probable

SALIDA

A México es dependiente de la importación de tecnología para aprovechamiento del hidrógeno, con un número limitado de patentes ya que el sector de innovación, ciencia y tecnología no cuenta con recursos e interés en generar conocimiento hasta la fase de prototipos comerciales, por ende, se reducen los márgenes de utilidad y costos de implementación en los diferentes sectores.

A C

B En México derivado de la falta de financiamiento conjunto entre gobierno y privados, se gestionaron fondos internacionales para iniciativas de investigación y desarrollo en torno al uso del hidrógeno, logrando incipiente número de patentes buscando mayores fondos para prototipos de demostración y algunos productos en aplicaciones comerciales.

C México cuenta con financiamiento limitado y escasas iniciativas de investigación y desarrollo en torno al uso del hidrógeno, siendo así el número reducido de patentes con prototipos de demostración mínimos, teniendo una brecha amplia para lograr productos en aplicaciones comerciales.

D En México el gobierno e iniciativa privada, conforman fondos para realizar investigación y desarrollo en torno al uso del hidrógeno, aumentando el número de patentes con prototipos de demostración llevándolos en varios de estos a productos en aplicaciones comerciales para diferentes sectores productivos.

E El sector de la innovación, ciencia y tecnología que se encuentra en sinergia con gobierno y privados, han generado el cúmulo de patentes aprobadas y equipos para el aprovechamiento competitivo en aplicaciones comerciales dando la viabilidad a un mercado para consumidores en los ramos industriales, transporte, etc.

10 Petroleras y proveedores.

Situación actual Probable

CONFLICTO

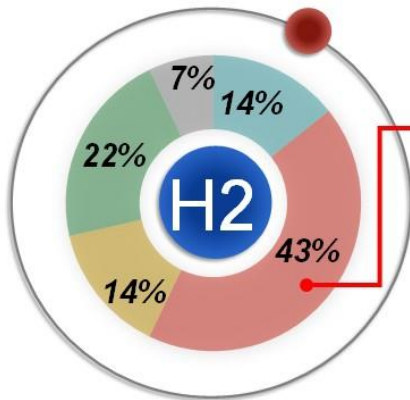
A	Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad no implementaron proyectos ni desarrollos en torno al Hidrógeno, derivado de la abundancia de hidrocarburos y las políticas del gobierno en el sector energético, por ende, sus desarrollos futuros, relaciones con proveedores y alianzas, se predisponen hacia estas fuentes de energía.	B	B
B	Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad concretaron estudios estratégicos de factibilidad y selección de proveedores con sitios propicios para el hidrógeno, sin embargo, se dificulta la implementación por la ausencia de fondos, justificación o dependencia de hidrocarburos.		
C	Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad establecieron proyectos de la mano de empresas tecnológicas que desarrollan energías alternativas, integrándolas a sus procesos de manera parcial.		
D	Dentro de Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad se crean áreas sustantivas que dieron apertura a proyectos específicos de energías alternativas en estrecha coordinación con proveedores tecnológicos especializados y proveyendo de estos energéticos de forma sostenida.		
E	Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad constituyen las entidades dominantes en torno a hidrocarburos y gas natural, realizando al interior de estas una reingeniería en la cual integran el hidrógeno en los procesos de producción y transporte, y realizando alianzas con los nuevos proveedores tecnológicos.		
11	Consumo de hidrógeno por sectores	Situación actual	Probable
	SALIDA		
A	México consume el 3% de hidrógeno para la generación de energía eléctrica, en tanto que sectores como el transporte o industrial, únicamente se dedican a infraestructura privada combinado con proyectos en operación y volúmenes reducidos.	A	A
B	México concreta un consumo del 4% de hidrógeno para la generación de energía eléctrica, los sectores de transporte e industrial solamente tienen acceso en los Estados colindantes con la frontera norte y solamente proyectos para el resto del país.		
C	Actualmente en México se consume el 5% de hidrógeno que se distribuye para la generación de energía eléctrica y sectores de transporte e industrial, sobre todo ubicado en Estados colindantes con frontera norte.		
D	Se aumenta gradualmente el consumo en México de hidrógeno llegando al 6% empleando para la generación de energía eléctrica un 5% y el restante en los sectores de transporte e industrial, distribuido en estados colindantes con la frontera norte y regiones productivas.		

E México consume el 7% de Hidrógeno para la generación de energía eléctrica, mientras que el restante se distribuye en los demás sectores, siendo a nivel América Latina el referente en adopción del vector.

12	Captura de carbón	Situación actual	Probable
	PODER		
A	Los procesos para la producción del hidrógeno que están en operación no cuentan con sistemas de captura de carbono, ya que las políticas y normatividad no obliga a su instalación, implicando un impacto en mantenimiento de un precio competitivo respecto a los hidrocarburos, aunque ello genere afectaciones ambientales.	A	A
B	En la producción del hidrógeno únicamente capturan el 10% del carbono, usando como justificación la falta de tecnología que permita ofrecer precios competitivos aún después de subsidios, lo que afecta su competitividad en el mercado respecto a los hidrocarburos.		
C	Las instalaciones para la producción del hidrógeno que están en operación cuentan con sistemas que capturan el 30% del carbono, ofreciendo precios competitivos después de subsidios, con lo cual se ha mantenido una participación en el mercado respecto a los hidrocarburos.		
D	Actualmente en la producción del hidrógeno que se encuentra operando captura el 30% del carbono, derivado del desarrollo tecnológico que incorporan el precio, resulta altamente competitivo sin necesidad de subsidios para ampliar su participación respecto a los hidrocarburos.		
E	La normatividad aplicada a los proyectos de infraestructura para la producción de hidrógeno, les obligan a contar con sistemas de captura de carbono, por lo cual, el 40% está libre de emisiones de carbono.		

Análisis de tendencias

Premisa 1: Modelo económico.



El modelo económico y financiero está excesivamente apoyado en remesas y precios de hidrocarburos dificultando el fondeo de proyectos e infraestructura, ocasionando un atraso en energía y sectores estratégicos bajando su competitividad.

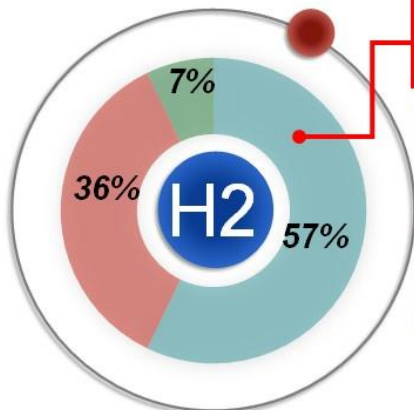
El modelo económico y financiero está soportado en hidrocarburos y remesas, no se cuenta con fondos para energías verdes y buscan financiamientos para ampliación de ejercicios de demostración.

El modelo económico y financiero funciona basado en la producción y aprovechamiento de hidrocarburos, es adecuado para la demanda del país, los proyectos de energía verdes son limitados.

El modelo económico y financiero cubre la demanda con hidrocarburos integrando fondos para el desarrollo de energías alternativas con volúmenes moderados para sectores estratégicos.

El modelo económico y financiero es eficiente permitiendo el desarrollo del país, generando infraestructura, productos y servicios para sectores estratégicos reduciendo la dependencia de hidrocarburos y remesas siendo competitivos.

Premisa 2: Precio del hidrógeno por tipo.



México cuenta con infraestructura para la producción de **hidrocarburos con precios** a niveles de años anteriores y la eliminación de subsidios, con incremento gradual generando desequilibrio en los sectores y cadenas productivas, sin cualquier esfuerzo de desarrollar energías alternativas.

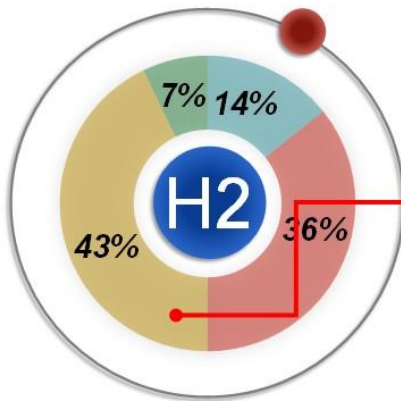
La infraestructura mantiene los **precios de hidrocarburos** a niveles de años anteriores, se retiran subsidios parcialmente para controlar al estado general de la economía y conteniendo el impacto en la competitividad.

México aun con infraestructura en **hidrocarburos, tiene altos precios** por la disminución de subsidios y apoyos gubernamentales, aunado a la competencia de energías alternativas que dificulta las estrategias en el sector energético.

La soberanía energética de México ha permitido estabilizar gradualmente el **precio de los hidrocarburos**, por lo que las energías alternativas tienen mayor atracción para su aprovechamiento.

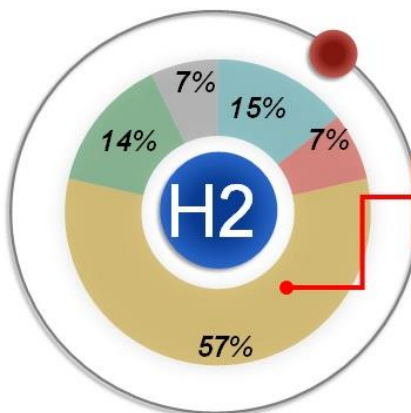
México logró la soberanía energética en **hidrocarburos con estabilidad de los precios** para los sectores industriales y de transporte, siendo así un pilar del desarrollo económico y social.

Premisa 3: Precio de hidrocarburos.



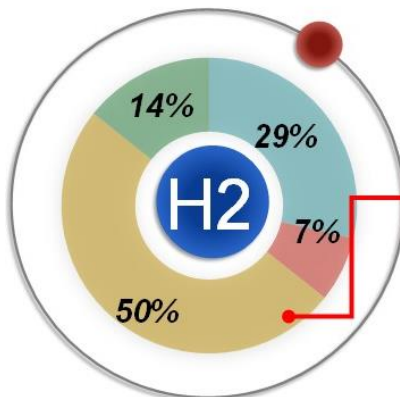
- México cuenta con infraestructura para la producción de **hidrocarburos con precios** a niveles de años anteriores y la eliminación de subsidios, con incremento gradual generando desequilibrio en los sectores y cadenas productivas, sin cualquier esfuerzo de desarrollar energías alternativas.
- La infraestructura mantiene los **precios de hidrocarburos** a niveles de años anteriores, se retiran subsidios parcialmente para controlar al estado general de la economía y conteniendo el impacto en la competitividad.
- México aun con infraestructura en **hidrocarburos, tiene altos precios** por la disminución de subsidios y apoyos gubernamentales, aunado a la competencia de energías alternativas que dificulta las estrategias en el sector energético.
- La soberanía energética de México ha permitido estabilizar gradualmente el **precio de los hidrocarburos**, por lo que las energías alternativas tienen mayor atractividad para su aprovechamiento.
- México logró la soberanía energética en **hidrocarburos con estabilidad de los precios** para los sectores industriales y de transporte, siendo así un pilar del desarrollo económico y social.

Premisa 4: Tratados internacionales y compromisos sostenibles.



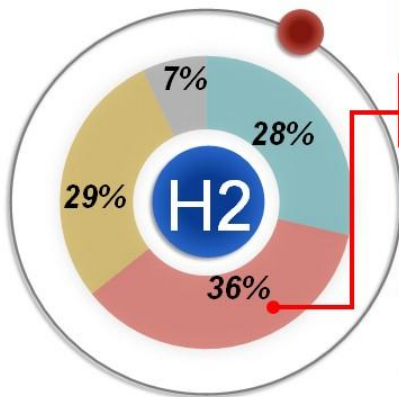
- El Gobierno federal ha sobreexplotado los hidrocarburos, dejando de lado procesos limpios y captura de carbono, las industrias y sectores productivos no han implementado modelos verdes incumpliendo los **tratados internacionales**.
- El Gobierno de México continúa con su política energética a base de hidrocarburos, produciendo con pocas limitaciones de emisiones a la atmósfera, siendo foco de organizaciones y **tratados internacionales**.
- El Gobierno de México mantiene una política energética basada en hidrocarburos, los esfuerzos son limitados en emisiones de gases a la atmósfera, con lo que no se cumplen los objetivos sostenibles de los **tratados internacionales** avanzando parcialmente.
- Con fondos tomados de la producción y procesamiento de hidrocarburos, se invierte en mejoras y recuperación parcial de carbono, cumpliendo limitadamente hasta en un 35% los compromisos y objetivos contraídos de los **tratados internacionales**.
- Se cumplen los **tratados y acuerdos internacionales** en reducción de carbono en un 50%, México muestra un firme compromiso en la mitigación del cambio climático.

Premisa 5: Política Pública, metas y recursos estratégicos en materia energética.



- La **política pública** está centrada en la producción y refinación de hidrocarburos, no hay financiamiento ni desarrollo tecnológico nacional en energías alternativas, obligando a la iniciativa privada y sectores, a trabajar en la promoción del hidrógeno con resultados limitados.
- La **política pública** se centra en hidrocarburos como **recurso estratégico**, internacionalmente energías alternativas ganan fuerza, obligando al país a desarrollar estudios y fondeo que aperture a los usuarios que demanden.
- La **política pública** opera con base en los hidrocarburos para industria y transporte con esfuerzos limitados en energías alternativas y sectores interesados, generando críticas a nivel internacional e incertidumbre frente a inversiones.
- La **política pública** incentivó exploración de energías alternativas y proyectos pilotos de hidrógeno, complementando la demanda de energía con hidrocarburos limitadamente, concretando planes para su adopción y potencialización.
- Dado el avance energético, tecnológico y de innovación, México cuenta con **políticas públicas** y programas estratégicos claves que integró en la matriz energética potencializando el hidrógeno a partir de fuentes primarias.

Premisa 6: Usos y producción de hidrógeno.



México no avanza en la implementación del **hidrógeno**, teniendo un 3% de **producción y uso** respecto a hidrocarburos, centrándose en la generación de energía eléctrica por las empresas del estado y marginal en sector transporte.

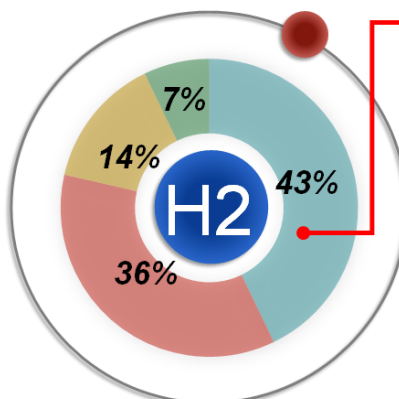
México tiene limitada participación en la **producción y uso del hidrógeno**, solo el 4% principalmente esfuerzos aislados de la iniciativa privada e incipiente producción de energía eléctrica del gobierno.

México tiene escasa participación en **uso y producción de hidrógeno** con el 6%, en su mayoría por la iniciativa privada mediante energía limpia principalmente de exportación, implementada limitadamente en ciertas regiones.

México logra poner en operación proyectos para la **producción de hidrógeno** equivalentes a los 8% de la energía demandada por el país distribuidos en generación de energía eléctrica y transporte.

México emplea el **Hidrógeno para uso industrial**, generación de energía eléctrica y transporte, ascendiendo al 10% de la energía demandada por el país, satisfaciendo por la producción nacional.

Premisa 7: Producción y demanda de hidrocarburos.



Esfuerzos para ampliación de infraestructura para **producción y refinación de hidrocarburos**, logra satisfacer 50% la **demanda** interna en el país, implicando importaciones sujetas a precios de mercado volátiles por la competencia con energías alternativas en el mercado internacional.

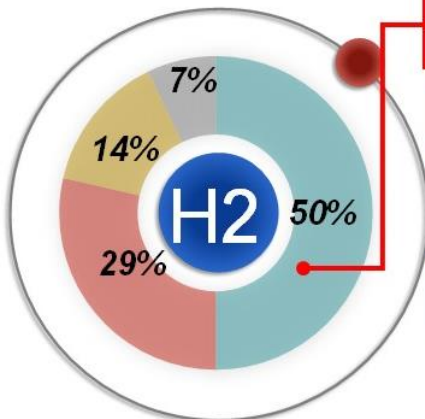
La **producción** interna alcanzó el 60% de la **demanda de hidrocarburos**, con un grado significativo de volatilidad de precios, derivado de importaciones para abastecer al país con variaciones en precios al no estabilizarse.

La **demanda interna de hidrocarburos** depende de proyectos actuales, con un 70% de la **producción** y un 30% sujeto a mercados internacionales causados por la incertidumbre en los precios en ciertas regiones.

Se cumple el 80% de la **demanda** interna mediante la **producción de hidrocarburos**, permitiendo al gobierno ejercer control en los precios, reduciendo de forma significativa la incertidumbre en el país.

La **producción de hidrocarburos** en México cubre el 90% de la **demanda** total de energéticos, logrando exportar un 10% por el desarrollo de la infraestructura y los sistemas existentes.

Premisa 8: Infraestructura de hidrógeno incluido el Transporte y almacenamiento.



Se cuenta con **infraestructura de Hidrógeno** limitada principalmente del sector privado localizándose en estados industrializados y el gobierno invierte únicamente en Hidrocarburos con débiles inversiones.

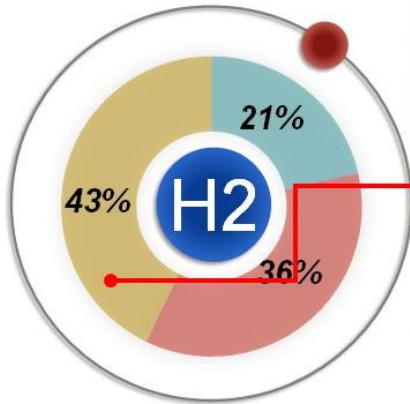
La incipiente **infraestructura de transporte y almacenamiento de hidrógeno** se ubica en algunos Estados limitadamente con pequeños volúmenes para uso regional.

Se cuenta con **infraestructura** desarrollada por gobierno e iniciativa privada para el **transporte y almacenamiento del hidrógeno**, permitiendo que algunos Estados cuenten con el energético para sus industrias y sectores productivos.

Se desarrolla **infraestructura para el transporte y almacenamiento de hidrógeno**, estando disponible en varios Estados y usuarios finales, siendo atractivo el país para inversiones en sectores estratégicos.

México cuenta con sistemas de **infraestructura, transporte y almacenamiento de hidrógeno** basados en modelos rentables y eficientes, auspiciados entre el sector privado y gobierno, permitiendo la llegada al consumidor final.

Premisa 9: Desarrollo tecnológico del Hidrógeno.



México depende de importación del **desarrollo tecnológico del hidrógeno**, está limitado de patentes, el sector de I+D+I no cuenta con recursos e interés en generar conocimiento, reduciendo utilidades para los diferentes sectores.

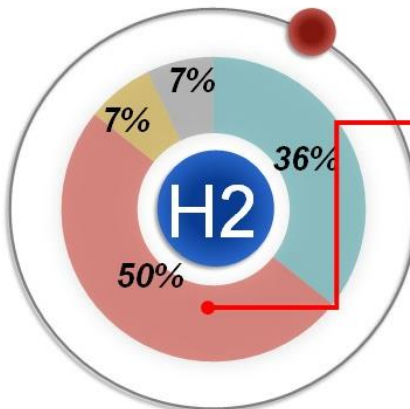
En México a falta de financiamiento entre gobierno y privados, se traen fondos internacionales para I+D+I para **desarrollo tecnológico** de usos del **hidrógeno**, logrando bajo número de patentes buscando fondos para prototipos y productos en aplicaciones comerciales.

México cuenta con financiamiento limitado y escasas iniciativas de I+D+I para **desarrollo tecnológico** de usos del **hidrógeno**, teniendo reducidas patentes con prototipos de demostración y un atraso para lograr productos en aplicaciones comerciales.

En México el gobierno e iniciativa privada, conforman fondos de I+D+I para **desarrollo tecnológico** de usos del **hidrógeno**, aumentando las patentes con prototipos de demostración, llevándolos en aplicaciones comerciales para sectores productivos.

El **desarrollo tecnológico del Hidrógeno** en el sector de I+D+I en sinergia con gobierno y privados, han generado patentes aprobadas y equipos para aprovechamiento en aplicaciones comerciales con viabilidad a consumidores en ramos industriales, transporte, etc.

Premisa 10: Petroleras y proveedores.



PEMEX y CFE no implementaron proyectos o desarrollos de Hidrógeno por la política energética basada en Hidrocarburos, sus desarrollos futuros, relaciones con **petroleras, proveedores** y alianzas, se enfocan a esas fuentes de energía.

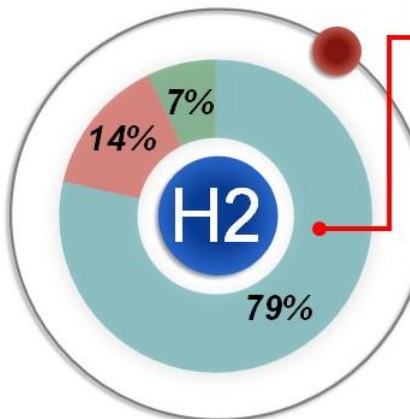
PEMEX y CFE concretan estudios estratégicos de factibilidad, selección de **proveedores** y sitios para el hidrógeno, dificultando implementar en ausencia de fondos, justificación o dependencia de hidrocarburos.

PEMEX y CFE establecieron proyectos de la mano de **proveedores** y empresas tecnológicas dedicadas en energías alternativas, integrándolas a sus procesos de manera parcial.

Dentro de PEMEX y CFE crean áreas sustantivas aperturando proyectos de energías alternativas en estrecha coordinación con **proveedores** tecnológicos especializados y proveyendo de estos energéticos de forma sostenida.

PEMEX y CFE son las entidades dominantes en hidrocarburos y gas natural, realizando una reingeniería para uso del hidrógeno en procesos de producción y transporte con alianzas de **proveedores** tecnológicos.

Premisa 11: Consumo de hidrógeno por sectores.



México **consume 3% de hidrógeno** para generación de energía eléctrica, en tanto que **sectores** como el transporte o industrial, se dedican a infraestructura privada combinado con proyectos en operación y volúmenes reducidos.

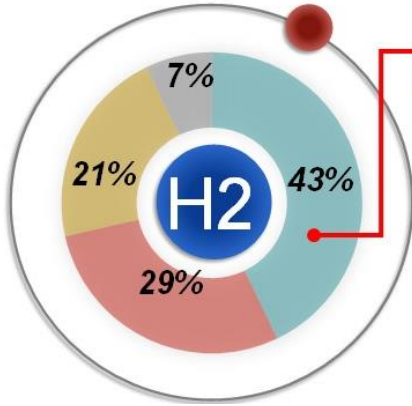
México **consume 4% de hidrógeno** para generación de energía eléctrica, los **sectores** de transporte e industrial tienen acceso en los Estados colindantes con la frontera norte y solamente proyectos para el resto del país.

México **consume 5% de hidrógeno** distribuido para la generación de energía eléctrica y **sectores** de transporte e industrial, sobre todo ubicado en Estados colindantes con frontera norte.

Aumenta el **consumo en México de hidrógeno** al 6%, para generación de energía eléctrica un 5% y el restante en sector transporte e industrial, distribuido en estados colindantes con frontera norte y regiones productivas.

México **consume 7% de Hidrógeno** para generación de energía eléctrica, el restante se distribuye en los demás **sectores**, siendo a nivel América Latina el referente en adopción del vector.

Premisa 12: Captura de carbón.



Los procesos de producción del hidrógeno no cuentan con **captura de carbono**, las políticas y normatividad no obliga a su instalación, teniendo impacto en mantenimiento de precios competitivos respecto a hidrocarburos, aunque genere afectaciones ambientales.

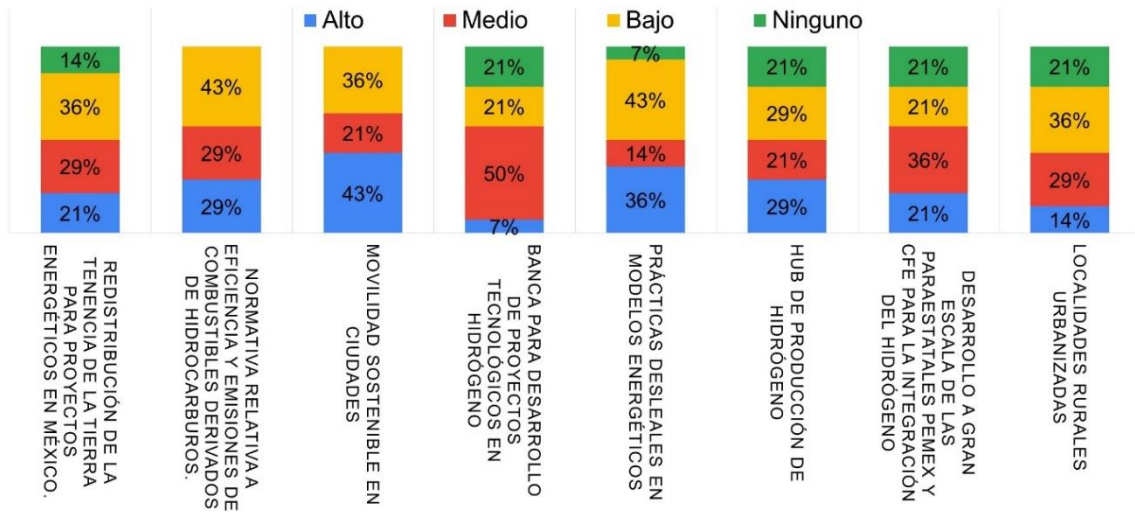
La producción del hidrógeno **captura 10% del carbono**, justificándose por la falta de tecnología que permita precios competitivos aún después de subsidios, afectando su competitividad en el mercado respecto a hidrocarburos.

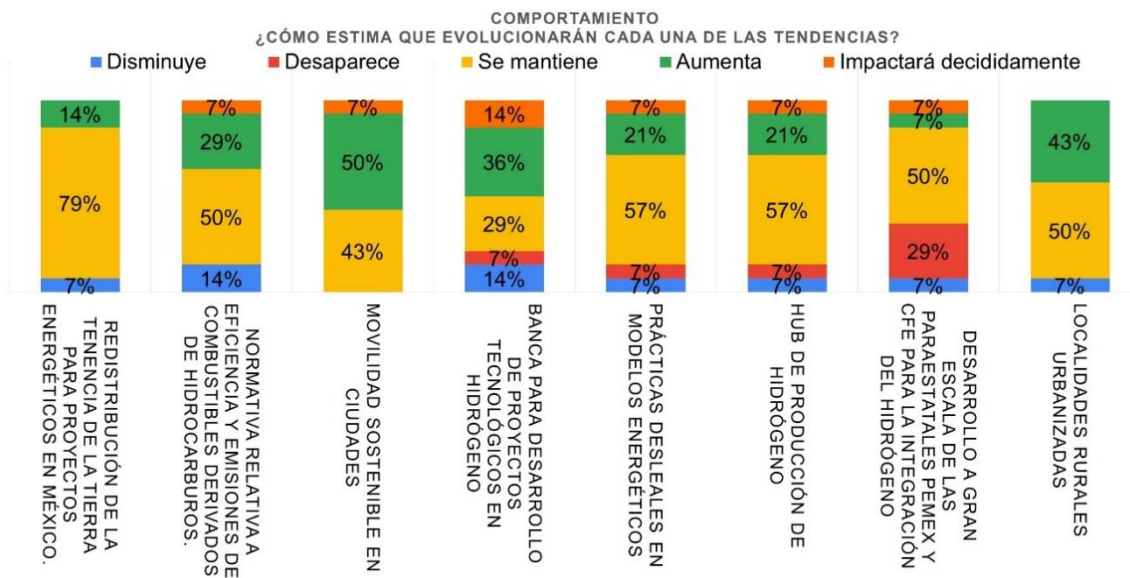
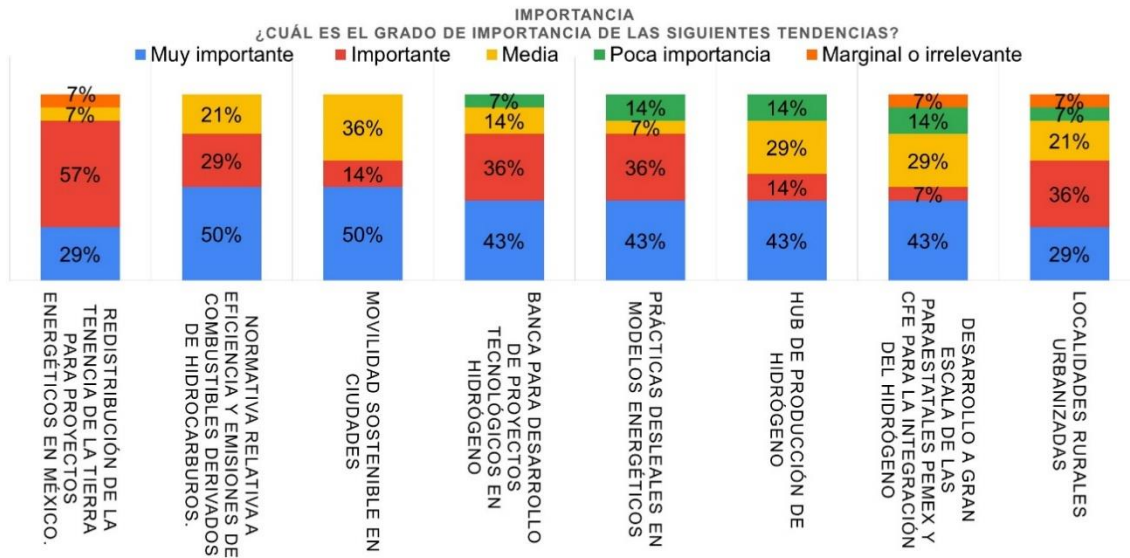
Las instalaciones para producción del hidrógeno, **capturan el 30% del carbono**, ofreciendo precios competitivos después de subsidios, manteniendo la participación en el mercado respecto a los hidrocarburos.

La producción del hidrógeno **captura el 30% del carbono**, derivado del desarrollo tecnológico que incorpora el precio, resulta competitivo sin necesidad de subsidios para ampliar su participación respecto a hidrocarburos.

La normatividad aplicada a los proyectos de infraestructura para la producción de hidrógeno, obligan a contar con **captura de carbono**, por lo cual, el 40% está libre de emisiones de carbono.

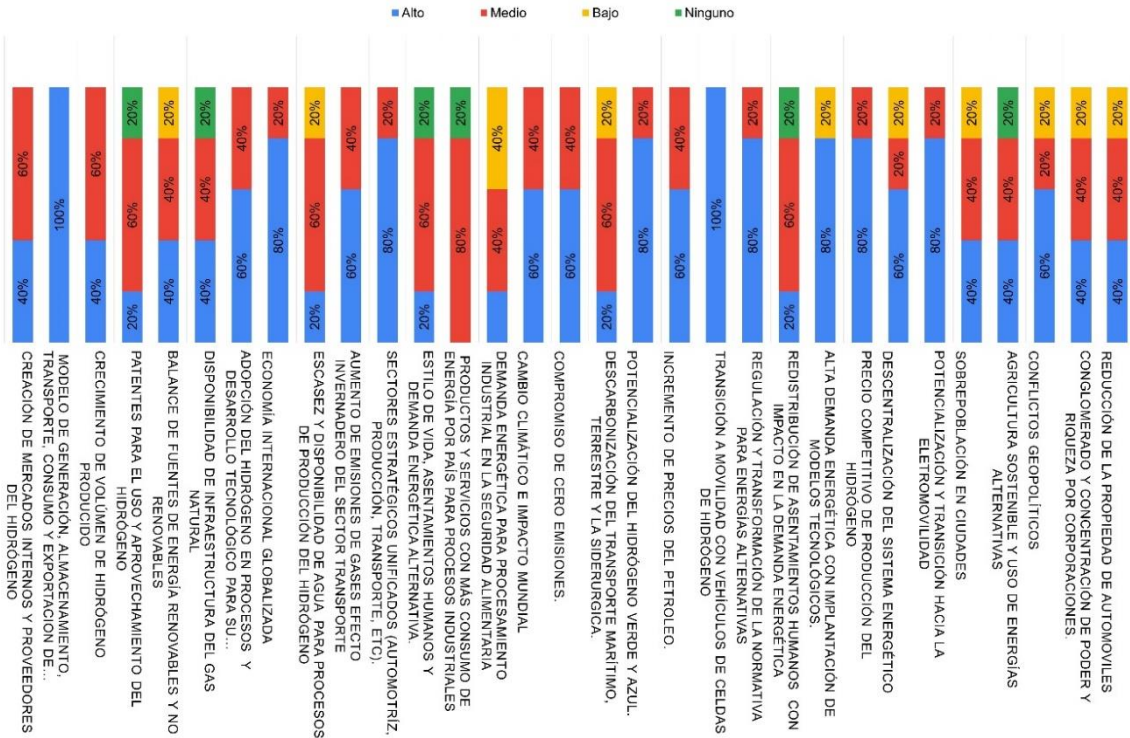
CONOCIMIENTO
¿CUÁL ES EL GRADO DE CONOCIMIENTO RESPECTO A LAS SIGUIENTES TENDENCIAS?



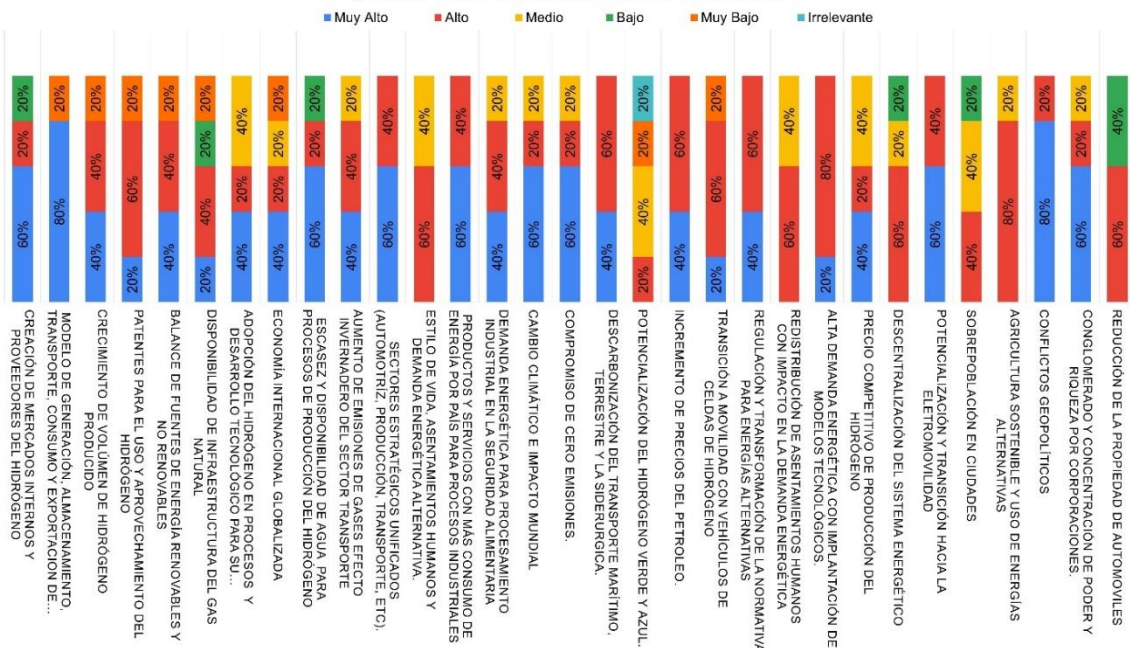




CONOCIMIENTO ¿CUÁL ES EL GRADO DE CONOCIMIENTO RESPECTO A LAS SIGUIENTES TENDENCIAS?



IMPORTANCIA ¿GRADO DE IMPORTANCIA DE LAS TENDENCIAS?



IMPACTOS ¿IMPACTOS QUE TENDRÁN LAS TENDENCIAS?

