

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO DE DERECHO  
ESPECIALIDAD EN DERECHO  
ENERGÉTICO

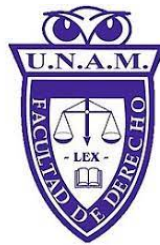


**REGULACIÓN DEL HIDRÓGENO  
EN MÉXICO**  
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
ESPECIALISTA  
EN:  
**DERECHO ENERGÉTICO**

PRESENTA:  
**LIC. MARÍA ISABEL SILVA PERDOMO**

TUTOR-DIRECTOR DE TESIS  
**LIC. PEDRO FRANCISCO GUERRA MORALES**



**CIUDAD DE MÉXICO, 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# REGULACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MÉXICO.

## ÍNDICE

1. Hipótesis.....	4
2. Introducción.....	4
3. Transición Energética.....	7
3.1 Porcentaje de energía por hidrógeno libre de combustible.....	8
3.2 Cálculo de la energía libre de combustible en procesos de aprovechamiento de hidrógeno.....	9
3.3 Determinación del porcentaje de energía libre de combustible.....	10
3.4 Importancia de la Transición energética.....	11
3.5 Reducción de emisiones de Dióxido de carbono para frenar el cambio climático.....	13
4. Transformación de energías fósiles a energías bajas o nulas en emisiones.....	15
4.1 Los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible.....	15
4.2 Estrategias para la Transición Energética en México.....	17
5. Emisiones contaminantes por sector.....	19
6. Contaminación en México.....	25
7. El hidrógeno en relación con el Acuerdo de Paris.....	27
8. Protocolo de Kioto.....	28
9. Hidrógeno, Combustible y conductor eléctrico.....	29
10. Regulación del Hidrógeno en México.....	30
11. Instituciones encargadas de la regulación energética en México.....	33
12. Marco normativo en México y de sus fuentes alternas.....	35
13. Tipos de generación de Hidrógeno.....	41
14. Características del hidrógeno.....	42
15. Cadena de valor del Hidrógeno, ¿De dónde se obtiene el Hidrógeno?.....	43
16. ¿Qué factor de planta tienen las Unidades de Generación de hidrógeno?.....	50
17. Hidrógeno verde como sustituto de Gas Natural.....	51
18. Hidrógeno Verde impulsado en el Transporte.....	52
19. Hidrógeno Verde en América.....	55
19.1 Agencia Internacional de Energía respecto al hidrógeno en Latinoamérica.....	56
19.2 Oportunidades políticas y económicas para el hidrógeno en Latinoamérica.....	59
20. Directiva de la estrategia de la Unión Europea respecto al hidrógeno.....	64
20.1 Clasificación y normas del hidrógeno en la Unión Europea.....	66
20.2 Aumento de la producción de hidrógeno.....	67
20.3 Participación ciudadana.....	69
20.4 Infraestructura del hidrógeno.....	69
20.5 Demanda del hidrógeno en la Unión Europea.....	70
20.6 Investigación, desarrollo, innovación y financiación del hidrógeno.....	71
20.7 Cooperación Internacional para el hidrógeno.....	72
20.8 Papel del hidrógeno en un sistema energético integrado.....	73
21. Congreso anual sobre electrólisis, por la Sociedad Mexicana del Hidrógeno.....	74
21.1 Procesos de electrólisis: Alcalina y PEM.....	76

21.2 Costes nivelados del hidrógeno LCOH.....	77
21.3 Participantes nacionales en el desarrollo del hidrógeno.....	79
21.4 Perspectivas del mercado del hidrógeno.....	80
21.5 Desafíos de los proyectos de hidrógeno en México.....	81
21.6 Políticas y programas de gobierno.....	81
21.7 Legislación Primaria.....	82
21.8 Generación de energía.....	82
21.9 Regulación de actividades peligrosas.....	82
22. Transporte del hidrógeno en México.....	83
22.1 Marco Regulatorio del Transporte por ductos en México.....	84
22.2 Otras alternativas para el Transporte de Hidrógeno.....	87
23. Permisos.....	88
24. Financiación.....	89
25. Carta Global del hidrógeno.....	89
26. Diplomacia Global del hidrógeno.....	91
27. Estrategias Mundiales para el hidrógeno.....	92
28. Estrategias y participación nacional para el uso del hidrógeno.....	94
28.1 Participación Privada.....	94
28.2 Participación Académica.....	95
29. Conclusiones.....	101
30. Bibliografía.....	103

# REGULACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MÉXICO.

## 1. Hipótesis.

Se requiere de normatividad específica del hidrógeno en México para regular su cadena de valor en sectores energéticos y para comercializar esta energía limpia a favor del cambio climático.

## 2. INTRODUCCIÓN

El sistema normativo energético mexicano se compone por diversas leyes; la “Ley de transición energética”, “Ley de la Industria Eléctrica”, “Ley de Hidrocarburos”, Los artículos de la carta magna 25, 27 y 28, entre otros en los que se identifica el hidrógeno en términos generales más no específicos como un gas extraíble similar a un hidrocarburo.

En la primera citada Ley de Transición Energética, en su artículo Décimo Sexto Transitorio se observa que para que el hidrógeno sea considerado Energía limpia para el citado reglamento, deberá cumplir con el 70% del poder calorífico inferior al de los combustibles utilizados en la producción de dicho elemento.<sup>1</sup>

El hidrógeno por ser un material sumamente inflamable, de alta precaución y detalle al extraerse de manera industrial (hidrógeno gris) en yacimientos de petróleo, necesita al igual que el Gas Natural Licuado (GNL) su debida regulación, ya que el hidrógeno al desprenderse de otros gases podría liberar grandes cantidades de metano en el proceso de transportación. Estas emisiones fugitivas<sup>2</sup> son en baja o alta medida un estándar de cautela que deberá tener en cuenta la legislación mexicana en la cadena de valor del elemento.

Existe un proyecto de NOM (Norma Oficial Mexicana) PROY-NOM-013-SECRE-2012 que trata los requisitos de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de terminales de almacenamiento de GNL que incluyen sistemas, equipos e instalaciones de recepción, conducción, vaporización y entrega de Gas Natural<sup>3</sup>; en la que en su Artículo 107.2.3 trata sobre la Identificación de peligros de Origen Interno debidos al GNL en la que se identifican los sistemas de descarga de buques, vehículos terrestres y los escenarios de alto peligro. En el inciso 107.2.4 se describen los peligros de origen interno que no son específicos del GNL en los que en el litoral “E” refiere al hidrógeno como un servicio y producto químico de alto riesgo.

---

<sup>1</sup> Ley de Transición Energética. DOF 24 de Diciembre 2015.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112838/Ley\\_de\\_Transicion\\_Energetica.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112838/Ley_de_Transicion_Energetica.pdf)

<sup>2</sup> Manual sobre el sector de la Energía. Emisiones fugitivas. GCE.  
United Nations Framework Convention on Climate Change.  
<https://unfccc.int/sites/default/files/8-bis-handbook-fugitive-emissions.pdf>

<sup>3</sup> Proyecto de Norma Oficial Mexicana, PROY-NOM-013-SECRE-2012.  
<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4793/sener/sener.htm>

Esto confirmando lo anterior, refiere tan sólo a un proyecto de norma, más no a su regulación específica.

Dentro de las características del hidrógeno como elemento, se pueden observar que es un elemento con alta, económica y fuerte fuente de energía, que es la gran apuesta moderna energética mundial por el beneficio que contrae al cambio climático. El hidrógeno es muy poderoso, posee (3) tres veces más energía que la gasolina, además de no liberar contaminantes.<sup>4</sup>

Nuestro planeta está conformado por 71% de agua<sup>5</sup>. Aspecto positivo para la producción de hidrógeno, ya que para producir 1 m<sup>3</sup> de hidrógeno se necesita 1 litro de agua aproximadamente. Teniendo en cuenta estas cifras, se necesitan alrededor de 11 litros (10-12) de agua para producir 1Kg de hidrógeno.

La última “Gran Transición Energética” abarcada por el carbón, gas y el petróleo ha dejado un inmenso consumo vehicular en el diesel, las naftas y las gasolinas, provocando altas externalidades y daños corrosivos para el medio ambiente dejando consecuencias como Gases de Efecto Invernadero (GEI), acelerando el calentamiento global, consecuentemente derritiendo los polos y aumentando el nivel del mar.

Las consecuencias por el uso de combustibles fósiles son irreparables para el medio ambiente y el planeta. Estas secuelas las podemos concebir a partir del uso de estos combustibles; se tendrá a cambio su agotamiento, la alteración del efecto invernadero, lluvia ácida, conflictos políticos, migración, conflictos bélicos, alteración económica entre países, y aumento de dióxido de carbono.<sup>6</sup>

En cuanto al límite de los combustibles fósiles: En un año, el ser humano consume lo que la naturaleza ha tardado millones de años en producir. Los combustibles fósiles son finitos, se consume a un ritmo más rápido del que se produce, y para su producción natural ha tardado millones de años. Si seguimos a este ritmo de consumo de petróleo, se calcula que en 100 años se habrán agotado todas las reservas mundiales.<sup>7</sup>

El oro negro ha provocado además desigualdad social. El petróleo, transformado y envasado en barriles, no sólo constituye una moneda o forma económica de transacción comercial entre países (adicional a los condicionales de la OPEP), también es de menester recordar que se trata de una materia prima limitada, fósil, agotable, contaminante.

---

<sup>4</sup> Hidrógeno Verde. BBC News. Verónica Smink , 31 de marzo 2021

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-56531777>

<sup>5</sup> E-project consulting. 26 de Diciembre del 2018.

<https://eprojectconsulting.wordpress.com/2018/12/26/legalizacion-pozo-sondeo-agua13/#:~:text=Entonces%20bien%2C%20el%20agua%20cubre,masa%20total%20del%20planeta%20Tierra.>

<sup>6</sup> Consecuencias del uso de combustibles fósiles. 18 de noviembre 2019. Twenergy.

<https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/medio-ambiente/la-electricidad-frente-al-combustible-2734/>

<sup>7</sup> Ídem

¿Y qué pasará cuando ya no se pueda comercializar con petróleo debido a su escasez?, Progresivamente se podrá observar: Los países altamente productores como Arabia Saudita, entre emiratos árabes, Estados Unidos, Rusia, Canadá Irak, China<sup>8</sup>, llevarán la batuta en los hidrocarburos, mientras el precio comercial de los barriles de petróleo en otros países en desarrollo se verán menos beneficiados, se volatizará el precio de la oferta mientras la crisis económica se expande.

El efecto invernadero es la capacidad que tiene la atmósfera de la tierra para retener calor, con el uso de combustibles fósiles se genera una alteración de esta retención, esto es a razón que los gases que hay en la atmósfera son transparentes debido a la radiación solar, pero opacos a la radiación infrarroja emitida por la tierra, es decir, que se retiene este calor entre la atmósfera y la tierra, acelerando el derretimiento de los polos y a su vez, extinguiendo especies naturales por el cambio de temperatura global. Si este fenómeno no llegase a alterarse, la temperatura normal de la tierra sería aproximadamente de 18 °C.<sup>9</sup>

La lluvia ácida producida por la combustión de fósiles libera gran cantidad de óxidos de azufre y nitrógeno que reaccionan con gases de la atmósfera, se desarrollan en forma de ácidos: sulfúrico y nítrico, e incrementan la acidificación del agua. Esta lluvia ácida también causa daños en la vegetación, acelera la contaminación del agua, de la tierra y corroe estructuras metálicas a mediano plazo, como las de los vehículos.<sup>10</sup>

Los conflictos políticos, junto con tensiones socioeconómicas generadas a partir del uso de combustibles fósiles son cada vez mayores; ya que los principales yacimientos de estos combustibles se encuentran en zonas privilegiadas del planeta, el control y explotación de estos yacimientos causa desigualdad social, guerras, migración, tensión política y económica.

En cuanto al desequilibrio social, existen evidentes diferencias entre países ricos y pobres derivados por el comercio de los combustibles fósiles: La cuarta parte de la población mundial consume las  $\frac{3}{4}$ 's partes del total de la energía primaria producida por combustibles fósiles en el mundo.<sup>11</sup>

La solución a estos problemas podría encontrarse en la transición energética. La utilización de energía eléctrica y de combustibles limpios es la clara optimización de

---

<sup>8</sup> Producción de Crudo. Energía y Clima Mundial, anuario estadístico 2021. Enerdata <https://datos.enerdata.net/petroleo-crudo/datos-produccion-energia-mundial.html>

<sup>9</sup> Información técnica sobre gases de Efecto Invernadero y el Cambio climático. Henry Oswaldo Benavides Ballesteros. Gloria Esperanza León Aristizabal. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>

<sup>10</sup> Agentes precursores de la lluvia ácida. IDEAM. Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales. Ministerio del medio ambiente, Colombia. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/los-agentes-precursores-de-la-lluvia-acida>

<sup>11</sup> Confirmadas las enormes diferencias en la huella energética que dejan ricos y pobres. Agencia Sinc. 16 de marzo del 2020 <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Confirmadas-las-enormes-diferencias-en-la-huella-energetica-que-dejan-ricos-y-pobres>

los recursos naturales, proporcionan grandes beneficios al medio ambiente, y cuidan el entorno y el legado de nuestras próximas generaciones.

Se podría llamar al hidrógeno “El oro blanco” o incluso los alquimistas le conocían por el nombre de “aire inflamable”<sup>12</sup>. Esta fuente de energía es la solución al cambio climático, es la alternativa de combustible más pura y benéfica para la economía y para beneficio de los ecosistemas. El hidrógeno frente a la voraz industrialización y el capitalismo desmejorado que deja el petróleo a diferencia del hidrógeno como muestra de generación limpia para hogares, familias y el medio ambiente. Para lograr la generación de energía por medio de este elemento y de manera abundante en México, se deberá tener alta influencia gubernamental, empresarial, política, económica y conciencia de consumo por parte de la sociedad; para estos efectos mencionados, es necesaria la correcta regulación del hidrógeno en México.

### **3. Transición energética:**

El ser humano depende de la energía, más aún en la época moderna. Siempre hemos necesitado de la energía para cocinar nuestros alimentos, alumbrarnos, cuidarnos, calentar o enfriar nuestro hogar.

Desde la revolución industrial e incluso un poco antes, se ha utilizado el combustible fósil como método energético altamente eficaz para la producción de energía; usándolo sin límites, nuestro planeta se enfrenta ahora en un problema de magna crisis: El calentamiento global.<sup>13</sup>

Durante siglos se ha dependido de los combustibles fósiles: Carbón, petróleo. Esta dependencia ha creado desigualdad social y económica, en el entendido que se han generado sistemas centralizados de generación y distribución, así como a la concentración de los bienes, favoreciendo a unos y perjudicando a otros.<sup>14</sup>

Con el aumento poblacional, cada vez está más difícil alcanzar la garantía de suministro energético, conseguir la sostenibilidad ecológica y que exista además un acceso justo a la energía. De no existir una transición o transformación energética, nuestro planeta desarrollará una atmósfera tóxica y altamente contaminada.

El desafío más importante que enfrenta la humanidad en el Siglo XXI, es resolver el problema del calentamiento global. La capacidad para absorber las emisiones de Gases efecto invernadero ya se empiezan a agotar y según el “Acuerdo de París” las emisiones contaminantes deben detenerse por completo para la década del 2040 al 2050. Se le conoce a esta transformación como la descarbonización del sistema energético.

---

<sup>12</sup> Química Inorgánica. 01 de septiembre de 1992. Bandres Unaune, Luis Iturria.  
<https://zientzia.eus/artikuluak/kimikaren-sorrera/es/>

<sup>13</sup> Principales problemas del uso de combustibles fósiles. 7 de marzo 2018.  
<https://www.ambientum.com/ambientum/energia/principales-problemas-del-uso-de-combustibles>

<sup>14</sup> Requisitos para una transición energética global. Bärbel Kofler y Nina Netzer. Noviembre 2014.  
<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00361.pdf>



Al extraer combustibles fósiles, como el gas de esquisto, gas de veta de carbón, gas en yacimientos de baja impermeabilidad, el hidrato de metano, petróleo, arenas bituminosas, el petróleo extraído de profundidades marinas, de los polos, o el gas licuado; generan grandes daños y transformaciones a la tierra, como en el caso del “fracking” o la fracturación hidráulica, donde el volumen de agua utilizado para esta practica, es relativo, sin embargo oscila entre los 10 y 15 millones de litros por pozo. Utilizando 10 veces más agua que el modo convencional de extracción.<sup>15</sup> (Un absurdo para el aprovechamiento de la energía, pudiendo utilizar esta misma agua como combustible por medio del hidrógeno); como es el caso de Canadá, donde se utiliza el método de extracción de petróleo por medio de arenas bituminosas y para lograr esto es necesario talar millones de árboles, y dejar “limpias” áreas de bosques ancestrales.<sup>16</sup>

En México por otro lado, se tiene un amplio marco regulatorio aplicable en función a la Transición Energética; es el caso que bajo la resolución del 22 de diciembre del 2016, la Comisión Reguladora de energía expide la disposición administrativa de carácter general en la que se contienen criterios de eficiencia y se establece la metodología de cálculo para determinar el porcentaje de energía libre de combustible en fuentes de energía y procesos de generación eléctrica, además contiene en sus disposiciones generales los alcances considerados como energía limpia, de acuerdo a lo establecido en el Artículo 3, fracción XXII de la Ley de la Industria Eléctrica.

En este sentido, en el país mexicano se aplicarán los criterios de eficiencia y la metodología a los generadores limpios y a la generación distribuida, determinando los porcentajes de energía libre de combustible:

Inciso de la fracción XXII del art. 3 de la LIE	Energías limpias (Art.3, fracción XXII, de la LIE)	Uso de combustible fósil		Porcentaje de ELC con respecto a la producción de energía eléctrica de la central	Criterios y metodología aplicables
		Sí	Parcial o total		
g)	La energía generada por el aprovechamiento del hidrógeno mediante su combustión o su uso en celdas de combustible, siempre y cuando se cumpla con la eficiencia mínima que establezca la CRE y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su ciclo de vida;	Sí	No aplica	En términos de la metodología	Caso IV

**Figura 1:** DOF 22/12/2016

Cabe resaltar que la misma resolución estima fórmulas y cálculos para la energía libre de combustible en tecnologías bajas en emisiones y centrales térmicas con captura de dióxido de carbono y gases contaminantes. Concretando así:

<sup>15</sup> ¿Qué es el fracking?. Not fracking Mexico  
<https://nofrackingmexico.org/que-es-el-fracking/>

<sup>16</sup> El vivir bien como respuesta a la Crisis Global. Richard Preston. 1994.  
[https://www.un.org/esa/socdev/unpfi/documents/Presentation%20by%20Govt%20of%20Bolivia%20\(Spanish\).pdf](https://www.un.org/esa/socdev/unpfi/documents/Presentation%20by%20Govt%20of%20Bolivia%20(Spanish).pdf)

### 3.1: Porcentaje de energía por hidrógeno libre de combustible:

Para el cálculo de la energía libre de combustible se consideran los siguientes aspectos:

**E**= Energía eléctrica neta generada en la central eléctrica durante el periodo “p” (MWh).

**FactormC** =Factor de emisiones de dióxido de carbobo por energía eléctrica generada en la central eléctrica medidas en el sitio de generación. (tCO<sub>2</sub>/MWh).

FactormRef= Factor de emisiones de dióxido de carbono por energía eléctrica generada por una central de referencia, que conforme a lo establecido en la LTE, será:

**FactormRef= 0.100 (tCO<sub>2</sub>/MWh).**

Teniendo en cuenta los aspectos del punto anterior, para el cálculo de la energía libre de combustible de la central eléctrica, sus emisiones deberán ser menores o iguales a las emisiones de la central de referencia, es decir, se deberá cumplir con la siguiente premisa<sup>17</sup>:

**FactormC < FactormRef**

Si se cumple el proceso de eficiencia anterior, entonces la energía libre de las centrales eléctricas, será igual a la energía eléctrica neta (Mwh), es decir:

**ELC=E**

Determinación del porcentaje de energía libre de combustible será del 100%.

**%ELC=100.**

En cuanto al aprovechamiento del hidrógeno, de la misma resolución, se aplicará esta metodología para procesos de producción de hidrógeno en su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica, a fin de calcular los porcentajes libres de combustible.

### 3.2 Cálculo de la energía libre de combustible en procesos de aprovechamiento de hidrógeno.

El hidrógeno es un elemento que no se encuentra libre en la naturaleza, requiere de extracción del mismo bajo los mismos estándares del upstream de los hidrocarburos. En este caso, para el cálculo de la energía libre de combustible en procesos de aprovechamiento de hidrógeno se considera el proceso de obtención del mismo elemento bajo los siguientes casos regulados:

---

<sup>17</sup> DOF. 22/12/2016 Resolución de la Comisión Reguladora de energía por las que se expiden las disposiciones administrativas de carácter general que contienen los criterios de eficiencia y se establecen las metodologías de cálculo para determinar el porcentaje de energías libres de combustible en fuentes de energía y procesos de generación eléctrica.

- I. A partir de los yacimientos que contienen combustibles fósiles,
- II. Mediante electrólisis.

Para el primer caso, para procesos de producción de hidrógeno que utilicen combustibles fósiles, se consideran los siguientes aspectos:

**ProdH2**=Producción de hidrógeno durante el periodo “P”

**PCH2**= El poder calorífico del hidrógeno. (MJ/Kg)

**F**= La energía de los combustibles fósiles empleados en el proceso de producción de Hidrógeno a lo largo del periodo “p”, medida sobre el poder calorífico inferior. (MJ)

**EH2**= La energía aprovechable del hidrógeno producido durante el periodo “p”. (MJ)

**EH2 = ProdH2 \* PC H2.**

Considerando los aspectos anteriores, se determina la eficiencia del proceso de producción de hidrógeno<sup>18</sup>:

**E3 H2** Eficiencia del proceso de producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles.

**NH2 = EH2/F**

La Comisión Reguladora de Energía considera que los procesos de producción de hidrógeno mediante electrólisis, utilizan como insumo la energía eléctrica generada por distintas fuentes y procesos, las cuales pueden ser limpias y fósiles. Cuando el hidrógeno es empleado en celdas de combustible para generar energía eléctrica, las emisiones son exclusivamente vapor de agua y calor, estos dos pueden ser altamente aprovechados eficientemente para segundas causas o del mismo hidrógeno como combustible.

### **3.3 Determinación del porcentaje de energía libre de combustible.**

Para determinar la energía limpia de combustible será necesario conocer lo siguiente:

**E**= La energía eléctrica neta, generada por el hidrógeno. (Combustión, ciclo determinado, o mediante celdas), durante un periodo “p” (MWh).

**ELNacional**= Relación entre la cantidad de energía eléctrica limpia y la generación de energía eléctrica total, ambas a nivel nacional, expresadas en porcentaje (%) tomando

---

<sup>18</sup> DOF. 22/12/2016 Resolución de la Comisión Reguladora de energía por las que se expiden las disposiciones administrativas de carácter general que contienen los criterios de eficiencia y se establecen las metodologías de cálculo para determinar el porcentaje de energías libres de combustible en fuentes de energía y procesos de generación eléctrica.

como referencia la información publicada en el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional más reciente.

Para procesos de producción de hidrógeno a partir de combustibles, se deberá cumplir con una eficiencia igual o superior al 70%, es decir:

Si  $NH_2 > 70\%$

Entonces la energía libre de combustible se calculará, según el proceso de producción de hidrógeno, conforme a lo siguiente:

Caso a) Si se cumple el criterio de eficiencia anterior, entonces:

**ELC= E**

**ELC= E\* ELnacional.**

En ese caso, para procesos de producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles que cumplan con el criterio de eficiencia, el porcentaje de energía libre de combustible será:

**%CELC= 100%**

Y para procesos de producción de hidrógeno mediante electrólisis, el porcentaje de energía libre de combustible será:

**%ELC=100%**

Y para procesos de producción de hidrógeno mediante electrólisis, el porcentaje de energía libre de combustible será de:

**%ELC= ELC/E**

### **3.4 Importancia de la Transición energética.**

Es fundamental transitar energéticamente de energías fósiles y contaminantes a nuevas formas energéticas como las energías renovables (En este caso la energía eólica, hidroeléctrica, solar, geotérmica o marina) o energías limpias, como es el caso del hidrógeno, de tal forma que se derive un modelo de desarrollo sostenible en la generación de energía.

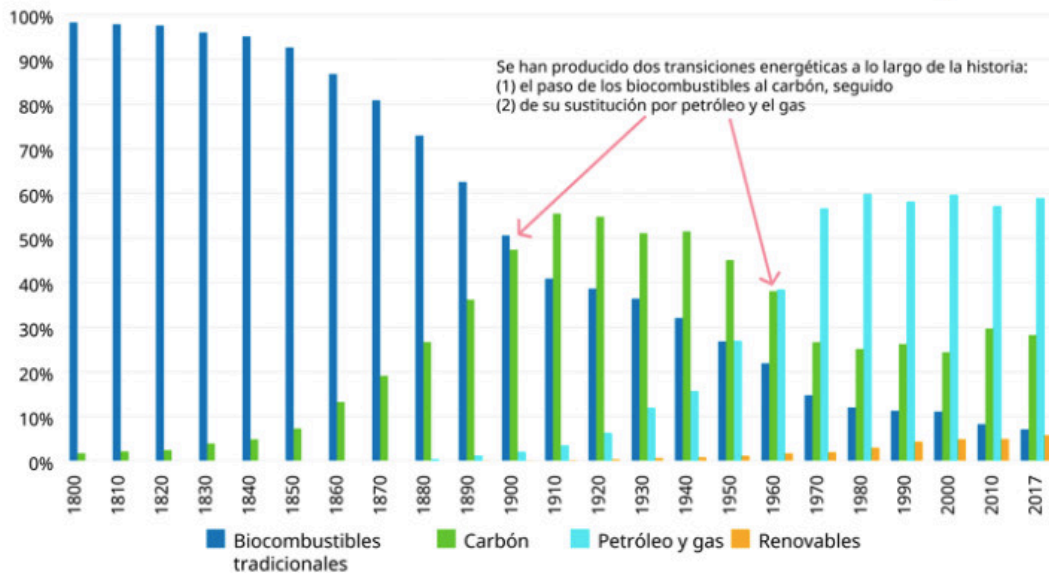


Figura 2: Schrouders. Enero 2019.

En este gráfico se demuestra que las energías renovables para el 2017 representaban el 30-40% del consumo total de la energía.

Las energías renovables y limpias se basan en una alternativa sostenible, democrática que fomenta el desarrollo: El camino a la electrificación. Con estas se generan menos emisiones que las fuentes convencionales de energía, aumentan la capacidad de empleo en el sector, y generan emisiones más amigables con el medio ambiente, mediante el proceso de la des carbonización.

La Ley de Transición Energética en México propone el aprovechamiento de la energía limpia, así como la reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores energéticos.<sup>19</sup> Es de orden público e interés social para el estado Mexicano, y se regula en los párrafos 6 y 8 del artículo 25 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, así como de los transitorios Décimo Séptimo y Décimo Octavo del Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Energía, publicado en el DOF el 20 de diciembre de 2013.

Para efectos de esta ley, debería ser de importancia el uso del hidrógeno verde, ya que dentro de sus objetivos se encuentra el aumentar la participación de energías limpias en la industria eléctrica, la reducción de emisiones, la eficiencia energética, la incorporación de las externalidades en la evaluación de costos de la industria eléctrica, establecer los mecanismos de promoción de energías limpias y reducción de

<sup>19</sup> DOF: Ley de Transición energética. 24 de diciembre del 2015

contaminantes, apoyar los objetivos de cambio climático en relación a la reducción de gases contaminantes y compuestos de efecto invernadero en generación de electricidad de forma más limpia.

Parte de la estrategia de la transición energética es buscar y atraer el beneficio económico y sustentable del aprovechamiento de las energías limpias y renovables a través de metas de eficiencia energética; para esto, la Secretaría de Energía, SENER, deberá considerar impulso a este proceso y a la generación con energías limpias que pueda ser soportado de manera sustentable bajo las condiciones económicas del mercado energético del país.<sup>20</sup>

También los participantes de la industria eléctrica, los Usuarios Calificados, los participantes del Mercado Eléctrico Mayorista ya sean de carácter público o particular, deberán estar obligados al cumplimiento de las metas de la Ley de Transición Energética; a su vez las empresas generadoras de energía mediante combustibles fósiles están obligadas a sustituir gradualmente los gases contaminantes según los límites establecidos por la SEMARNAT.

### **3.5 Reducción de emisiones de dióxido de carbono para frenar el cambio climático.**

El grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático depende de organismos como la organización de naciones unidas ONU, quien recomienda limitar las emisiones de Dióxido de carbono al 45% para el 2030, teniendo en cuenta que progresivamente este valor ascenderá a 0% para el 2050. Considerando estas expectativas, y en caso de ser alcanzados estos objetivos, se conseguiría que el calentamiento global no supere los 1.5 °C, reduciendo así las consecuencias derivadas del calentamiento atmosférico<sup>21</sup>.

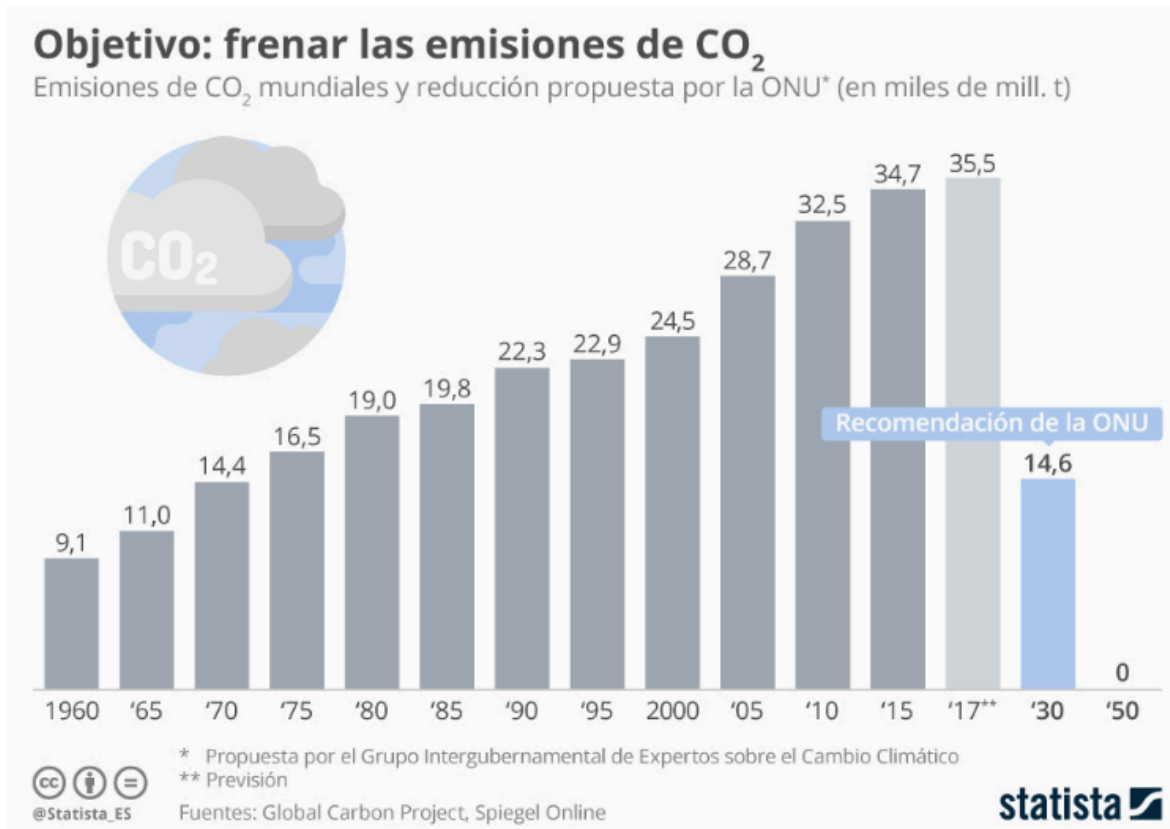
La Unión Europea es el organismo con más compromiso en la reducción de estas emisiones, tanto así que para el 2030, asume el compromiso de disminuir en un 35% de las emisiones de CO2 para el caso de coches y camiones. Este es un paso muy importante para Europa ya que se logrará acercarse más a las metas del acuerdo de París y a los objetivos establecidos por la ONU.

---

<sup>20</sup> Ley de Transición Energética: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>

<sup>21</sup> ¿Cuánto hay que reducir las emisiones de Dióxido de carbono para frenar el cambio climático? 10 de octubre del 2018.

<https://es.statista.com/grafico/15726/emisiones-de-co2-mundiales-y-la-reduccion-propuesta-por-la-onu/>



**Figura 3:** Detención de emisiones de CO<sub>2</sub> . 10 de Octubre del 2018. Spiegel Online.

Para que este panorama se transforme en una realidad el planeta entero debería migrar su consumo de combustibles fósiles a combustibles limpios (Gas natural o hidrógeno), uso de bicicletas o vehículos alternativos como patinetas eléctricas, motocicletas eléctricas, bicicletas eléctricas, incentivar el uso de transporte colectivo, u otro tipo de medios de transporte que beneficie estas estadísticas.<sup>22</sup>

Se estima según el Hydrogen Council que para el 2050 el hidrógeno podrá suplir más del 20% de la demanda de energía global, lo que evitará la emisión acumulada de 80 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>.<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Detención de emisiones de CO<sub>2</sub>. 10 de octubre del 2018. Spiegel Online.

<sup>23</sup> Hidrógeno, el gas doble filo en el cambio climático. 30 de noviembre del 2021.

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/hidrogeno-gas-doble-filo-cambio-climatico/>

## 4. Transformación de energías fósiles a energías bajas o nulas en emisiones.

### 4.1 Los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible.

Los combustibles fósiles abarcan el 80% de la demanda actual de la energía primaria a nivel mundial, y en el sistema energético es la fuente aproximadamente de dos tercios de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>.<sup>24</sup>

Las emisiones de están subestimadas pese a la proporción de emisiones generadas, a su vez, los combustibles de biomasa se usan actualmente para la calefacción y cocina a pequeña escala en todo el mundo. Estos combustibles son extremadamente ineficientes y contaminantes, sobre todo en lo que perjudican la calidad del aire interior en muchos países menos adelantados. El uso de biomasa renovable de esta manera es un problema para el desarrollo sostenible.<sup>25</sup>

Si la proporción actual de combustibles fósiles se mantiene y la demanda energética se duplica para 2050, las emisiones superaran la huella de carbono y se podrá emitir si se ha de limitar el aumento medio de temperatura a nivel mundial a 2°C. El nivel de emisiones tendría consecuencias climáticas desastrosas, devastadoras para el planeta.

Para reducir las emisiones contaminantes, no se deben excluir del todo el uso de combustibles fósiles, sino más bien disminuir el consumo energético de hidrocarburos además de compensarlos con otras energías renovables y limpias. La eficiencia energética y las energías renovables a menudo se posicionan como las únicas soluciones para cumplir los objetivos del cambio climático, pero no son suficientes. Será esencial incluir una expansión de la prohibición del carbono y se espera que como tecnología tenga como resultado una reducción del 16% de las emisiones anuales para el 2050. Esta última afirmación es sustentada por el Fifth Assessment Synthesis Report del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, que sugiere que la limitación de emisiones del sector energético sin secuestro de carbono aumente el coste de la mitigación del cambio climático en un 138%.<sup>26</sup>

Migrar energías fósiles a renovables de un momento a otro resulta inviable, por como están conformados los sistemas energéticos actuales en el mundo, como ejemplo, algunas industrias que se ocupan en la producción de cemento y acero, las emisiones proceden tanto del uso de la energía como del proceso de producción.

---

<sup>24</sup> El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Scott Foster y David Elzinga. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

<sup>25</sup> Ídem

<sup>26</sup> El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Scott Foster y David Elzinga. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>



Las tecnologías alternativas pueden reemplazar las técnicas actuales de producción, sin embargo aún no están a la escala necesaria, por lo que se espera que estas técnicas persistan de corto a mediano plazo.

La CEPE- Comisión Económica para Europa respalda un conjunto de recomendaciones sobre el secuestro del carbono en noviembre del 2014. Estas recomendaciones son las siguientes:

- A. Aceptar una vasta política ambiental, e instrumentos fiscales para fomentar el secuestro del carbono.
- B. Secuestrar o limitar el dióxido de carbono en todos los sectores industriales, incluida la producción de acero, productos químicos, refinamiento y electricidad.
- C. Crear apoyo entre gobiernos para colaborar, patrocinar y apoyar múltiples proyectos de demostración a gran escala.
- D. Permitir que el dióxido de carbono inyectado en los reservorios para la recuperación de hidrocarburos se trate y cuantifique como almacenamiento de manera constante.<sup>27</sup>

Se considera que si se toman en cuenta a cabalidad estas recomendaciones, los Estados miembros de las Naciones Unidas que todavía dependen en gran medida de los combustibles fósiles podrán participar en iniciativas mundiales en pro del cambio climático.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> no son la única cuestión que es necesario abordar en el uso de combustibles: La cadena de valor del combustible fósil emite 110 millones de toneladas de metano al año en producción, y el uso del gas natural, carbón y petróleo. Esto representa una gran proporción de todas las emisiones de metano al año en la producción y el uso de gas natural, carbón y petróleo conllevando gran proporción de las emisiones de metano al ser un potente gas de efecto invernadero; es por esto que deben reducirse considerablemente las emisiones de metano.<sup>28</sup>

El metano es el componente primario del gas natural y se emite a la atmósfera durante su producción y procesamiento, almacenamiento, transmisión y distribución; al año se pierde un 8% del gas durante la producción mediante fugas, escapes y quemaduras, lo cual tiene como resultado costes ambientales y económicos considerables. Durante la formación del carbón se quedan atrapadas bolsas de metano en su interior. Las actividades relacionadas con la minería del carbón, ejerce extracción de este gas contaminante. La producción, almacenamiento, refinamiento, transporte y

---

<sup>27</sup> El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Scott Foster y David Elzinga.  
<https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

<sup>28</sup> Ídem

almacenamiento de petróleo también genera emisiones de metano; incluso los gases almacenados en el ganado también caen en estos casos.<sup>29</sup>

Los retos clave para la gestión del metano consisten en controlar las fugas de este gas, minimizar los escapes del gas y vigilar la medición del mismo. Esto no solo proporciona beneficios económicos, sino que disminuiría considerablemente el aceleramiento del calentamiento atmosférico. Ignorar el papel de los combustibles fósiles en esta etapa podrá conducir efectos futuros negativos para la tierra.

El mundo desarrollado crea actividades económicas a partir de industrias fósiles, bajo este supuesto, la modernidad deberá transitar a energías limpias y renovables por lo que las grandes industrias deberán incentivar el uso de estas tecnologías verdes. También se debe hacer un incentivo social para que los mismos civiles se animen a usar un amplio espectro de los recursos que se tienen a su disposición: Eficiencia energética, energías renovables, uso sostenible de energías fósiles, creara un enfoque más equilibrado energéticamente.

Lograr incentivos fiscales de la mano con economía verde inclusiva, podría ser la solución más eficaz e inclusiva dentro de las grandes urbes, esto facilitaría la transición energética, la reducción de impactos ambientales, reducir las intensidades carbónicas y energéticas.

La creación de un sistema de energía sostenible para el futuro en la región de la CEPE implica una transición sustancial respecto a lo que tenemos en la actualidad, también basada en la modernidad, creatividad e innovación. La mejora de la eficiencia no sólo se relaciona con cuestiones del consumidor: hogares, vehículos, electrodomésticos; sino también con la eficiencia energética a nivel industrial: producción o generación, transmisión, y distribución.

## **4.2 Estrategias para la Transición Energética en México.**

En el sistema mexicano, se encuentra regulado en el DOF: 07/02/2020 el acuerdo por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la Estrategia de transición para promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más limpios, en términos de la Ley de Transición Energética; donde se demuestra toda la participación política del estado mexicano para establecer, conducir y coordinar la política energética del país, así como su desarrollo.

En dicho acuerdo se menciona el DOF del 24/12/2015 la Ley de Transición Energética, donde se regula el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de energía limpia, la reducción de emisiones contaminantes en la industria eléctrica y la competitividad de las industrias; a su vez en este mismo ordenamiento se refiere en sus artículos 14 y 28 que corresponde a la

---

<sup>29</sup> Tasa de fuga de metano en México es alarmante para el cambio climático. Revista Forbes. 28 de Julio del 2021. <https://www.forbes.com.mx/tasa-de-fuga-de-metano-en-mexico-es-alarmante-para-el-cambio-climatico-informe/>

SENER o Secretaría de Energía aprobar y publicar la estrategia de transición para promover el uso de tecnología más limpia.

La estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios se encuentran enmarcados dentro de los objetivos del acuerdo en mención:

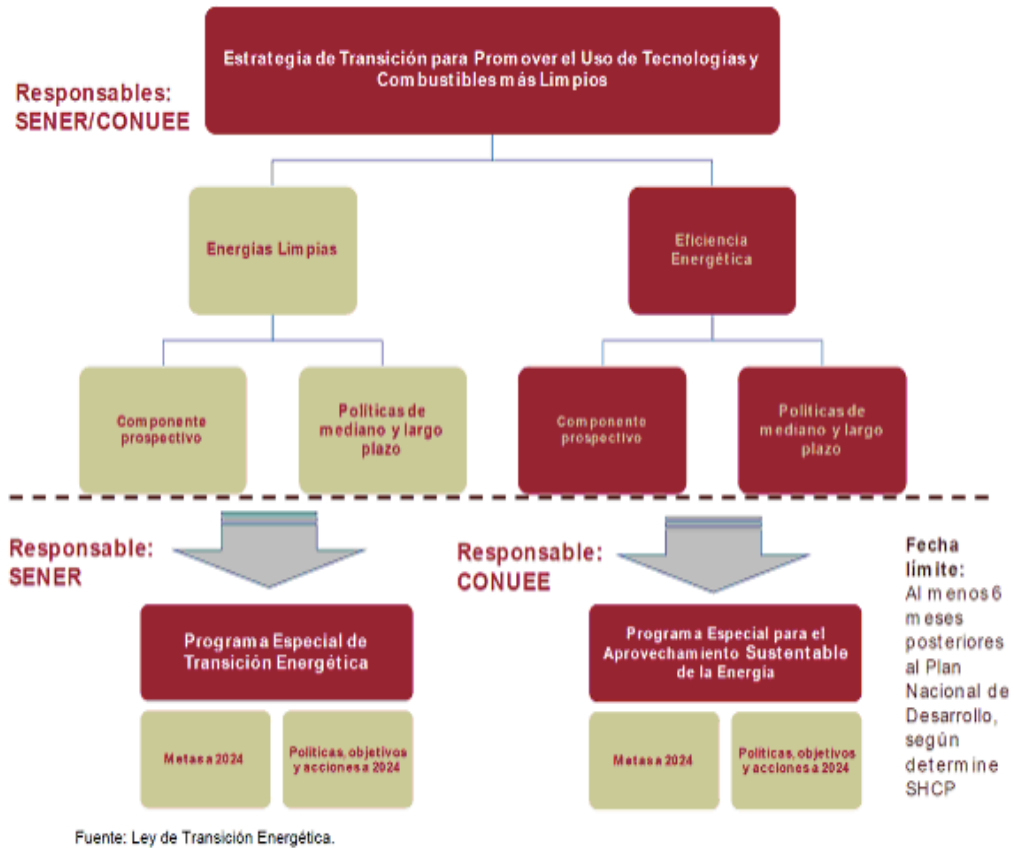
- I. Prever el incremento de participación de las energías limpias en la industria eléctrica con el objetivo de generar energías limpias y reducción de emisiones.
- II. Ejercer el cumplimiento de metas de energías limpias referidas en la Ley de Transición energética de una manera económica viable.
- III. Incorporar las externalidades de costos asociados a la operación y expansión de la industria eléctrica.
- IV. Explotar de manera sustentable la energía y ejercer la eficiencia energética.
- V. Reducción de emisiones contaminantes en la generación de energía eléctrica.
- VI. Apoyar los objetivos de la Ley General de Cambio Climático relacionado con las metas de reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica a los productos consumidos en el territorio nacional.
- VII. Promover el aprovechamiento energético de recursos renovables y residuos.
- VIII. Homologar las obligaciones establecidas en materia de energía limpia y reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica.

La visión y la estrategia del mismo acuerdo crea una visión para el 2050 en la que planea que México contará con un sector energético basado en tecnologías limpias, altamente eficientes y que promueva el desarrollo sustentable y la equidad social en el país; una oferta de energéticos de acceso universal, diversificada, suficiente, de alta calidad, a precios competitivos; una industria nacional de bienes de capital y equipos diseñados para las energías limpias que garanticen la eficacia de la Transición Energética Soberana y que contribuya a la seguridad energética del país.

La estrategia cuenta con tres puntos claves esenciales:

- A. Establecer las metas y hojas de ruta para su cumplimiento.
- B. Fomentar la reducción de emisiones contaminantes originadas por la industria eléctrica.
- C. Reducción la dependencia por los combustibles fósiles, como fuente primaria de energía.

Y los componentes de la estrategia serán la planeación para mediano plazo en un periodo de 15 años y de largo plazo en 30 años.



**Figura 4:** Ley de Transición energética.

En la imagen anterior se demuestran la alineación de metas de energías limpias y eficiencia energética en los instrumentos de planeación de la Ley de Transición Energética.

### 5. Emisiones contaminantes por sector.

Las emisiones de gases contaminantes siguen creciendo, al tiempo que el tiempo para reducirlas se acorta respecto a los acuerdos de cambio climático establecidos, es por esto que debemos conocer qué sectores industriales o no de la economía se involucran en el aceleramiento del calentamiento global.

A continuación, analizamos el desglose de las emisiones (gases de efecto invernadero totales, más dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) por sector.<sup>30</sup>

Sector por sector: ¿De dónde vienen las emisiones de gases contaminantes?

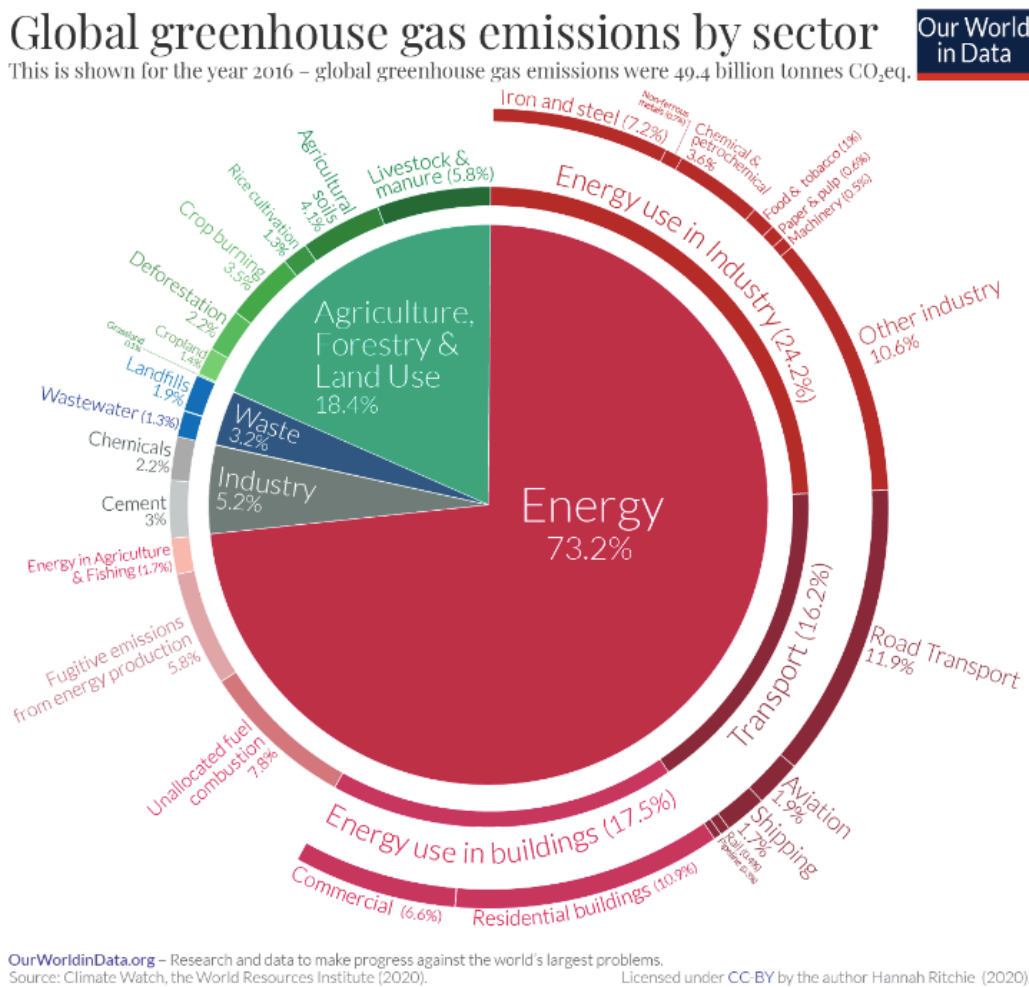
<sup>30</sup> Emisiones por Sector. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

Energía: Electricidad, calor y transporte 73%  
 Procesos industriales por procesos directos: 5.2%  
 Desperdicios: 3.2%  
 Agricultura, silvicultura y uso de la tierra: 18.4%

Para prevenir un cambio climático de manera acelerada, debemos reducir rápidamente las emisiones globales de gases de efecto invernadero. El mundo emite alrededor de 50 mil millones de toneladas de gases de efecto invernadero cada año. (Medidos en equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>eq).

Para descubrir cómo podemos reducir las emisiones de la manera más eficaz y qué emisiones pueden y no pueden eliminarse con las tecnologías actuales, primero debemos comprender de dónde provienen nuestras emisiones.

En esta sección se presenta sólo un gráfico importante: Muestra el desglose de las emisiones globales de gases de efecto invernadero en el segundo semestre del 2016. Este es el último desglose por sectores de gases efecto invernadero, publicado por Climate Watch y el World Resources Institute.



**Figura 5:** [Ourworldindata.org/emissions-by-sector](https://ourworldindata.org/emissions-by-sector)

El panorama general que se ve en este diagrama es que casi tres cuartas partes de las emisiones provienen del uso de la energía; casi una quinta parte de la agricultura y el uso de la tierra. Esto aumenta a una cuarta parte cuando consideramos el sistema alimentario en su conjunto, incluidos el procesamiento, el envasado, el transporte y la venta minorista; y el 8% restante de la industria y los residuos.

Cada una de estas descripciones de los ítems del círculo se basan en explicaciones proporcionadas en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5) y un documento de metodología publicado por el Instituto de Recursos Mundiales<sup>31</sup>; a la conclusión que las emisiones provienen de varios sectores: se necesita descarbonizar la economía.

Dentro del sector de la energía, que representa casi las tres cuartas partes de las emisiones, no hay una solución simple para la contaminación. Incluso si pudiéramos descarbonizar completamente el suministro de electricidad, también necesitaríamos electrificar toda calefacción y transporte por carretera para ver un avance significativo.

El uso de la energía respecto al cuadro y sus porcentajes sería así:

1. Energía (electricidad, calor, y transporte): (73%):

Hierro y acero (7.2 %) emisiones relacionadas con la energía de la fabricación de hierro y acero.

Química y petroquímica (3,6%) emisiones relacionadas con la energía de la fabricación de fertilizantes, productos farmacéuticos, refrigerantes, extracción de petróleo y gas.

Alimentos y tabaco: (1%): emisiones relacionadas con la energía de la fabricación de productos de tabaco y procesamiento de alimentos ( la conversión de productos agrícolas crudos en sus productos finales, como la conversión de trigo en pan.

Metales no ferrosos: (0.7%) Los metales no ferrosos son metales que contienen muy poco hierro: Esto incluye aluminio, cobre, plomo, níquel, estaño, titanio y zinc. La fabricación de estos metales requiere energía que genera emisiones.

Papel y celulosa (0.6%): emisiones relacionadas con la energía derivadas de la conversión de madera en papel y celulosa.

Maquinaria (0.5%): emisiones relacionadas con la energía de la producción de la industria.

---

<sup>31</sup> Emisiones por Sector. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

Otra(s) industria(s) (10.6%): emisiones relacionadas con la energía de la fabricación en otras industrias, incluidas la minería y las canteras, la construcción, los textiles, los productos de madera y el equipo de transporte (como la fabricación de automóviles).<sup>32</sup>

Transporte: (16,2%), esto incluye una pequeña cantidad de electricidad (emisiones indirectas), así como todas las emisiones directas de la quema de combustibles fósiles para las actividades de transporte de energía. Estas cifras no incluyen las emisiones de la fabricación de vehículos de motor u otros equipos de transporte.

Transporte por carretera (11,9%): De emisiones derivadas de la quema de gasolina y diésel de todas las formas de transporte por carretera que incluye automóviles, camiones, motocicletas y autobuses. El 60% de las emisiones del transporte por carretera provienen de los viajes de pasajeros (automóviles, motocicletas y autobuses); y el 40% restante del transporte de mercancías por carretera (camiones y camionetas). Esto significa que, si pudiéramos electrificar todo el sector del transporte por carretera y hacer la transición energética a electricidad totalmente descarbonizada, podríamos reducir de manera factible las emisiones globales en un 11.9%.

Aviación (1,9%): Emisiones de los viajes y el transporte de pasajeros y de la aviación nacional e internacional. El 81% de las emisiones de aviación provienen de los viajes de pasajeros; el 19% de la carga de la aviación de pasajeros, el 60% de las emisiones provienen de los viajes internacionales y el 40% de los nacionales.

Transporte marítimo (1,7%): Emisiones derivadas de la quema de gasolina o diésel en embarcaciones. Esto incluye viajes marítimos tanto de pasajeros como de carga.

Ferrocarril (0.4%): Emisiones de los viajes por ferrocarril de pasajeros y mercancías.

Oleoductos: (0.3%): Los combustibles y los productos básicos (por ejemplo, petróleo, gas, agua o vapor) a menudo deben transportarse (ya sea dentro o entre países) a través de oleoductos. Esto requiere insumos de energía, lo que genera emisiones. Las tuberías mal construidas también pueden tener fugas, lo que lleva a emisiones directas de metano a la atmósfera; sin embargo, este aspecto se incluye en la categoría de "Emisiones fugitivas de la producción de energía".

## 2. Energía usada en construcciones 17.5%:

Edificios residenciales (10.9%): Emisiones relacionadas con la energía de la generación de electricidad para iluminación, electrodomésticos, cocina, y calefacción para el hogar.

---

<sup>32</sup> Emisiones por Sector. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

Edificios comerciales (6,6%): Emisiones relacionadas con la energía de la generación de electricidad para iluminación, electrodomésticos, etc. Y calefacción en edificios comerciales como oficinas, restaurantes y tiendas.

Quema de combustible no asignado (7.8%): Emisiones relacionadas con la producción de energía a partir de otros combustibles, incluida la electricidad y el calor de la biomasa; fuentes de calor in situ; calor y energía combinados (CHP); industria nuclear; y almacenamiento hidroeléctrico por bombeo.

### 3. Emisiones fugitivas de la producción de energía: 5,8%

Emisiones fugitivas de petróleo y gas (3,9%): las emisiones fugitivas son las fugas a menudo accidentales de metano a la atmósfera durante la extracción y el transporte de petróleo y gas, de tuberías dañadas o mal mantenidas. Esto también incluye la quema internacional de gas en las instalaciones petroleras. Los pozos de petróleo pueden liberar gases, incluido el metano, durante la extracción, los productores a menudo no tienen una red existente de oleoductos para transportarlo, o no tendría sentido económico proporcionar la infraestructura necesaria para capturarlo y transportarlo de manera efectiva. Pero bajo las regulaciones ambientales, deben lidiar con eso de alguna manera: quemarlo intencionalmente es a menudo una forma barata de hacerlo.

### 4. Emisiones fugitivas del carbón (1,9%) las emisiones fugitivas son las fugas accidentales de metano durante la minería del carbón.

Uso de energía en agricultura y pesca (1,7%) emisiones relacionadas con la energía derivadas del uso de maquinaria en la agricultura y la pesca, como combustible para maquinaria agrícola y embarcaciones pesqueras.

5. Procesos industriales directos: (5.2%), Cemento (3%): el dióxido de carbono se produce como subproducto de un proceso de conversión química utilizado en la producción de “clínker”, un componente de este cemento. La producción de cemento también produce emisiones a partir de insumos energéticos; estas emisiones relacionadas se incluyen en “Uso de energía en la industria”.

6. Productos químicos y petroquímicos (2.2%): los gases de efecto invernadero se pueden producir como un subproducto de los procesos químicos; por ejemplo, se puede emitir CO<sub>2</sub> durante la producción de amoníaco, que se usa para la purificación de agua, productos de limpieza y como refrigerante, y utilizado en la producción de muchos materiales, incluidos plásticos, fertilizantes, pesticidas y textiles. La fabricación de productos químicos y petroquímicos también produce emisiones a partir de insumos energéticos; estas emisiones relacionadas se incluyen en “Uso de energía en la industria”<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> Emisiones por Sector. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>



7. Residuos (3.2%): Aguas residuales (1,3%): la materia orgánica y los residuos de animales, plantas, seres humanos y sus productos de desecho pueden acumularse en los sistemas de aguas residuales. Cuando esta materia orgánica se descompone produce metano y óxido nitroso.

8. Vertederos (1,9%): Los vertederos suelen ser entornos con poco oxígeno. En estos entornos, la materia orgánica se convierte en metano cuando se descompone<sup>34</sup>.

9. Agricultura, silvicultura y uso de la tierra: (18,4%).

El sistema alimentario en su conjunto, incluida la refrigeración, el procesamiento de alimentos, el envasado y el transporte, representa alrededor de una cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Pastizales (0.1%): Cuando los pastizales se degradan, estos suelos pueden perder carbono y convertirse en dióxido de carbono en el proceso. Por el contrario, cuando se restauran los pastizales ( por ejemplo, de tierras de cultivo), se puede secuestrar carbono. Por lo tanto la emisiones aquí se refieren al balance neto de estas pérdidas y ganancias de carbono de la biomasa de los pastizales y los suelos.

Tierras de cultivo (1,4%): Dependiendo de las practicas de gestión utilizadas en las tierras de cultivo, el carbono se puede perder o secuestrar en los suelos y la biomasa. Esto afecta el equilibrio de las emisiones de dióxido de carbono: se puede emitir CO<sub>2</sub> cuando se degradan las tierras de cultivo.

Deforestación (2,2%): Emisiones netas de dióxido de carbono por cambios en la cobertura forestal. Esto significa que la reforestación se cuenta como “emisiones negativas” y la deforestación como “emisiones positivas”. El cambio forestal neto es, por tanto, la diferencia entre pérdidas y ganancias forestales. Las emisiones se basan en las reservas de carbono perdidas de los bosques y los cambios en las reservas de carbono en los suelos forestales.

Quema de cultivos (3.5%): La quema de residuos agrícolas, vegetación sobrante de cultivos como arroz, trigo, caña de azúcar y otros cultivos, libera dióxido de carbono, óxido nitroso y metano. Los agricultores a menudo queman los residuos de los cultivos después de la cosecha para preparar la tierra para la nueva siembra<sup>35</sup>.

Cultivo de arroz (1.3%): Los arrozales inundados producen metano mediante un proceso llamado “digestión anaeróbica”. La materia orgánica del suelo se convierte en metano debido al ambiente de bajo oxígeno de los arrozales anegados.

El 1.3% parece sustancial, pero es importante poner esto en contexto: el arroz representa alrededor de una quinta parte del suministro mundial de suplemento en calorías y es un cultivo básico para miles de millones de personas en todo el mundo.

---

<sup>34</sup> Emisiones por Sector. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

<sup>35</sup> Ídem.

Suelos agrícolas (4,1%): El óxido nitroso, un gas de efecto invernadero fuerte, se produce cuando se aplican fertilizantes nitrogenados sintéticos a los suelos. Esto incluye las emisiones de los suelos agrícolas para todos los productos agrícolas, incluidos los alimentos para consumo humano directo, la alimentación animal, los biocombustibles y otros cultivos no alimentarios ( como el tabaco y el algodón).

Ganado y estiércol (5.8%): los animales principalmente rumiantes, como el ganado vacuno y ovino producen gases de efecto invernadero a través de un proceso llamado “fermentación entérica”, esto sucede cuando los microbios en sus sistemas digestivos descomponen los alimentos, producen metano como subproducto. Esto significa que la carne de res y el cordero tienden a tener una alta huella de carbono y consumir menos carne es una forma efectiva de reducir las emisiones, ya que no se explota el ganado y no se hace una demanda fuerte del alimento<sup>36</sup>.

El óxido nitroso y el metano se pueden producir a partir de la descomposición del estiércol animal en condiciones de bajo oxígeno. Esto ocurre a menudo cuando se maneja una gran cantidad de animales en un área confinada (como granjas lecheras, corrales de engorde de carne y granjas de cerdos y aves de corral), donde el estiércol se almacena típicamente en grandes pilas o se desecha en lagunas y otros tipos de sistemas de manejo de estiércol. Las emisiones de “ganado” aquí incluyen emisiones directas de ganado solamente; no consideran los impactos del cambio de uso de la tierra para pastos o alimentos para animales.

## **6. Contaminación en México.**

Según la revista Forbes para un artículo de Greenpeace, Ciudad de México ocupa el 5to lugar de 28 urbes en registrar 11,000 muertes por mala calidad de aire en la mitad del 2020. Debajo de esta se encuentran Tokio (Japón), Delhi (China), Shanghái (China) y Sao Paulo (Brasil).<sup>37</sup>

Esto equivale a un costo de recuperación de 5.5 millones de dólares, de acuerdo a un contador realizado por la asociación de Greenpeace; por su parte, Carlos Samayoa, especialista de ciudades sustentables en Greenpeace México, sostiene que las cifras evidencian que el trabajo para mejorar la calidad del aire en la ciudad deben fortalecerse las inversiones públicas y las regulaciones más estrictas.

En India, el activista Avinash Chanchal destaca la importancia de los gobiernos al reconstruir sus economías basadas en inversiones que se dirijan hacia la industria ecológica y sostenible, en vez de alargar la vida de la industria de los combustibles fósiles. Sostiene que invertir en energías renovables como la eólica y la solar son rentables a largo plazo, y que es hora inmediata de una transformación o transición

---

<sup>36</sup> Emisiones por Sector. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

<sup>37</sup> CDMX, la quinta urbe más contaminada del mundo, Greenpeace, revista Forbes.

<https://www.forbes.com.mx/noticias-cdmx-quinta-urbe-mas-contaminada-mundo-greenpeace/>

energética para alejarse de los combustibles fósiles para el bien de la salud y de la sociedad.

Así mismo, continúa la investigación de Greenpeace donde encuentran evidencias que demuestran que la exposición a la contaminación del aire aumenta el riesgo de contraer infecciones graves y muertes por Covid-19.



**Figura 6:** W radio, México en el ranking de los aires más contaminados del mundo, mayo 13 del 2019

La Worldwide Air Quality clasifica la ciudad mexicana con una calificación peligrosa de 868 puntos de nivel de calidad de aire; destaca que estos niveles implican efectos negativos en la salud para toda la población, los cuales son más graves en los grupos sensibles como lo son las personas con asma, rinitis alérgica, entre otros.<sup>38</sup>

Ya han existido alertas en Ciudad de México por contingencia ambiental, sin embargo no se ha declarado una emergencia urbano-sanitaria por este hecho, conociendo efectos pasados como han sido múltiples incendios ocurridos por ondas de calor en el valle de México, cambio climático, robo de gasolina y bruma.

Dentro de las prevenciones que ha adoptado la urbe, se encuentran el no fumar, no cocinar con leña, carbón o gas, sin embargo se espera que la ciudad adopte medidas regulatorias más estrictas para el uso de combustibles fósiles y la implementación de otras normativas donde las empresas mexicanas reduzcan su huella de carbono como elemento de su responsabilidad social corporativa.

---

<sup>38</sup> W Radio, México en el ranking de los aires más contaminados del mundo, mayo 13 de 2019.  
[https://wradio.com.mx/radio/2019/05/13/nacional/1557756715\\_180964.html](https://wradio.com.mx/radio/2019/05/13/nacional/1557756715_180964.html)

## 7. El hidrógeno en relación con el Acuerdo de París.

El acuerdo de París reconoce la necesidad de soluciones progresivas y eficaces ante la amenaza del cambio climático mundial basándose en criterios científicos, teniendo en cuenta las vulnerabilidades económicas frente a países menos desarrollados, generando acceso equitativo al desarrollo sostenible y erradicación de la pobreza.<sup>39</sup>

Admite que el cambio climático afecta a diferentes esferas del globo y que las partes involucradas deben respetar estas medidas compromisorias frente al clima para salvaguardar los derechos humanos, el derecho a la salud, de los pueblos indígenas, comunidades locales, los migrantes, niños, personas con discapacidad; así como la igualdad de género, los derechos de las mujeres y la equidad intergeneracional.

Los objetivos de este acuerdo son los de garantizar integridad y salud al ecosistema, a los océanos, protección de la biodiversidad accediendo al concepto de justicia climática, en cuanto la especial reducción a nivel internacional de los gases de efecto invernadero; también asegurar un desarrollo sostenible y generar esfuerzos para eliminar la pobreza.

Las metas primordiales son las de mantener la temperatura mundial por debajo de los 2°C respecto a los niveles pre industriales y mantener los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a menos de 1,5 °C también respecto a los niveles pre industriales; conociendo que con esto se reducirán las consecuencias del calentamiento global.

Para lograr esto, se deben encontrar sustitutos a los actuales sistemas energéticos, es decir en el caso de la sustitución de motores de explosión actuales que efectúan combustión de fósiles, siendo reemplazados por motores de agua que quemén hidrógeno para conseguir vapor de agua, sería una excelente medida para la disminución de la desertización de algunas partes del planeta al generar vapor de agua limpio y sin contaminantes. Pese a que no termine de solucionar el problema del todo, se podría pensar que podría resultar más provechoso usar este elemento para fines energéticos más útiles en comparación al gasto de agua que se usa desmedidamente en la inyección hidráulica o fracking.<sup>40</sup>

Se sabe que para la fracturación hidráulica se usan alrededor de 10 a 15 millones de litros de agua, es decir, 10 veces más agua que el modo convencional de extracción. Si se considera este volumen, el total de agua utilizado podría alcanzar los 56 mil 700 millones de litros. Para dimensionar esta cifra, es importante señalar que las necesidades mínimas de consumo por persona al día se estiman en 100 litros, por lo

---

<sup>39</sup> Acuerdo de París, versión en español, [https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_spanish.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish.pdf)

<sup>40</sup> Fracking uso y agua, 07 de Febrero del 2018. <https://agua.org.mx/actualidad/uso-del-agua-fracking/>

que la cantidad usada de agua para explotar estos pozos, sería suficiente para cubrir el consumo anual de más de 1 millón 500 mil personas.

Para adicionar esto, el fracking trae consigo problemas ambientales graves derivados de la contaminación del agua durante el proceso de extracción, también la liberación de gases de efecto invernadero más potentes que el bióxido de carbono, el incremento de actividad sísmica en zonas cercanas a la zona de extracción, la regulación del uso del agua, entre otras importantes.

Respecto al hidrógeno y su combustión, se puede asumir que no sólo es una solución más económica que las otras combustiones fósiles. Esto no resolverá del todo el problema global del cambio climático, pero definitivamente si hace parte crucial de la transición energética hacia el objetivo de producción de energías limpias.<sup>41</sup>

La naturaleza es sabia y el universo guarda un equilibrio perfecto, el método más eficaz de producir energía efectiva, económica y con cero contaminantes es la energía por hidrógeno, ya que es la materia más elemental que existe en el universo y, por lo tanto, la más abundante.

El hidrógeno podría cumplir con los objetivos a largo plazo referente a la temperatura promedio sugerida por el Acuerdo de Paris a fin de alcanzar una balanza entre las emisiones contaminantes desde la revolución industrial hasta el presente siglo; para esto, se deben desarrollar políticas justas en contribución al medio ambiente, al cambio climático, apoyo económico a países en desarrollo, proporcionar información cada 5 años sobre lo dispuesto en la decisión, contribuir a la reducción de los niveles de emisión entre las partes, aplicando las bases del acuerdo y produciendo mitigaciones globales de las emisiones mundiales.

## **8. Protocolo de Kyoto.**

El protocolo de Kyoto se celebró en Japón en 1997, reuniendo a representantes de todo el mundo por el compromiso en la reducción de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático y el calentamiento global. Este fue un proceso de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para lograr la reducción de CO<sub>2</sub> Dióxido de Carbono, CH<sub>4</sub> Gas metano, y N<sub>2</sub>O óxido nitroso, entre otros gases contaminantes.<sup>42</sup>

El objetivo principal de este acuerdo se basa en la reducción de un 7% de las emisiones; esto debido a que en 1998 los países industrializados aumentaron sus emisiones hasta un 10%, entre ellos Estados Unidos, quien sobrepasó los límites a un 20%. Las metas del protocolo son las de promulgar la disminución del cambio

---

<sup>41</sup> Acuerdos de Paris y el calentamiento Global. Luis Javier Cuenca López. file:///Users/mac/Downloads/Dialnet-AcuerdosDeParisYCalentamientoGlobal-6318068.pdf

<sup>42</sup> Protocolo de Kyoto. Manos unidas.

<https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/protocolo-kioto>

climático forzado del efecto invernadero, además de promover las energías limpias y un desarrollo sostenible.

## 9. Hidrógeno: combustible y conductor eléctrico.

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica. Es el elemento químico más ligero que existe, sus átomos están conformados por un protón y un electrón y es estable en su conformación como molécula biatómica ( $H_2$ ), sus estados normales de materia son: líquido, sólido y gaseoso, además de ser insípido, inodoro e incoloro.<sup>43</sup>

El elemento posee propiedades químicas que lo hacen especialmente apto para ser utilizado como combustible ya que tiene un poder energético por unidad de masa tres (3) veces mayor que la gasolina. Su almacenamiento, transporte y distribución es técnica y económicamente factible.<sup>44</sup>

El hidrógeno se puede almacenar en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. También puede distribuirse a través de gasoductos pudiendo ser sustituto del gas natural, no emite gases de efecto invernadero en su combustión. Puede encontrarse en el agua, el carbón o el gas natural. Pese a ser un elemento que se encuentra en casi toda la atmósfera terrestre, su obtención no es sencilla. Para obtener el hidrógeno mediante la descomposición del agua ( $H_2O$ ), hace falta separar las moléculas del oxígeno ( $O_2$ ) con las del hidrógeno ( $H_2$ ). El proceso más concurrente para esta obtención sería mediante la electrólisis.<sup>45</sup>

La electrólisis es un proceso que consiste en la descomposición del agua ( $H_2O$ ) mediante corrientes eléctricas de sustancias ionizadas denominadas electrolitos. La palabra electrólisis procede de dos fuentes “electro” que hace referencia a la electricidad y “lisis” que significa ruptura. En la electrolisis se desprende el oxígeno del hidrógeno. Es el procedimiento en el cual se podrían separar estos átomos para poder tener la fuente de hidrógeno.

Mediante el proceso de electrólisis se pueden descomponer diferentes compuestos en sus elementos como es el caso del hidrógeno. En la electrolisis del agua, el agua debe tener concentraciones de sales y algunos minerales; se debe utilizar corriente directa durante el proceso, y para obtener elementos químicos separados como el hidrógeno y el oxígeno, se puede aplicar agua dulce o salada. Del agua salada, se puede obtener Cloro e Hidrógeno en estado gaseoso.<sup>46</sup>

---

<sup>43</sup> ¿Qué es el hidrógeno?. Centro Nacional del Hidrógeno. <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>

<sup>44</sup> Implementación del Hidrógeno en la legislación mexicana para el desarrollo energético nacional. 20 de diciembre del 2015. José Juan Alvarado Flores, Jaime Espino Valencia. <http://ru.iiec.unam.mx/2877/>

<sup>45</sup> Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo. 8 de diciembre de 2019. National Geographic. Sergi Alcalde. [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo\\_14897](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897)

<sup>46</sup> Euston. Electrólisis. Gabriela Briceño V.

<https://www.euston96.com/electrolisis/#:~:text=Mediante%20el%20proceso%20de%20electr%C3%B3lisis,em>

También el gas natural se ha convertido en una fuente principal para la obtención del hidrógeno; según datos de la AIE, el 6% de la producción mundial de gas natural se destina a la producción de hidrógeno.<sup>47</sup>

## 10. Regulación del Hidrógeno en México.

México posee el reto de transitar hacia un nuevo sistema energético eficiente basado en recursos ambientales que permita eliminar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) junto a otros gases contaminantes: Monóxido de carbono CO, Óxidos de Nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), y el Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).<sup>48</sup>

En México, el marco institucional que regule la generación y utilización del hidrógeno, es muy limitado. Hay desconocimiento (o indiferencia) por parte del gobierno para el aprovechamiento energético de este gas como fuente de energía alterna; este país tendrá que superar grandes retos socio-político económicos para la implementación del H<sub>2</sub>, esto con fines tecnológicos con alto alcance energético, la inversión, costos elevados de producción, apoyo del gobierno, el consumo industrial por parte de la sociedad, la confianza en el H<sub>2</sub> como combustible.

En cambio, sí existen trabajos de investigación científica que giran en torno a la producción de hidrógeno, su almacenamiento y su aplicación en celdas de combustible, programas que promueven el uso de este elemento:

Estos son:

1. El boletín del hidrógeno, de la sociedad mexicana del hidrógeno
2. Proyecto de servicios integrales de energía
3. Proyecto de energías renovables a gran escala.
4. Programa transversal de vivienda sustentable
5. Programa de hipoteca verde.

En el Diario Oficial de la Federación, respecto al acuerdo por el cual la Comisión Reguladora de Energía interpreta las definiciones de petroquímicos y petroquímicos del art 4 de la Ley de Hidrocarburos, en su artículo sexto menciona que el azufre, el hidrógeno y el dióxido de carbono no constituyen petrolíferos ni petroquímicos, por lo que quedan sujetos a la regulación que corresponde aplicar a la CRE en términos de la Ley de Hidrocarburos, el reglamento de las actividades y demás actividades jurídicas.<sup>49</sup>

---

bellecerlo%20o%20evitar%20la%20corrosi%C3%B3n.&text=Mediante%20el%20proceso%20de%20electr%C3%B3lisis,embellecerlo%20o%20evitar%20la%20corrosi%C3%B3n.

<sup>47</sup> Energía a debate. 23 de marzo del 2021.<https://www.energiaadebate.com/energia-limpia/titulo-hidrogeno/>

<sup>48</sup> Principales contaminantes del aire. 21 de Septiembre del 2010.

<https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/calidad-del-aire/principales-contaminantes-del-aire>

<sup>49</sup> DOF: Acuerdo por el cual la CRE interpreta definiciones de petroquímicos y petrolíferos.




[https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5395730](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5395730)

Por su lado, la Ley de la Industria Eléctrica, en el Artículo 3 fracción XXII inciso G, declara que el hidrógeno es una energía limpia, al ser generada por el aprovechamiento del agua mediante su combustión o su uso en celdas de combustible, siempre y cuando se cumpla con la eficiencia mínima que establezca la Comisión Reguladora de Energía y los criterios de emisiones establecidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en su ciclo de vida.

En este sentido, la Comisión Reguladora de Energía, de la mano con otras potestades administrativas, económicas y políticas, deberá ejercer una legislación firme y segura en el campo del hidrógeno; esto con fines de seguridad y garantía en el suministro eléctrico y vehicular, lograr apertura de inversión extranjera y verificar los métodos de generación, transmisión y distribución del elemento. Por lo pronto, dentro del marco regulatorio mexicano, el hidrógeno se encuentra de la siguiente manera:

<b>Ley de la Industria Eléctrica</b>		
Última actualización	El hidrógeno se menciona en:	La mención dice:
 03-Mar-2021	 - Artículo 3 - Numeral XXII - Energía limpia - Opción (g)	(Se considera como una energía limpia): La energía generada por el uso de hidrógeno a través de su combustión o su uso en pilas de combustible, siempre y cuando la eficiencia mínima establecida por la CRE y los criterios de emisión establecidos por la SEMARNAT en su ciclo de vida.
<b>Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios</b>		
Última actualización	El hidrógeno se menciona en:	La mención dice:
 07-Feb-2020	- Bioenergía - 6.1.2 Energía limpia - 6.1 Rutas de acción estratégica - 6. Objetivos de generación de energía limpia	(Tabla 19): Principales tecnologías eficientes para el uso de bioenergía: Gasificación de biomasa (Baja TRL y adopción nula en México)



		
Programa Sectorial de Energía		
Última actualización	El hidrógeno se menciona en:	La mención dice:
 08-Jul-2020	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 6. Fortalecer el sector energético nacional para promover el desarrollo</li> <li>- 6.6 Pertinencia del objetivo prioritario</li> </ul>	Aprovechar, de manera sostenible, todos los recursos energéticos de la Nación... Además, explorar el uso de otras fuentes de energía, como el hidrógeno.
Directrices para la emisión y adquisición de CEL's		
Última actualización	El hidrógeno se menciona en:	La mención dice:
 21-Ene-2019	 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Punto 14 del acuerdo - Título 6o - Caso IV</li> </ul>	Energía producida por el uso de hidrógeno a través de su combustión o su uso en celdas de combustible, siempre y cuando se cumpla con la eficiencia mínima establecida por el CRE y los criterios de emisión establecidos por la SEMARNAT en su ciclo de vida.

**Figura 7.** Marco Regulatorio Mexicano para el Hidrógeno.  
 Hidrógeno verde en México.GIZ.

[https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81geno\\_AE\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_I.pdf)

Por otra parte, en la medida en que el hidrógeno entra dentro de la regulación existente de los mercados del gas y de la electricidad, existen otras autoridades competentes<sup>50</sup> en el sector energético que le competen:

- a. Secretaría de Energía
- b. Comisión Reguladora de Energía.
- c. Comisión Nacional de Hidrocarburos
- d. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.
- e. Secretaría de Comunicaciones y Transporte.
- f. Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales,
- g. Secretaría de Finanzas y de Crédito Público.

## **11. Instituciones encargadas de la regulación energética en México.**

México cuenta con el la SENER, CENAGAS, el CENACE, CONUEE, CRE, CFE, entre otras dependencias públicas que hacen efectivo el control de la energía y del gas en el país. Administran el aprovechamiento sustentable de la energía y su balance como transporte y almacenamiento. Estas deberán dar detalle de sus actividades respecto a las disposiciones reglamentarias para el desarrollo eficiente de la generación limpia.

En detalle:

La Secretaría de Energía (SENER) conduce la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiera el desarrollo de la vida nacional. Dentro de las propósitos de la Secretaría de Energía se encuentran el crear acceso pleno a los insumos energéticos a precios competitivos; con empresas públicas y privadas de calidad mundial, operando dentro de un marco legal y regulatorio adecuado; e impulsar el uso eficiente de la energía en cuanto a temas de investigación, desarrollo, técnicos y tecnológicos; con la meta del uso de fuentes alternativas de energía y la seguridad de suministro.<sup>51</sup>

El Centro Nacional de Control de Gas Natural (CENAGAS), creado en agosto del 2014, es un organismo descentralizado de la Administración Pública Federal, sectorizado a la Secretaría de Energía. Para el cumplimiento de su objeto, opera con 2 objetivos: Actor de Gestor del Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural (SISTRANGAS), el segundo como transportista de gas natural operando y manteniendo ductos propios.<sup>52</sup>

---

<sup>50</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next? Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

<sup>51</sup> SENER ¿Qué hacemos? <https://www.gob.mx/sener/que-hacemos>

<sup>52</sup> CENAGAS. ¿Qué hacemos? <https://www.gob.mx/cenagas/que-hacemos>

El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) es un organismo público descentralizado cuyo objeto es ejercer el control operativo del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), la operación del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y garantizar la imparcialidad en el acceso a la Red Nacional de Transmisión (RNT) y a las Redes Generales de Distribución (RGD).<sup>53</sup>

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que fue creada a través de la Ley para el aprovechamiento sustentable de la Energía publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de noviembre del 2008, y su función es la de hacer promoción eficiente a la eficiencia energética y fungir como órgano técnico en materia del aprovechamiento sustentable de la energía.<sup>54</sup>

La Comisión Reguladora de Energía (CRE) es una dependencia de la Administración Pública Federal Centralizada, con carácter de Órgano Regulador Coordinado en materia Energética, como se establece en el párrafo 8vo del artículo 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. La CRE posee autonomía técnica, operativa y de gestión, cuenta con personalidad jurídica propia y capacidad para disponer de los ingresos que deriven de las contribuciones y contraprestaciones establecidas por los servicios que preste conforme a sus atribuciones y facultades.

A su cargo se le dan las atribuciones que le encomiendan la Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética (LORCME), la Ley de Hidrocarburos, La ley de la Industria Eléctrica, la Ley de la Transición Energética, La Ley General de Cambio Climático, y las demás disposiciones y normativas aplicables, a fin de promulgar el desarrollo eficiente de la industria, promover la competencia del sector, proteger los intereses de los usuarios, propiciar una adecuada cobertura nacional y atender a la confiabilidad, estabilidad y seguridad en el suministro y la prestación de servicios.<sup>55</sup>

La Comisión Federal de Electricidad (CFE), es una empresa pública estatal (EPE), que ofrece el servicio público de energía eléctrica, servicio fundamental para la energía y desarrollo de México. Es una empresa productiva del estado, con personalidad jurídica propia, que goza de autonomía técnica, operativa y de gestión, conforme a lo dispuesto en la Ley de la Comisión Federal de Electricidad.<sup>56</sup> La CFE se encargará de producir el 54% de la energía generada del país, para garantizar el abastecimiento y el control de un insumo necesario para la actividad social y económica de la energía eléctrica del país mexicano.<sup>57</sup> Por su parte, para la colaboración de generación eléctrica, se espera que el sector privado aporte hasta en un 46% en la generación de esta actividad.

---

<sup>53</sup> CENACE ¿Qué hacemos? <https://www.gob.mx/cenace/que-hacemos>

<sup>54</sup> CONUEE ¿Qué hacemos? <https://www.gob.mx/conuee/que-hacemos>

<sup>55</sup> CRE ¿Qué hacemos? <https://www.gob.mx/cre/que-hacemos>

<sup>56</sup> La Comisión Federal de Electricidad, Empresa Productiva del Estado

<sup>57</sup> El Ejecutivo Federal presenta iniciativa de reforma para garantizar la seguridad energética de México. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2336>

## **12. Marco normativo en México y de sus fuentes alternas.**

La normatividad mexicana encuentra sus fuentes en la ley, la costumbre y la jurisprudencia y los principios generales del derecho bajo la estructura de gobierno y los poderes legislativo, ejecutivo y judicial.

La constitución es la ley suprema, no existe nada por encima de ella, ni nada en contra. No obstante, este poder absoluto del constituyente del que emana la Constitución, no tiene límites, en este caso la carta magna debe reflejar los factores reales del legado de este poder y establecer los principios fundamentales de la sociedad; a su vez ser el derecho del Estado para que el Estado sea de Derecho, bajo las palabras de Felipe Tena Ramírez.<sup>58</sup>

La jerarquía del orden normativo nacional queda establecido. En la cúspide de la Constitución, la ley primaria y por debajo las leyes secundarias que en ningún caso pueden ser inconstitucionales o constitucionales, en caso de controversias, valdría prioritariamente la de superior jerarquía y la ley secundaria perdería validez y aplicación.

Los Estados Unidos Mexicanos cuentan con una reforma constitucional del 10 de junio del 2011, en la que los tratados internacionales se encuentran jerárquicamente por debajo de la constitución, sin embargo, las normas de derechos humanos establecidas en los tratados, luego que fueran adheridas al ordenamiento jurídico interno por los causes constitucionales, se convierten en parte de la Constitución y gozan de relevancia constitucional; sólo que esto ocurre respecto a la normatividad internacional que reconoce los derechos humanos, no así respecto de los propios tratados.<sup>59</sup>

Los derechos humanos reconocidos en la Constitución y en los tratados internaciones de los que México forma parte en un conjunto único de derechos, se basan en principios de interdependencia e indivisibilidad que consagra el artículo primero de la carta magna, ese catálogo único de derechos humanos constituye el parámetro de validez de todo el orden jurídico mexicano.<sup>60</sup>

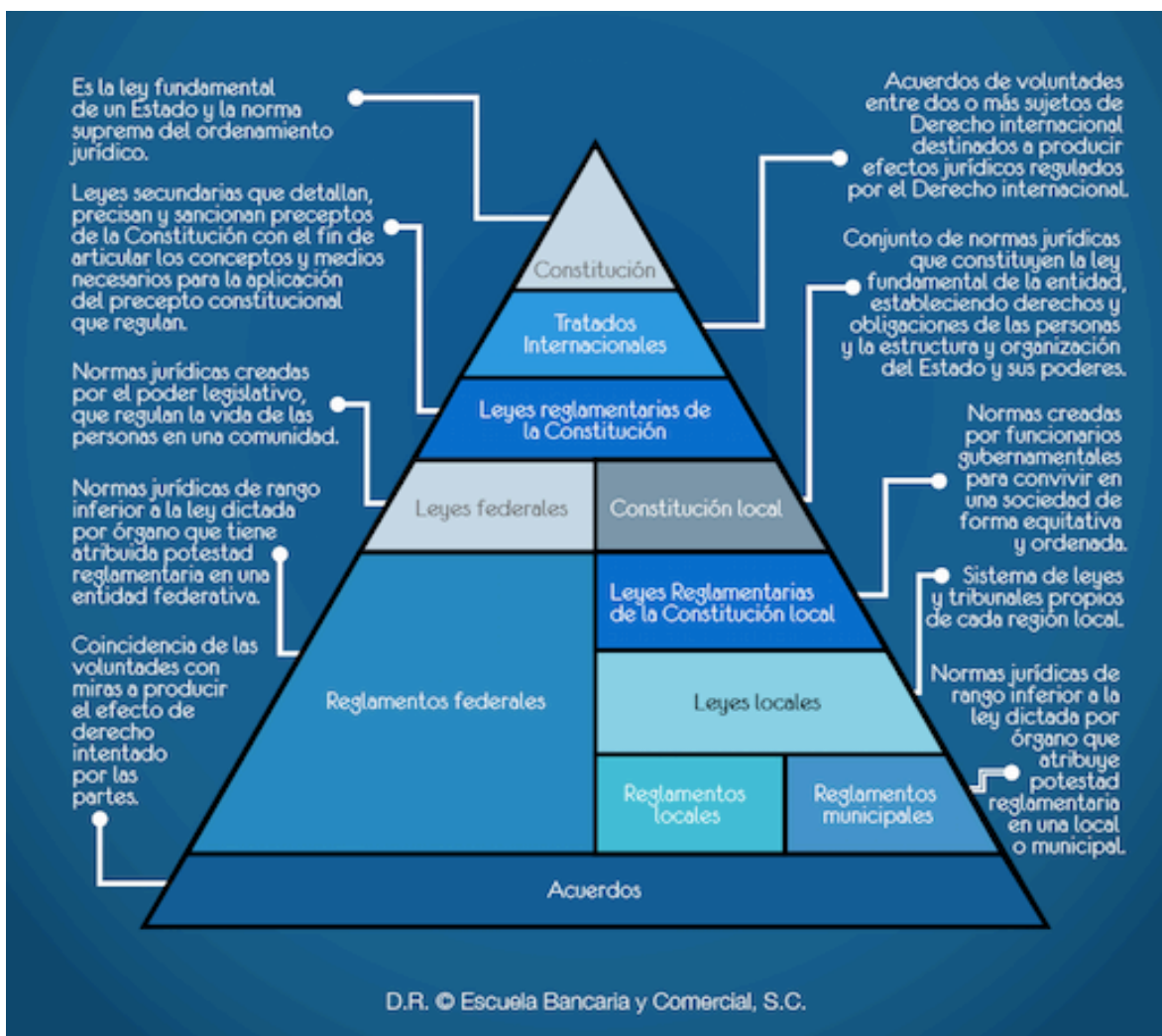
---

<sup>58</sup> Artículo 133 y la jerarquía jurídica en México. Guillermo Teutli Otero.  
<https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/9/4056/11.pdf>

<sup>59</sup> La jerarquía de los tratados internacionales sobre los derechos humanos a la luz de la reforma constitucional del 10 de junio del 2011. Ramón Ortega García. 24 de Septiembre 2014.

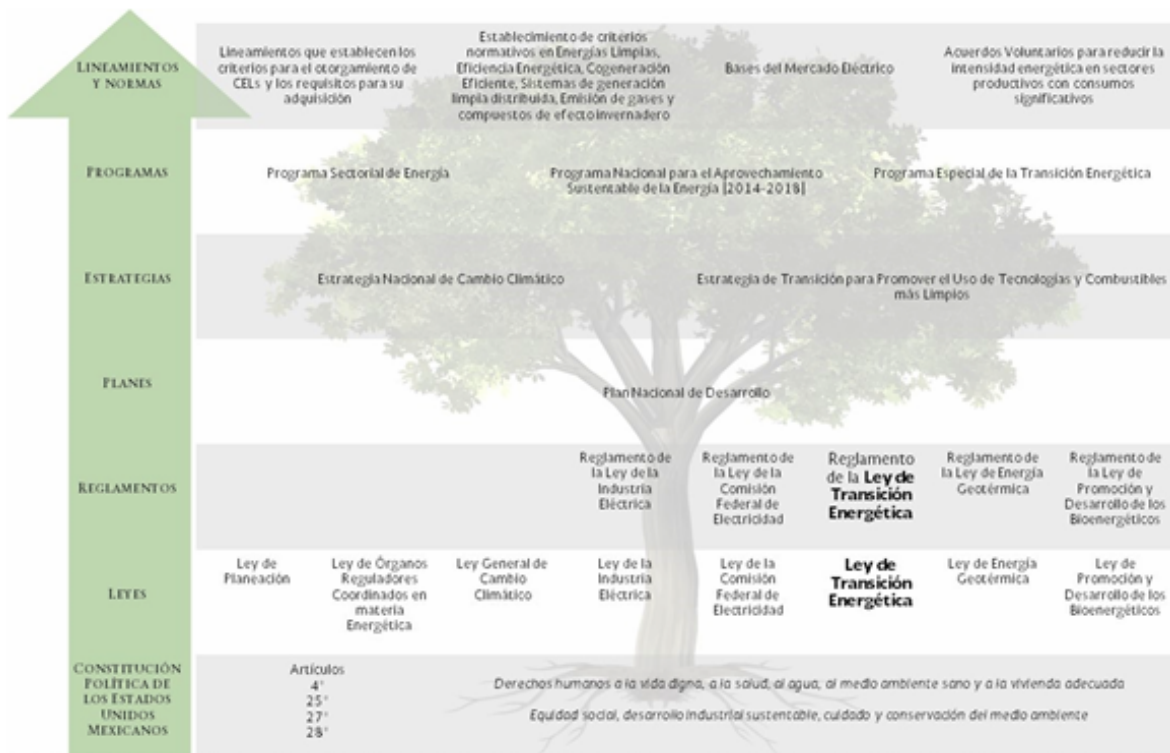
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-46542015000100013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-46542015000100013)

<sup>60</sup> Ídem.



**Figura 8:** Marco Normativo jerarquizado de los Estados Unidos Mexicanos

Existe un respaldo jurídico específico que establece las estrategias de la Transición energética para promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más limpios en ley de la Transición Energética, las cuales se demuestran en su marco legal:



**Figura 9:** Marco legal de la Transición Energética.  
DOF: 07/02/2020

La Ley de la Transición energética del 24 de diciembre del 2015 publicada en el Diario Oficial de la Federación deriva de un marco de derechos establecidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos ( Constitución) y que se manifiesta en un amplio conjunto de leyes, reglamentos, planes, programas, lineamientos y normas que se han desarrollado a través de los últimos años.<sup>61</sup>

La carta magna establece que toda persona gozará de los derechos humanos en ella incorporados, así como en tratados internacionales que el Estado Mexicano forma parte. En su Artículo 4, establece como derechos fundamentales el derecho a la salud, a un medio ambiente sano, agua, vivienda digna, y en los últimos años, se ha venido postulando la electricidad como una posibilidad de derecho fundamental humano para los mexicanos.

También en los artículos 25, 27 y 28 se determina que le acaece al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que este sea integral y sustentable, para lo cual el Estado mexicano planeará y orientará la actividad económica, en base al Sistema Nacional de Planeación Democrática, que es la base del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, así como de los planes y programas que de él deriven.

<sup>61</sup> DOF: 07/02/2020 [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020)

Posterior a esto, siguen un conjunto de leyes específicas que definen los aspectos institucionales y de planeación que se relacionan de manera directa a los elementos que integran la Ley de Transición Energética; entre esas:

La Ley orgánica de la Administración Pública Federal. (LOAPF): La cual, en su artículo 33, señala que corresponde a la SENER establecer, conducir y coordinar la política energética del país. Para ello se deberá dar prioridad a la seguridad y diversificación energética, a la vez que deberá tener relevancia en el ahorro de la energía, la reducción de impactos ambientales, y tener mayor participación en energías renovables.<sup>62</sup>

La Ley de Planeación, por su parte establece las normas y principios para dirigir la Planeación Nacional de Desarrollo, así como las bases para el funcionamiento del Sistema Eléctrico Nacional de Planeación Democrática. Estas funciones corresponden al poder ejecutivo en concordancia con la planeación para el desarrollo nacional.

En ley de la Industria Eléctrica (LIE), publicada el 11 de agosto del 2014 en el DOF, se reglamenta parte de los cambios derivados de la Reforma Constitucional del 2013, con esta ley se suscriben los regímenes del sector eléctrico para transitar a un modelo basado en la libre competencia para generación y distribución de energía eléctrica, con lo que se busca ofrecer a la ciudadanía servicios energéticos de manera más eficiente. La misma ley en su artículo cuarto transitorio describe la estricta separación legal de las actividades de la Comisión Federal de electricidad (CFE), en el artículo 6 establece a la Comisión Reguladora de Energía como la instancia encargada de la regulación y la vigilancia, mientras que el Artículo 107 establece al Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) como encargado del control operativo del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Por su parte, la LIE establece que el CENACE deberá operar el mercado eléctrico mayorista y determinará la asignación y despacho de centrales eléctricas, de la demanda controlable y de los programas de importación y exportación, a fin de establecer la demanda de energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional; también calculará los precios de la energía eléctrica y facturará, procesará o cobrará los pagos que correspondan a los integrantes de la industria eléctrica.

La Ley de la Transición Energética se creó el 20 de diciembre del 2013, mediante Decreto que reforma y adiciona disposiciones de la constitución en materia de energía. En su artículo décimo octavo transitorio se establece que el Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría del ramo en materia de energía y en un plazo no mayor a 365 días naturales, contados a partir de la entrada del Decreto, deberá incluir el Programa Nacional para el aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE). Una Estrategia de transición energética para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios. Dicha estrategia fue elaborada por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y publicada por la SENER el 19 de diciembre del 2014 en el DOF. En este orden, se publica el 24 de diciembre del 2015

---

<sup>62</sup> DOF: 07/02/2020 [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020)

en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Transición Energética, con lo que se definen las bases legales para impulsar una transformación hacia un modelo energético y económico sostenible y sustentable a largo plazo.

La Ley de Transición Energética regula el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.<sup>63</sup>

Las funciones dispuestas en esta ley, contienen:

1. Analizar el incremento progresivo de la participación de las Energías Limpias en la Industria Eléctrica con el objeto de cumplir las metas establecidas en materia de generación de energías limpias y de reducción de emisiones.
2. Facilitar el objetivo de las metas de Energías Limpias y Eficiencia Energética referidas en la ley de una manera económicamente viable.
3. Adherir la evaluación de las externalidades en el estudio de los costos asociados a la operación y expansión de la Industria Eléctrica, incluidos aquellos sobre la salud y el medio ambiente.
4. Examinar las obligaciones del aprovechamiento sustentable de la energía y eficiencia energética.
5. Establecer mecanismos de promoción de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes.
6. Generar la reducción de emisiones contaminantes en el ámbito de la energía eléctrica.
7. Fortalecer los objetivos de la Ley General de Cambio Climático, relacionado con las metas de reducción de emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero y de generación de electricidad, provenientes de fuentes de energía limpia.
8. Aprovechar sustentablemente la energía en el consumo final y los procesos de transformación de la energía.
9. Promover el aprovechamiento energético de los recursos renovables y de los residuos.
10. Ejercer las metas establecidas en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria Eléctrica a los productos consumidos en el territorio nacional, independientemente de su origen.

Se establece así, una Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles limpios.<sup>64</sup>

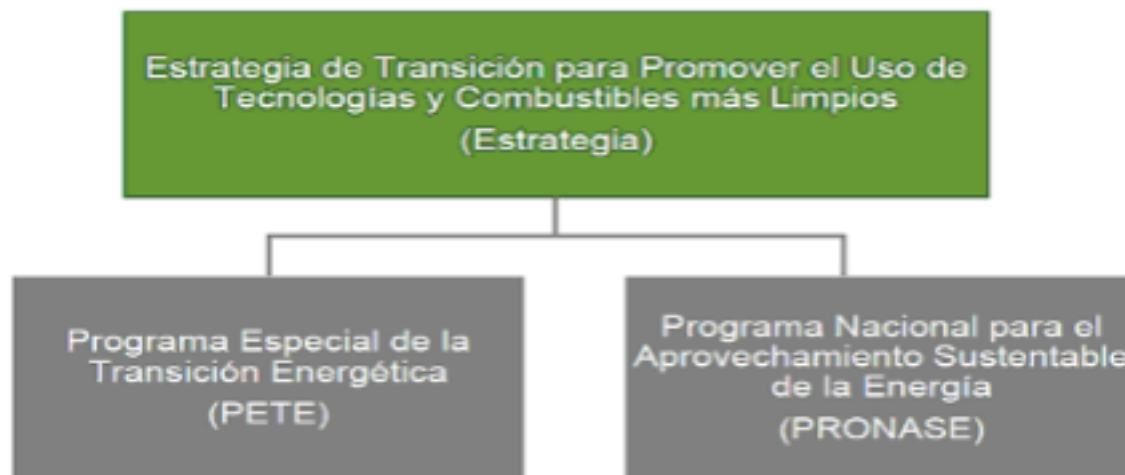
---

<sup>63</sup> DOF: 07/02/2020 [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020)

<sup>64</sup> Ídem.



La ley de Transición energética en su artículo tercero define como instrumentos de planeación a la Estrategia, al programa Especial de la Transición Energética (PETE) y al PRONASE, adheribles y obligatorios en materia de energías limpias y de eficiencia energética.



**Figura 10:** Instrumentos de Planeación indicados por la Ley de Transición Energética, DOF: 07/02/2020

La Estrategia es el instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo en materia energética, su función consiste en el aprovechamiento sustentable de la energía, la mejora en la productividad energética, y la reducción económicamente viable de las emisiones contaminantes. Para ello, este instrumento debe establecer metas de energías limpias y eficiencia energética, así como su respectiva hoja de ruta para implementación de dichos objetivos.

La Ley General de Cambio Climático, por su parte se publica en el DOF el 6 de junio del 2012, y tiene como meta garantizar el derecho a un medio ambiente saludable, al desarrollo sustentable, como a la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Una de las principales características de esta ley es establecer un conjunto de objetivos con el fin de mantener al país mexicano en una economía baja en carbono. En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero, el Artículo 2do Transitorio de la LGCC asume la meta de reducirlas al 2020 un 30% respecto a la línea base; así como un 50% de la reducción de emisiones al 2050, en relación con las emitidas en el año 2000. Mientras que el Artículo Tercero Transitorio de la LGCC, establece el objetivo de lograr por lo menos un 35% de generación de energía eléctrica a través de energías limpias proyectadas al año 2024.<sup>65</sup>

<sup>65</sup> DOF: 07/02/2020 [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020)

En la Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética, se establecen las bases para la organización y el correcto funcionamiento de los Órganos Reguladores Coordinados, que son la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) y la CRE. Así, con el propósito de promover un sector energético competitivo y eficiente, el Estado ejercerá sus funciones de normatividad técnica y económica en materia de electricidad e hidrocarburos a través de estas.

La Ley de la Comisión Federal de Electricidad, publicada el 11 de agosto del 2014, expone que se marcará el cambio de PEMEX (Petróleos Mexicanos), junto con la CFE (Comisión Federal de Electricidad), de entidades paraestatales a entidades productivas del Estado. Con ello, CFE transita a un esquema de gobierno corporativo que permite la generación de valor económico y la rentabilidad para el estado.

La Ley de Energía Geotérmica se publica junto con la LIE, con el objetivo de regularla exploración y la explotación de recursos geotérmicos para el aprovechamiento de la energía térmica del subsuelo. De esta manera, se establecen las reglas para el registro y el reconocimiento de los permisos de exploración, como las concesiones de explotación.<sup>66</sup>

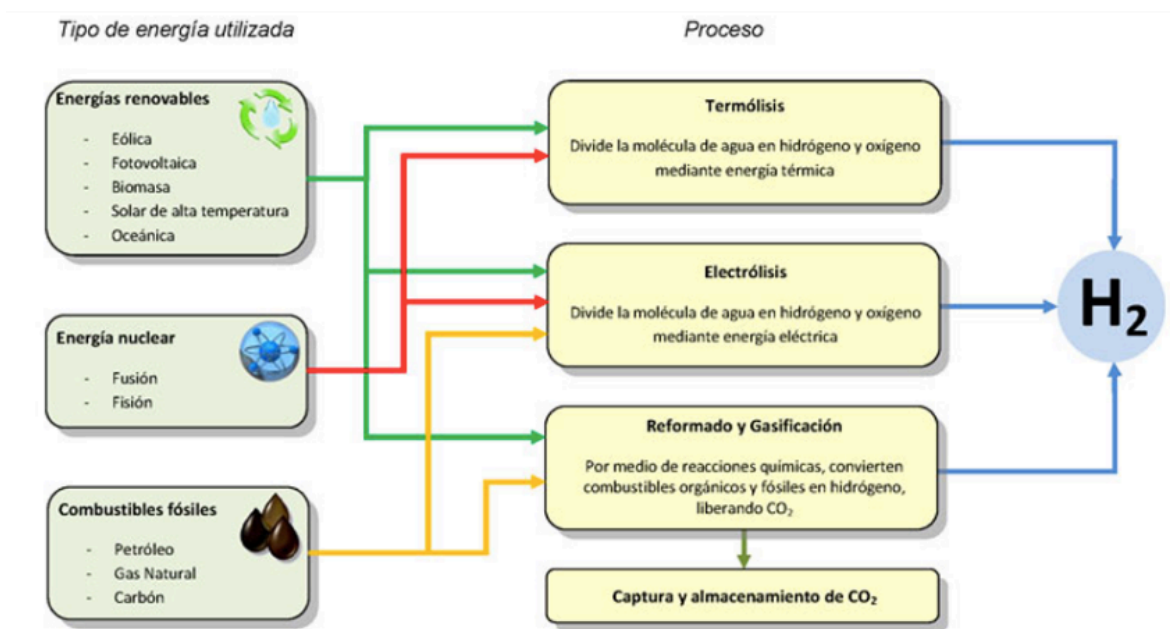
Bajo la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticas que fue promulgada el 1 de febrero del 2008, con el objeto de promover la producción, la comercialización y el uso de los bioenergéticos, a fin de contribuir al desarrollo sustentable y la diversificación energética. En específico, busca promover la producción de insumos para estos elementos, a partir de actividades del agro, forestales, algas, procesos biotécnicos, y enzimáticos de la productividad mexicana, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país, en conformidad con lo establecido por los Artículos 178 y 179 de la Ley de Desarrollo Rural sustentable.

### **13. Tipos de Generación de Hidrógeno.**

Se pueden usar diferentes sistemas de procesos de generación:

---

<sup>66</sup> DOF: 07/02/2020 [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020)



**Figura 11:** Zero Emissions Objective. Neus Monzó Lacueva 12 de Febrero del 2021.

#### 14. Características del Hidrógeno.

El hidrógeno está presente en un 75% en el universo, pero no existe por sí solo, está enlazado con otros elementos como el oxígeno (H<sub>2</sub>O) o el carbono (CH<sub>4</sub>). Por lo pronto hay que producirlo. Es un vector energético porque es capaz de almacenar energía.<sup>67</sup>

Un kilogramo de hidrógeno puede liberar más energía que cualquier otro combustible, incluso triplicar su energía en comparación con la gasolina o el gas natural.

Al liberar energía por hidrógeno no se emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sólo vapor de agua. También el H<sub>2</sub> es un elemento que se puede usar como "banco de energía", ya que se puede usar cuando hay excedentes de energía renovable y también es de fácil almacenamiento para su uso cuando las energías intermitentes no estén disponibles.

El hidrógeno contiene alta densidad energética, esto es una desventaja puesto que puede ocupar mucho volumen. Hay diferentes formas de almacenamiento: Gas comprimido, hidrógeno líquido, estructuras de carbono, etc; se puede producir localmente, ya sea en grandes instalaciones centrales o bien en pequeñas unidades cerca del punto donde se utilizará. Esto permite que, incluso en zonas alejadas se pueda producir esta fuente de energía.

<sup>67</sup> Los colores del hidrógeno: Verde, azul y gris. Neus Monzó Lacueva. 12-02-2021 <https://plataformazeo.com/es/colores--verde-azul-gris/>

## 15. Cadena de valor del Hidrógeno.

### ¿De dónde se obtiene el Hidrógeno?

El hidrógeno puede obtenerse de diferentes maneras, sin embargo hay cantidades de producción mayores. Estas varían desde la obtención de Hidrógeno por Gas Natural(1), del carbón (2), del petróleo (3), mediante electrólisis (4), o por fuentes alternativas como la biomasa u otros subproductos. (5)

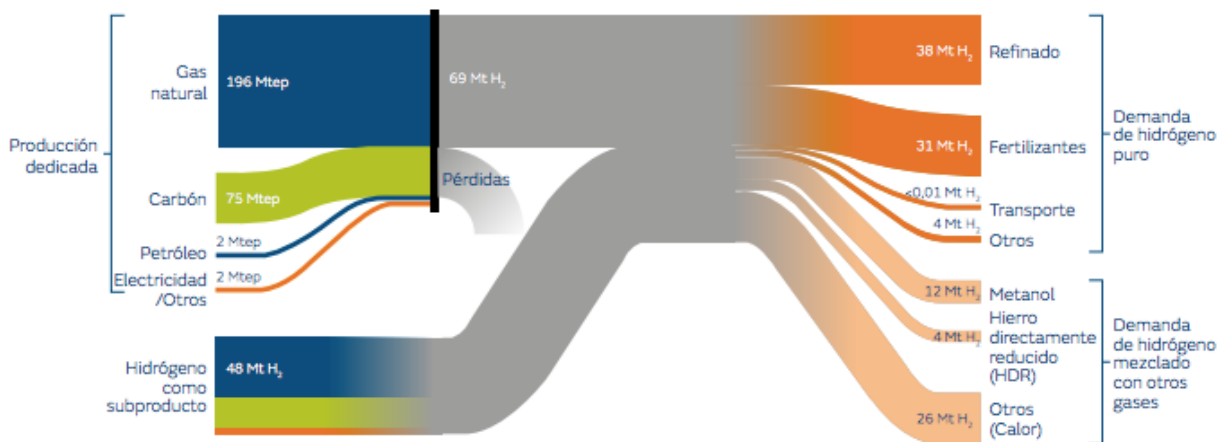


Figura 12: Agencia internacional de la energía AIE

- 1. Hidrógeno Gris:** Se obtiene principalmente del Gas Natural, mediante reformado de vapor (steam reforming) que emplea el gas natural como materia prima y sí genera CO<sub>2</sub> por la reacción del metano con el agua<sup>68</sup>, ya que por (1) mol de metano se obtienen cuatro (4) átomos de hidrógeno por cada átomo de carbono. Es decir que en términos de masa atómica, el metano es un 25% de hidrógeno, en comparación a naftas, carbón, biomasa, entre otras sustancias. Actualmente es el más abundante y el más económico. No aporta en lo absoluto a la mitigación del cambio climático a menos que se transforme en H<sub>2</sub> azul.
- 2. Hidrógeno Azul:** Es el que se ha generado como el gris, pero que se genera almacenando el dióxido de carbono resultante de la reformación mediante tecnologías de almacenamiento de carbono (CCUS)<sup>69</sup>
- 3. Hidrógeno Verde:** Es el que se obtiene a partir de energías renovables por procesos de electrólisis. También es conocido como el combustible que genera cero emisiones; es uno de los actores más importantes para el proceso de descarbonización para la Unión Europea para el 2050.

Aunque estos sean las clasificaciones primordiales globales para el hidrógeno, recientemente el World Energy Council, ha comenzado a sugerir intentos de resolver

<sup>68</sup> Hidrógeno. El gas de doble filo en el cambio climático. 30 de noviembre del 2021

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/hidrogeno-gas-doble-filo-cambio-climatico/>

<sup>69</sup> Ídem

“el debate del color” del hidrógeno con el objetivo de establecer definiciones claras del contenido del carbono, la tecnología y la fuente de electricidad detrás de ellos.<sup>70</sup>



**Figura 12.1** Diagrama ilustrado de los estudios realizados por los comités miembros. World Energy Council. 2021.

**Hidrógeno Blanco:** Hidrógeno Natural.

**Hidrógeno Infra rojo:** Calor por Hidrógeno. (Desde los metales, del sol al hidrógeno, o por subproductos de producción de cloro o soda con energía renovable)

**Hidrógeno Turquesa:** Pirolisis<sup>71</sup> de metano con uso de carbón. Biomasa a hidrógeno de bacterias o arqueas.

**Hidrógeno Fluorescente:** Por energía nuclear.<sup>72</sup>

---

<sup>70</sup> National hydrogen strategies. World Energy Council. 2021.

<https://www.worldenergy.org/publications/entry/working-paper-hydrogen-on-the-horizon-national-hydrogen-strategies>

<sup>71</sup> Pirolisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor sin que existan reacciones de combustión.

Pirolisis, sistemas de tratamiento, 2019. [www.mitego.gob.es](http://www.mitego.gob.es)

<sup>72</sup> National hydrogen strategies. World Energy Council. 2021

<https://www.worldenergy.org/publications/entry/working-paper-hydrogen-on-the-horizon-national-hydrogen-strategies>

	Terminology	Technology	Feedstock/ Electricity source	GHG footprint*
PRODUCTION VIA ELECTRICITY	Green Hydrogen	Electrolysis	Wind, Solar, Hydro, Geothermal, Tidal	Minimal
	Purple/Pink Hydrogen		Nuclear	
	Yellow Hydrogen		Mixed-origin grid energy	Medium
PRODUCTION VIA FOSSIL FUELS	Blue Hydrogen	Natural gas reforming + CCUS gasification + CCUS	Natural gas, coal	Low
	Turquoise Hydrogen	Pyrolysis	Natural gas	Solid carbon (by-product)
	Grey Hydrogen	Natural gas reforming		Medium
	Brown Hydrogen	Gasification	Brown coal (lignite)	High
	Black Hydrogen		Black coal	

**Figura 12.2** Espectro ilustrativo de los colores del hidrógeno.  
World Energy Council. 2021.

Existen dos producciones de hidrógeno: vía electricidad y vía combustibles fósiles, los que son producidos por electricidad son tres: Hidrógeno verde, hidrógeno rosa o púrpura e hidrógeno amarillo, estos generan hidrógeno mediante procesos de electrólisis por mecanismos de energía renovable como son la energía eólica, solar, hidroeléctrica, geotérmica o mareomotriz, aunque también se puede generar electrólisis por medio de energía nuclear o por energía de red de origen mixto. La huella de carbono producida por generar este elemento es mínima.

En segunda vía se encuentra la generación de hidrógeno mediante combustibles fósiles, los cuales son representados por cinco colores: azul, turquesa, gris, café y negro.

El hidrógeno azul se genera mediante la reformación de gas natural CCUS (Carbon Capture Use and Storage)<sup>73</sup>, se genera mediante gas natural o carbón. La huella de carbono producida por este proceso, es baja.

En el hidrógeno turquesa, se usa tecnología de pirolisis, este es un proceso que se da en una atmósfera inerte, con calor y sin oxígeno. La temperatura que se alcanza en la

<sup>73</sup> Se captura el CO2 generado por tecnología CCUS para almacenarse en el subsuelo de manera segura y permanente.

CCUS: Tecnología de Captura, Uso y almacenamiento. Gobierno de México. 23 de julio 2015.

<https://www.gob.mx/sener/articulos/ccus-tecnologia-de-captura-uso-y-almacenamiento-de-bioxido-de-carbono>

pirolisis es más reducida que la de la combustión: 500°C aproximadamente. También implica un cambio en la composición química de aquello que se quema. En esta transformación no se aprecia llama<sup>74</sup>. Este hidrógeno se obtiene mediante el gas natural.


El hidrógeno gris (al igual que el azul) es una reformación o transformación del gas natural, su huella de carbono es media en comparación a otros tipos de hidrógeno.

Por último, el hidrógeno café y negro se generan por medios industriales de gasificación del carbón (lignito), se realiza este proceso por altas temperaturas y alta presión y la huella de carbono producida es bastante alta.

Pese a tener una mejor clasificación, la proliferación de diferentes tonos de hidrógeno está complicando demasiado la discusión de referencias entre miembros de interés, al mismo tiempo se presta cada vez más atención a la intensidad del carbono o a la equivalencia de este, además del color del espectro del hidrógeno.

La intensidad del carbono está expresada en toneladas de CO<sub>2</sub>eq por tonelada de hidrógeno producido, es un criterio neutral desde el punto de vista tecnológico para evaluar la huella de las emisiones de hidrógeno: abre el debate sobre la competencia entre varias rutas de producción de hidrógeno que cumplan con la intensidad de carbono requerida al menor costo, esto variaría según el contexto, por lo que, en un caso el hidrógeno producido por electricidad renovable podría ser más apropiado, mientras que en otro contexto, el hidrógeno producido con captura de carbono podría ser más adecuado y económico.

Un enfoque de intensidad de carbono ya está tomando forma en la Unión Europea, donde la “taxonomía de la UE”, un sistema de clasificación que establece actividades económicas ambientales y sostenibles, establece que se requiere un punto de referencia de intensidad de carbono de 3tCO<sub>2</sub>eq/tH<sub>2</sub> para clasificar la producción de hidrógeno como una actividad económica ambientalmente sostenible.<sup>75</sup>

**FROM COMPLEXITY** (hydrogen colours diagram)  **TO ONE CLEAR INDICATOR BASED ON CARBON INTENSITY** (e.g. tCO<sub>2</sub>eq, kWhs, TWh... /tH<sub>2</sub>)

Desde la complejidad de los colores del hidrógeno a los indicadores claros basados en la intensidad de carbono.<sup>76</sup>

Parámetros más clásicos y convencionales sólo definen el H<sub>2</sub> por verde, azul o gris.

---

<sup>74</sup> Diferencia entre combustión y pirolisis. 2018

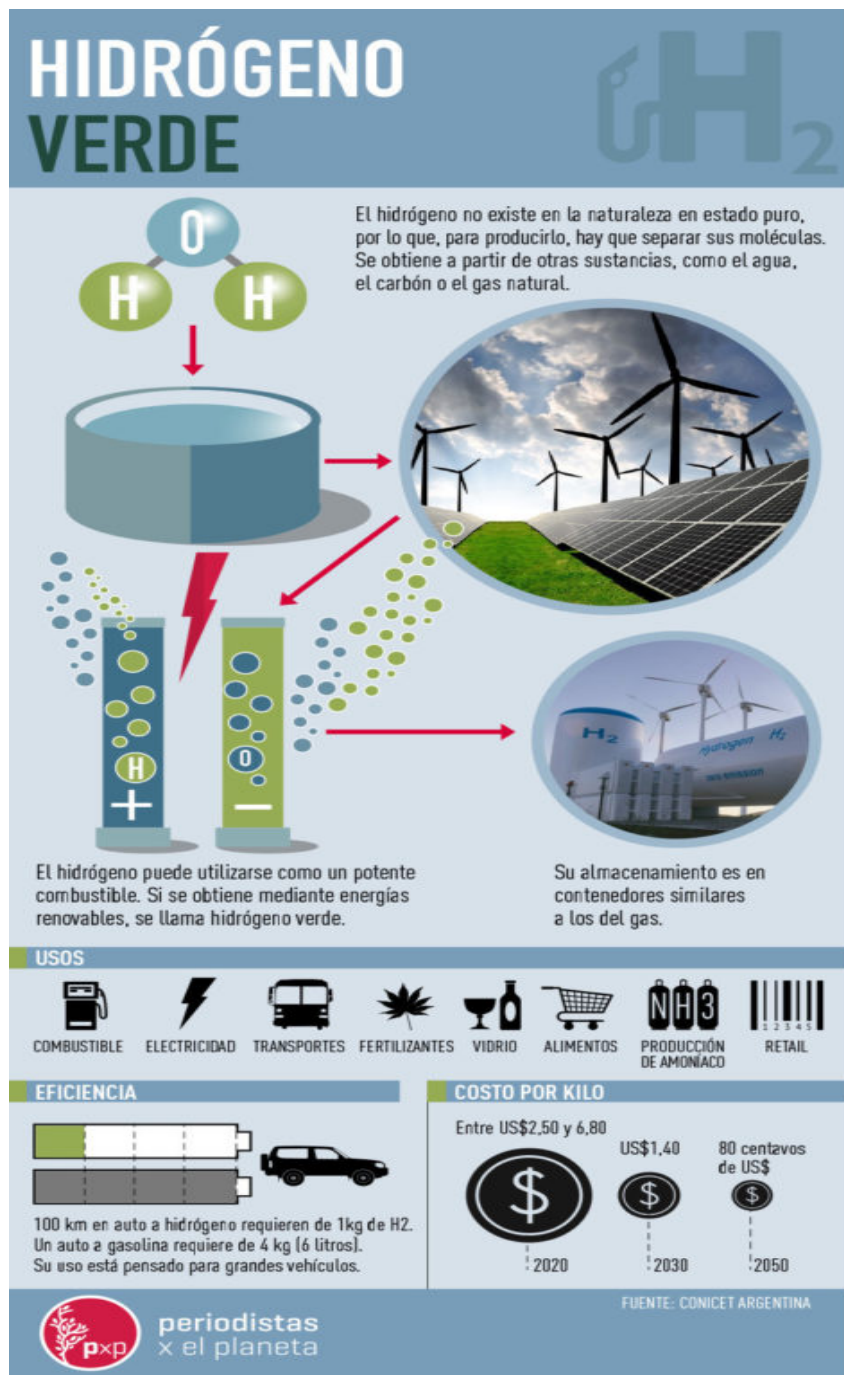
<https://www.materialesecologicos.es>

<sup>75</sup> National hydrogen strategies. World Energy Council. 2021

<https://www.worldenergy.org/publications/entry/working-paper-hydrogen-on-the-horizon-national-hydrogen-strategies>

<sup>76</sup> National hydrogen strategies. World Energy Council. 2021

<https://www.worldenergy.org/publications/entry/working-paper-hydrogen-on-the-horizon-national-hydrogen-strategies>



**Figura 13:** Ojo al clima, Fermín Koop y Periodistas por el planeta. Abril 9 del 2021

Por otro lado, empresas como Royal Deutch Shell y Orsted están incursionando en la invención de gigantescas máquinas que generen hidrógeno a partir de electrólisis, comandadas por la ingeniera Rachel Smith, quien vive su día a día en el avance comercial del hidrógeno verde, y por ende en la fabricación de estos mismos artefactos.



Electrolizadores como este prototipo de ITM Power, pueden producir hidrógeno verde de manera más eficiente y económica:



**Figura 14:** El prometedor hidrógeno, pero costo es desventaja. Stanley Reed y Jack Ewing.

Gobiernos, ambientalistas, y empresas de energía coinciden en que las emisiones de carbono requerirán grandes cantidades de combustible limpio como el hidrógeno. Se da importancia y reconocimiento frente al potencial de este elemento; incluso compañías de gas están experimentando con mezclas de hidrógeno para la cocina y calefacción en el hogar.

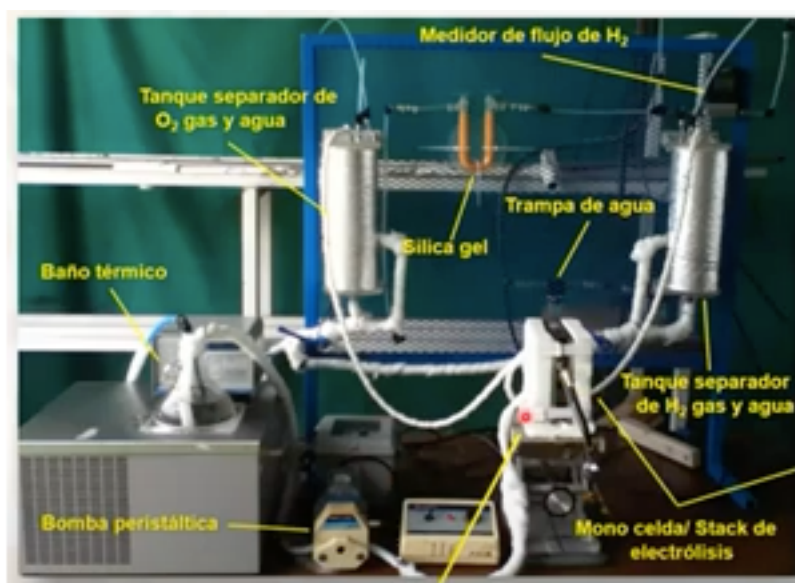
La empresa Volvo y Daimler, planean iniciar la producción en masa de camiones eléctricos de larga distancia que operen con celdas de combustible que transformen el hidrógeno en electricidad; incluso, más de 200 proyectos a gran escala están en marcha para producir o transportar el hidrógeno, incluyendo inversiones de más de 80.000 millones de dólares.<sup>77</sup>

---

<sup>77</sup> El prometedor hidrógeno, pero costo es desventaja. Stanley Reed y Jack Ewing.

La desventaja aparente del hidrógeno, es que se aumentará tanto su demanda, que es posible que industrias de refinación petrolera quieran competir con el mercado del hidrógeno verde a mayor escala, produciendo hidrógeno gris, combustible que se obtiene separando el hidrógeno del gas natural en los yacimientos y donde además este proceso genera más emisiones de gases efecto invernadero que la combustión del diesel. Menos del 5% del hidrógeno producido hoy es libre de emisiones, y este tipo cuesta más del doble que la versión gris.

Por su lado, ITM también trabaja en plantas destinadas a producir 45 toneladas de hidrógeno al día en un área industrial de la región de Humber, al noreste de Inglaterra. Se anticipa que para el 2030 el hidrógeno verde sea lo suficientemente económico para competir con otras fuentes de energía.



**Figura 14.1** Electroizador mono celda para prototipo, creado por el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias INEEL.

<https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>

Este electroizador o mono celda de 50 cm, creada por el INEEL genera el hidrógeno separando las moléculas del agua del oxígeno, esto se hace mediante el calentamiento del agua des ionizada que se alimenta mediante una bomba ondulatoria donde se genera la inyección de corriente para llevar a las partículas de agua a ser separadas por el hidrógeno y oxígeno. También a su vez hay tanques donde se circula el agua que separa las moléculas por tecnología de sílica gel y el medidor de flujo determina las características del comportamiento del elemento.

Estos fueron los resultados determinados por el INEEL.<sup>78</sup>

---

<https://twitter.com/SeveroLMestre/status/1424223629273964546?s=08>

<sup>78</sup> Sociedad Mexicana del Hidrógeno. Actualidad de los procesos de electrolisis en México.

<https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>

Current density [A/cm <sup>2</sup> ]	Temp. [°C]	Stack electrolyzer voltage [V]	Theoretical HHV voltage [V]	Energy efficiency ( $\epsilon_{HHV}$ ) [%]	Volume of H <sub>2</sub> produced [Nm <sup>3</sup> /h]
1.10	70	17.93	13.42	74.86	0.285
1.10	60	18.47	13.40	72.56	0.278
1.10	50	18.88	13.38	70.87	0.248
0.87	40	19.53	13.36	68.41	0.215
0.54	25	19.38	13.33	68.78	0.122

**Figura 14.2** Resultados del electrolizador mono celda para prototipo, creado por el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias INEEL.  
<https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>

Para el primer valor son las densidades de corriente, la segunda es el calor o sometimiento de temperatura del hidrógeno y la producción en voltios, el voltaje teórico. La eficiencia energética y por último el volumen de hidrógeno producido.<sup>79</sup>

## 16.¿Qué factor de planta tienen las Unidades de Generación de Hidrógeno?

El factor de planta o factor de capacidad de una central eléctrica es el cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un periodo considerable (generalmente anual) y la energía generada si se hubiese trabajado a plena carga durante este mismo periodo. Es una indicación de la utilización de la capacidad de generación eléctrica de la planta en cierto periodo de tiempo.<sup>80</sup>

Los factores de planta varían dependiendo del tipo de combustible que se utilice y del diseño de la planta.

Para conocer que factor de planta tienen las unidades de generación por hidrógeno hay que primero conocer el cálculo de factor de planta, el cual se estima de la siguiente manera:

El número de (megavatio-horas) que habrían podido ser producidas con la planta a plena capacidad y con un factor de disponibilidad del 100 % puede ser determinado

<sup>79</sup> Idém.

<sup>80</sup> Comité de Transparencia. CENACE. 23 de Junio del 2016

<http://www.cenace.gob.mx/Docs/Transparencia/Resoluciones/2016/10/1120500002416.pdf>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Factor\\_de\\_planta](https://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_planta)

multiplicando la capacidad máxima por el número de horas en el trabajo. Es decir; como ejemplo: 1.000 (MW) X 30 (días) X 2 (horas/día) es 720.000 (megavatio-horas).<sup>81</sup>

Es conveniente conocer este factor de planta para mantener la estabilidad del suministro eléctrico que podría generarse en una electrolizadora o planta generadora de electricidad por hidrógeno, para fines de abasto de calidad en el suministro eléctrico.

A raíz de la comercialización de la energía eléctrica, las industrias han optado por satisfacer sus necesidades incrementando su capacidad de generación eléctrica, ya que pueden mercantilizar sus excedentes de energía hacia otras comercializadoras de energía. Además estas nuevas de negociación en la industria eléctrica han creado interés social en crear abastos eléctricos independientes o de forma aislada, como sucede en el caso de la generación distribuida.<sup>82</sup>

La estabilidad transitoria de un sistema eléctrico de potencia puede ser definida como la capacidad para permanecer en sincronismo cuando se experimentan disturbios severos. Esta estabilidad tiene como objetivo fundamental permanecer en solidez y firmeza frente a la ocurrencia de un “gran disturbio”, como lo pueden ser: cortos circuitos en la red eléctrica, pérdidas subitas de grandes volúmenes de carga, pérdida de generación propia en el caso de sistemas interconectados con redes de transmisión y fallas en la red de transmisión eléctrica en el punto de interconexión con la red de transmisión o fallas en la red de transmisión electricamente cercanas al punto de interconexión; con el fin de implementar acciones que permitan mantener la continuidad del suministro de energía eléctrica generado por las industrias.<sup>83</sup>

## **17. Hidrógeno verde como sustituto del Gas Natural**

Para el presidente de la Asociación Mexicana del Hidrógeno (AMH), Israel Hurtado; el H<sub>2</sub> podría ser una opción para sustituir las importaciones del Gas Natural destinado a la Generación Eléctrica.<sup>84</sup>

La Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que el uso del hidrógeno verde en el mundo evitaría la emisión de 830 millones de toneladas anuales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera.

---

<sup>81</sup> Cenace: [www.cenace.gob.mx/Docs/Transparencia/Resoluciones/2016/10/1120500002416.pdf](http://www.cenace.gob.mx/Docs/Transparencia/Resoluciones/2016/10/1120500002416.pdf)

<sup>82</sup> Estudios de estabilidad transitoria en sistemas eléctricos industriales con generación propia interconectados con el sistema de transmisión.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432010000400008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000400008)

<sup>83</sup> Ídem.

<sup>84</sup> Energíaadebate. Podría el hidrógeno verde sustituir importaciones de Gas Natural.

14 de mayo del 2021.

<https://www.energiaadebate.com/energia-limpia/podria-el-hidrogeno-verde-sustituir-importaciones-de-gas-natural/>

Al concluir esto se estima que México tenga el potencial para producir en demasía el Hidrógeno verde generado por las renovables y así abastecer mayormente sus necesidades energéticas.

Con la comercialización del H<sub>2</sub> podrían abrirse muchas puertas a nivel de exportación, sobre todo con grandes consumidores de energía como Estados Unidos y Asia; la única premisa ante este tema, según Andreas Eisfelder, director de “Nuevos negocios en Energía para America Latina de Siemens Energy” bastaría con hacer una red de ductos para el transporte de H<sub>2</sub> verde, puesto que no se pueden utilizar los de gas natural por incompatibilidad de los elementos, haciendo de esto la pérdida de sus propiedades.

## **18. Hidrógeno Verde impulsado en el Transporte**

Varios proyectos están por proyectarse, se realizarán en Quintana Roo, comenta Ulises Cano, cofundador de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno e investigador del Instituto nacional de electricidad y energías limpias (INEEL).

El proyecto consiste en la intervención de celdas de combustible, que son dispositivos que permiten realizar la conversión de energía química del hidrógeno directamente en electricidad.

“La propuesta que hacemos el día de hoy es la de un proyecto piloto demostrativo, de cierto modo, de transporte utilitario a hidrógeno en el estado de Quintana Roo. Eso implica una flotilla de dos a tres vehículos de hidrógeno verde, incluido también la producción y el despacho que básicamente es el acondicionamiento de hidrógeno verde. Una vez que se produce este, tiene que acondicionarse para poder utilizarse en un vehículo y eso implica desarrollo de logística, infraestructura, y generar experiencia operativa para propósitos del manejo de combustibles desde el punto de vista de seguridad, de correctas operaciones a lo largo de los proyectos” ,menciona el cofundador.

La Agencia Internacional de la Energía destaca que la generación de hidrógeno verde se encuentra a costos muy competitivos, estos son alrededor de 2 dólares por cada Kilogramo, siendo muy beneficioso para el sector de la movilidad y la economía general mexicana.<sup>85</sup>

Por otro lado, alrededor del planeta y desde algunos años se han estado incursionando algunos vehículos que se transportan a base de hidrógeno, como es el “Wright 1” el cual es un avión eléctrico diseñado para volar a distancias cercanas a los 1300 km. Este es del mismo dúo de hermanos estadounidenses que fueron pioneros en el vuelo motorizado en Kitty Hawk de Carolina del Norte en 1903. La compañía detrás del

---

<sup>85</sup> Impulsan al hidrógeno verde en transporte. La economía. Mayo 13 del 2021.  
<https://www.elfinanciero.com.mx/economia/2021/05/13/impulsan-al-hidrogeno-verde-en-transporte/?outputType=amp>

avión, Wright, dice que su diseño traerá “vuelos sin emisiones al mismo costo que operar una flota de combustible fósil”, se pronostica que estará comercialmente activo este avión para el 2030.<sup>86</sup>



**Figura 15:** Exciting green Technology Pioneers of 2021. World Economic Forum.

También una Land Rover Defender propulsada por hidrógeno llegará prontamente a las calles, es un vehículo que promete cero emisiones y un rendimiento similar al de los autos eléctricos, sin necesidad de dejarlo horas conectado.<sup>87</sup>

---

<sup>86</sup> World economic Forum: Here are some of the most exciting Green Technology Pioneers of 2021. [https://www.weforum.org/agenda/2021/06/green-tech-pioneers-2021/?utm\\_source=facebook&utm\\_medium=social\\_video&utm\\_term=1\\_1&utm\\_content=22788&utm\\_campaign=social\\_video\\_2021](https://www.weforum.org/agenda/2021/06/green-tech-pioneers-2021/?utm_source=facebook&utm_medium=social_video&utm_term=1_1&utm_content=22788&utm_campaign=social_video_2021)

<sup>87</sup> Unocero.com. <https://twitter.com/unocero/status/1404894153087938560?s=08>



**Figura 16:** Unocero.com

En Madrid, España, mil taxis de hidrógeno circularán por las calles de Madrid para el 2026. Acá la Federación Profesional del Taxi de Madrid, madrileña Red de Gas, Fotowatio Renewable Ventures, Toyota-España, Grupo Ruiz y PwC impulsarán la iniciativa que será desarrollada gracias a cien millones de euros procedentes de fondos europeos. Según la federación de taxistas han llamado a este programa: “As- A-Service” y permitirá que los trabajadores hagan uso de este tipo de vehículos de hidrógeno a un buen costo. Los primeros taxis de hidrógeno llegarán al 2022.<sup>88</sup>



**Figura 17:** Madrid tiene los mejores taxis de España y Barcelona. La Vanguardia.

---

<sup>88</sup> Mil taxis de hidrógeno circularan las calles de Madrid en 2026. Energías-renovables.com  
<https://www.energiyas-renovables.com/movilidad/mil-taxis-de-hidrogeno-circularan-por-las-20210610>

## 19. Hidrógeno verde en América.

El hidrógeno verde es la mayor apuesta de muchos países para aprovechar el potencial de las energías renovables, a su vez que genera este mismo elemento fuente de combustible limpio. Se anhela que el hidrógeno sea el reemplazo de las gasolinas, naftas, y demás combustibles fósiles.

Cecilia Aguillon, directora de la Energy Transition Initiative del instituto de las Américas afirma que América Latina cuenta con algunos de los recursos de energía limpia más abundantes y competitivos del mundo, como lo son en energía eólica, solar e hidroeléctricas.<sup>89</sup>

Por su parte, Diego Mesa, el ministro de minas y energía de Colombia reconoce que se está implementando la energía por hidrógeno verde y una ruta para implementarlo. Mientras en Chile y Costa Rica ya generan sus primeros avances en el tema.

Esto no solo desarrolla mejores fuentes energéticas en relación al Acuerdo de Paris, sino también nuevas formas de desarrollo económico. Este elemento además se puede aprovechar en los picos de alta generación de electricidad de fuentes renovables al usar el excedente para producir hidrógeno, (separando los átomos de hidrógeno y oxígeno)

En Chile ya se encuentra la estrategia nacional para utilizar el hidrógeno verde que aspira convertir al país en productor y exportador mundial de este elemento en menos de 20 años; esto con ayuda del gobierno, su regulación, la inversión, desarrollo, entre otras agencias públicas y privadas.

México es uno de los países de mayor potencial para generar hidrógeno, ya que cuenta con amplio sistema de instalaciones y de transporte y almacenamiento. Cuentan con el Centro Nacional de Control de Gas Natural (CENAGAS) el cual es un organismo descentralizado de la administración pública federal<sup>90</sup>, cuya función es garantizar el transporte, almacenamiento, el abasto seguro y confiable del gas natural del país, esta misma empresa podría hacerse cargo del consumo del hidrógeno.

Uruguay es el país líder en energías renovables en América Latina, su matriz energética contiene un 98% de fuentes limpias gracias a décadas de excelentes políticas gubernamentales. El país también planea incentivar la generación de hidrógeno verde con fines de exportación. Su iniciativa consistirá en construir una planta piloto en su capital: Montevideo, con una capacidad de producción de 900 kilos de Hidrógeno al día.

---

<sup>89</sup> Hidrogeno verde da sus primeros pasos en América Latina. 7 de Abril del 2021. Fermín Koop.  
<https://www.elspectador.com/ambiente/el-hidrogeno-verde-da-sus-primeros-pasos-en-america-latina-article/>

<sup>90</sup> <https://www.gob.mx/cenagas>



Argentina pese a tener sólo el 8% de energías renovables, contiene potencial de energía eólica debido a su ubicación, sin embargo sus políticas energéticas están en desarrollo. El país tiene una “Ley de promoción del hidrógeno” sancionada en el 2006 y sigue sin reglamentar, esta norma contenía la creación de un fondo nacional de fomento del hidrógeno (Fonhidro) el cual sería financiado por el estado para proyectos de hidrógeno. Si bien no se reglamenta esta ley, tendrá término de caducidad para el presente año (2021), es por esto que el diputado Gustavo Menna presentó en el 2019 un proyecto de ampliación de término por 20 años.

Según el diputado la administración pública se basa en asuntos menores, antes que poner real atención al hidrógeno verde, esta podría ser impulsada por la industria local a través de transporte público, pero también advierte que en los próximos años se debe mejorar la infraestructura para la distribución del elemento en el país. Se espera que la Conicet (Consejo Nacional de investigaciones Científicas y técnicas de Argentina) trabajen los próximos años en los estudios de transporte y exportación de hidrógeno.<sup>91</sup>

En Estados Unidos ya se han activado tres plantas de energía de hidrógeno: en Nueva York, Virginia y Ohio. Se probará si el hidrógeno puede algún día reemplazar al gas natural en la generación eléctrica. Para esto ya se han invertido alrededor de US \$3000 Millones que en conjunto generan 3.284 mW de electricidad. Si bien funcionan con gas natural, la idea de estén diseñadas para facilitar la generación de hidrógeno.<sup>92</sup>

Jim Robo, director ejecutivo de NextEra durante una llamada de ganancias en julio, reconoce que es evidente que exista una oportunidad de 5 a 10 años para desplazar el último 10% de las emisiones de carbono del sector eléctrico mediante la producción de Hidrógeno con energías renovables.

Mitsubishi en Utah ha invertido \$1900 millones de USD para su primer proyecto de almacenamiento de energía de hidrógeno. En Nueva York la primera planta será de 600 megavatios, el proyecto ayudara a cumplir objetivos climáticos; mientras que en Virginia se generarán 1600 megavatios con la planta de Balico.<sup>93</sup>

## **19.1 Agencia Internacional de Energía respecto al Hidrógeno en América Latina**

América latina tiene un potencial próspero para el campo de las energías renovables, el impulso del hidrógeno ha sido motivo de atención de los más altos políticos de la región, quienes auspician su financiamiento y proyección futura a mediano plazo.

---

<sup>91</sup> El hidrógeno tiene que ser una política de Estado, como lo fue la energía atómica. 22 Marzo 2021  
<https://ithes-uba.conicet.gov.ar/el-hidrogeno-tiene-que-ser-una-politica-de-estado-como-lo-fue-la-energia-atmica/>

<sup>92</sup> Hidrógeno llega a Estados Unidos y pone en peligro el reinado del Gas. 3 de septiembre 2020.  
<https://www.elespectador.com/economia/hidrogeno-llega-a-eeuu-y-pone-en-peligro-el-reinado-del-gas-article/>

<sup>93</sup> Ídem.

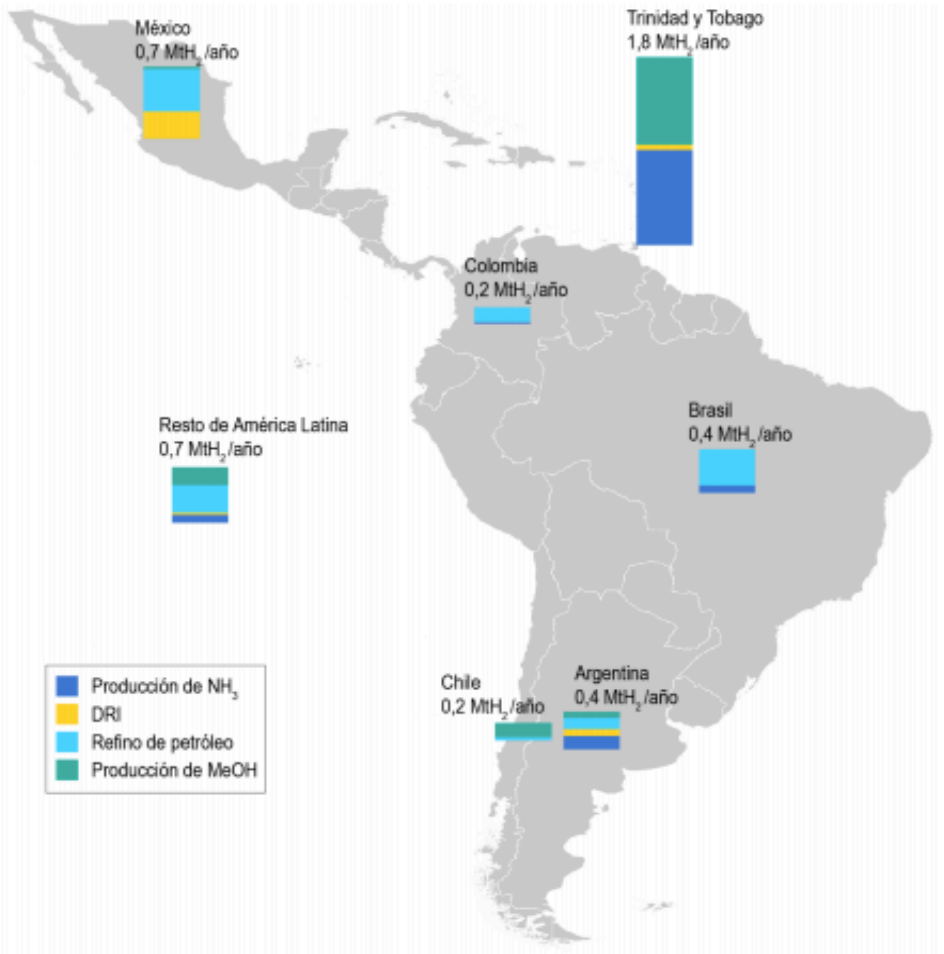
La Agencia Internacional de Energía propone su postura frente al hidrógeno verde en América Latina, percatándose de las ya postuladas hojas de ruta y estrategias de inversión verde dentro de los 25 proyectos de hidrógeno ya auspiciados y de las demás metas de emisiones bajas de carbono.

A partir del 2030 los esfuerzos por la des carbonización dependerán de tecnologías verdes, teniendo en cuenta la mayor escala económica.

En el 2019, el sector industrial y refino de petróleo, necesitó de 4 megatoneladas (Mt) de Hidrógeno. Aproximadamente 5% de la demanda mundial para producir amoníaco, metanol, acero y productos de petróleo refinado; es decir, se necesitó más del gas natural que el suministro total de Chile y se emitió más CO2 a la atmósfera que el que emiten todos los vehículos de carretera de Colombia.

El 90% de la demanda de H2 se concentró en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, y Trinidad y Tobago, este hecho en sí sólo concentró el 40% de la demanda total del hidrógeno.

**Demanda de hidrógeno en América Latina, 2019**



**Figura 18:** Hidrógeno en América Latina, 2019. AIE, Agencia Internacional de la Energía.

Analizando este mapa, siendo NH<sub>3</sub> amoníaco, MeOH metanol, DRI: Reducción directa de hierro. Para el 2019 la producción de H<sub>2</sub> sólo se reducía a proyectos piloto en Argentina, Chile y Costa Rica, aún así, la versatilidad del hidrógeno como vector energético, permite que cada país adapte su estrategia de despliegue a su contexto y a sus prioridades a largo plazo, lo que supone una oportunidad de aprovechar sus propias ventajas estratégicas, cadenas de valor industriales, capacidades tecnológicas e infraestructuras.

Se aprecia desde diferentes ángulos que el hidrógeno tiene el altísimo potencial de reducir las emisiones contaminantes, además de ser un elemento de apertura para transacciones comerciales internacionales; algunos países tienen más ambición sobre este tema, como es el caso de Chile quien aspira al 2030 a producir y exportar el hidrógeno a partir de electrólisis o electricidad renovable ( hidrógeno verde). Por otro lado Brasil tiene disponibilidad de carbono bioenergético procedente de biocombustibles existentes e instalaciones de producción de bioelectricidad que puedan contribuir a la producción y exportación de combustibles sintéticos, que también necesitan de carbono e hidrógeno.<sup>94</sup>

Generar hidrógeno puede también producir nuevas oportunidades de empleo. El aumento del comercio también puede beneficiar a los países en desarrollo y a las exportaciones de H<sub>2</sub> con bajas emisiones de carbono de los mismos; como es el caso de Panamá, que se encuentra en el cruce de rutas marítimas comerciales importantes y se proyecta como un núcleo de distribución de H<sub>2</sub> para la región. <sup>95</sup>

El hidrógeno verde también puede aumentar la seguridad energética y en la continua integración de las energías renovables en los sistemas eléctricos. Este puede ser el sustituto ideal de gas natural en algunos países. Así también, el elemento podría incluso almacenar electricidad estacional e interanual a partir de los excedentes de energías renovables en una región con altos porcentajes de energía hidroeléctrica y pueda ejercer un suministro con estabilidad a partir de estaciones de energías renovables.

Pese a lo llamativo y amigable que podría resultar el hidrógeno frente al consumidor, el comercio, el medio ambiente y muchos otros rangos adiciones; este debe enfrentar aún desafíos en América Latina, donde se deberá tener en cuenta la aprobación de las políticas, adecuada regulación, impulso industrial, innovación, creatividad, apoyo fiscal, servicios financieros, entre otros sectores que impulsen plantas electrolizadoras o nuevas tecnologías para el uso del hidrógeno. También los estados latinoamericanos deberán ejercer estrategias de hojas de ruta para cada caso para responsabilizarse en la medida posible de los avances del uso de este elemento y para su despliegue futuro. Por ejemplo, la hoja de ruta Costarricense de 2018 para el uso de hidrógeno en el

---

<sup>94</sup> Hidrogeno en América Latina, 2019. AIE, Agencia Internacional de la Energía.  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA\\_HydrogeninLatinAmerica\\_Fullreport\\_Spanish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport_Spanish.pdf)

<sup>95</sup> Ídem

transporte estableció un marco legal para que las entidades públicas comenzaran a desarrollar actividades relacionadas con el hidrógeno e identificó el parque móvil público como su primer objetivo de desarrollo. Chile en el 2020 identificó como principales metas la sustitución del hidrógeno de origen fósil en las refinerías del país y nuevas aplicaciones en transporte pesado y de larga distancia. Asimismo, el país se fijó el gran objetivo de tener 25 GW de capacidad de electrólisis instalados o en desarrollo para 2030. Chile es el único país no perteneciente a la Unión Europea con un objetivo específico para los electrolizadores.

Para aplicar en cada país latinoamericano estas hojas de ruta, los responsables de las políticas públicas necesitarán mucha iniciativa respecto al uso del hidrógeno, para abarcar instrumentos regulatorios, económicos, fiscales, códigos, normas, campañas de educación, información, y solicitar ayuda a las asociaciones público-privadas e inversiones directas.<sup>96</sup>

## **19.2 Oportunidades políticas y económicas para el Hidrógeno en América Latina.**

Dentro de las políticas sugeridas por la Agencia Internacional de Energía para el aprovechamiento del hidrógeno y otras energías limpias, se encuentran:

### **A. Descarbonización de la producción existente**

En Argentina, Colombia, Brasil, Chile, México, y Trinidad y Tobago, la demanda del hidrógeno existente puede ser el punto de partida para el despliegue del hidrógeno de bajas emisiones de carbono y sirve de laboratorio para probar nuevas tecnologías que sustituyan la producción actual por alternativas bajas en emisiones de carbono y se descubran nuevas tecnologías con el uso del hidrógeno.

En Trinidad y Tobago, se prevé que su proyecto NewGen ha comenzará a producir alrededor de 27kt de hidrógeno al año mediante electrólisis del agua para el 2024, esto con el fin de sustituir parte de la producción obtenida a partir del gas natural en una planta de amoníaco.<sup>97</sup>

Dentro de las tecnologías de captura, almacenamiento y uso del carbono (CCUS), las cuales buscan reducir el CO<sub>2</sub> a la atmósfera, capturándolo y almacenándolo de forma segura para su uso, dependen en Latinoamérica de su disponibilidad y el costo de una infraestructura adecuada para el almacenamiento del CO<sub>2</sub>. El desarrollo de capacidad para el CCUS en América Latina requerirá avances en:

1. La identificación y el desarrollo de recursos de almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>96</sup> Idem

<sup>97</sup> Hidrogeno en América Latina, 2019. AIE, Agencia Internacional de la Energía. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA\\_HydrogeninLatinAmerica\\_Fullreport\\_Spanish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport_Spanish.pdf)

2. El establecimiento de marcos jurídicos y regulatorios para las actividades de CCUS.
3. La aplicación de políticas específicas para las CCUS, tales como el apoyo en infraestructuras relacionadas con el CO<sub>2</sub>.
4. En el caso de algunos países, el acceso a financiamiento internacional para construir capacidad, movilizar capital y fomentar la inversión.<sup>98</sup>

## **B. Creación de demanda para nuevos usos.**

La producción o generación de hidrógeno deberá ser considerada tanto como su uso. Se deberá revisar con cuidado la sustitución de importaciones de amoníaco (ejemplo el proyecto HyEx en Chile), el suministro de electricidad renovable estable. Podrían existir oportunidades adicionales en vehículos industriales pequeños, como los montacargas utilizados en los almacenes y centros de distribución.

Para minimizar el impacto fiscal, el apoyo público deberá orientarse hacia proyectos que se centren en los usos del hidrógeno más prometedores para cada país y fácilmente realizables al momento presente como base para el desarrollo inicial. Esto se hace en proyectos competitivos en Chile (Aceleradora H2V) y Uruguay (H2U). También con la iniciativa de otros proyectos piloto en sectores cercanos a los consumidores también ayudan a despejar dudas en torno a la seguridad del uso del hidrógeno<sup>99</sup>.

## **C. Revisión de la asignación de un precio al carbono en América Latina.**

Existen distintas estimaciones del valor del precio del carbono que podría activar la inversión en hidrógeno bajo en carbono. Algunos sitúan en 50-145 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>-eq l rango para estimular la inversión en hidrógeno bajo en carbono en cuya obtención se ha usado técnicas CCUS para que sea competitivo frente a la producción procedente de combustibles fósiles sin medidas de mitigación.

Algunos países de América Latina han adoptado gradualmente un número creciente de iniciativas explícitas de asignación de un precio al carbono, en forma de impuestos sobre el carbono, un régimen de comercio de emisiones (RCDE) o alguna combinación de ambos. Desde 2017, Argentina, Colombia, y Chile aplican un impuesto al carbono y México grava el carbono desde el 2014 ( en fechas más recientes se han introducido tres impuestos al carbono a nivel Nacional), lo que se complementa con otro proyecto de RCDE que arrancó en enero del 2020. RCDE y Chile están reformando su impuesto al carbono y ha presentado una propuesta de despliegue paralela a un sistema para limitar las emisiones de GEI, que podrían concretarse en forma de RCDE o de norma de desempeño intercambiable.

---

<sup>98</sup> Hidrogeno en América Latina, 2019. AIE, Agencia Internacional de la Energía.  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA\\_HydrogeninLatinAmerica\\_Fullreport\\_Spanish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport_Spanish.pdf)

<sup>99</sup> Ídem.

Todas las iniciativas de fijación de precios para el carbono existentes en América Latina afectan sectores relacionados con el hidrógeno, sin embargo los precios son demasiado bajos para activar la inversión en hidrógeno de bajas emisiones de carbono. Los precios del carbono son relativos, varían según los países; sin embargo los precios del carbono se aplican en el rango de 5-10 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>-eq, que todavía queda por debajo del rango necesario para provocar la inversión en hidrógeno de bajas emisiones de carbono.

#### **D. Planes de inversión y financiamiento.**

Como los planes, proyectos y tecnologías del hidrógeno aún se encuentran en obra negra o proyectos “piloto”, los gobiernos tendrán un importante papel a la hora de sentar las bases o normas para la respectiva inversión privada, fomentando modelos y estructuras empresariales específicas, contribuyendo a la creación de la infraestructura necesaria y apoyando estos proyectos a pequeña, mediana y gran escala.<sup>100</sup>

Entre los objetivos de los responsables de la creación de estas políticas deberán figurar el fomento del aprendizaje entre los agentes del mercado, el desarrollo de las cadenas de valor, la creación de personal capacitado en el sector. Esto, con el propósito de alimentar un ecosistema de agentes, generar impulso del hidrógeno y ofrecer la confianza necesaria para emprender una vía estratégica y creíble para el desarrollo del hidrógeno como generador energético.

Las hojas de ruta y los procesos conducentes a su desarrollo contribuirán a este objetivo. Gracias a estos avances, muchos países ofrecerán una visión general de los pasos que se pretendan dar a nivel regulatorio en las diferentes etapas de estrategia de despliegue. Esto influye en los promotores de proyectos y en la confianza de los inversores para alcanzar hitos a lo largo del tiempo, reduciendo el riesgo percibido y haciendo que los proyectos sean más seguros financieramente. Por ejemplo, las directrices de obtención de una normativa específica sobre el hidrógeno en Chile.<sup>101</sup>

Los gobiernos también pueden apoyar proyectos directamente por ejemplo con la creación de fondos de desarrollo que proporcionen financiamiento en condiciones favorables y garantías, o a través de bancos de desarrollo que hayan desempeñado un papel clave en el despliegue de tecnologías energéticas no contaminantes y cadenas de suministro locales en la región. Los bancos multilaterales de desarrollo ya están apoyando estudios de viabilidad y procesos de diseño de hojas de ruta en toda la región, ejemplo: Banco Interamericano de Desarrollo en Chile, Costa Rica, Colombia, Paraguay y Uruguay. Estos pueden contribuir al financiamiento de proyectos piloto pequeños (pero escalables), en particular los relacionados con el hidrógeno electrolítico de bajas emisiones de carbono, así como proporcionar asistencia técnica y desarrollo de capacidades. Si se consigue una demanda suficiente de hidrógeno de

---

<sup>100</sup> Hidrogeno en América Latina, 2019. AIE, Agencia Internacional de la Energía.

[https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA\\_HydrogeninLatinAmerica\\_Fullreport\\_Spanish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport_Spanish.pdf)

<sup>101</sup> Ídem.

bajas emisiones de carbono y progreso tecnológico lo permite, es probable que el despliegue a gran escala de las tecnologías de producción se financian en gran medida con deuda, como lo que ocurre con la generación de eólica y solar fotovoltaica. Sin embargo, es posible que la producción de hidrógeno de bajas emisiones de carbono a partir de combustibles fósiles tenga que depender sobre todo de fondos propios, ya que las principales instituciones multilaterales son reacias a financiar nuevos proyectos energéticos basados en combustibles fósiles.

La oferta y la demanda del hidrógeno en varios sectores necesitará una nueva infraestructura habilitante con grandes exigencias del capital. Esto será clave para el escalamiento de los mercados tanto a nivel nacional como internacional en función de las necesidades y economías de cada país, se podría incluir, la expansión de las redes eléctricas para apoyar un mayor despliegue de la capacidad de generación de energía renovable. Por lo tanto, el apoyo público ( a través de financiamiento de deuda en condiciones favorables, subvenciones, beneficios fiscales, cofinanciamiento y alianzas público-privadas) y las iniciativas regionales para concretar mercados a través de las fronteras puedan contribuir notablemente al despliegue de la infraestructura habilitante a las cadenas de suministro de hidrógeno.

Los gobiernos también pueden ayudar en la cadena de valor del hidrógeno al establecer programas de certificación e bajas emisiones de carbono y garantías de origen.

En cuanto al crédito comercial, a corto y mediano plazo no habrá un mercado transfronterizo líquido para el hidrógeno. Por ello, es probable que los proyectos de producción de hidrógeno necesiten acuerdos de compra garantizada para ser financiados, para tener seguridad y garantía en sus compras.

Se planea que en primera etapa, las instalaciones de producción puedan estar estrechamente vinculadas a clientes individuales y dado que en la cadena de valor intervienen otros proyectos pueden ser de alto riesgo (ejemplo: la producción de electricidad con energías renovables o la transformación del hidrógeno), el riesgo crediticio de los proyectos se elevaría.

En las industrias, una solución puede consistir en establecer intermediarios que firmen contratos plurianuales para el suministro de hidrógeno en el futuro y así reducir el riesgo percibido. En algunos países de América Latina, el riesgo cambiario también podría afectar a la capacidad de obtener financiamiento para estos proyectos.<sup>102</sup>

La próxima década será de suma importancia para asegurar el potencial a largo plazo del Hidrógeno bajo en carbono en América latina, se visualiza que se creen programas

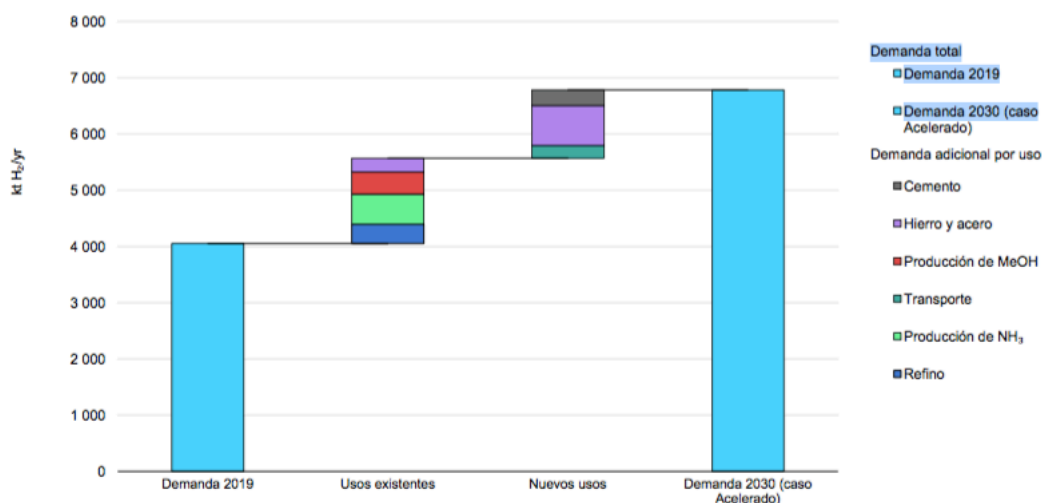
---

<sup>102</sup> Hidrogeno en América Latina, 2019. AIE, Agencia Internacional de la Energía.  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA\\_HydrogeninLatinAmerica\\_Fullreport\\_Spanish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport_Spanish.pdf)

de certificación por el uso del elemento, garantías de origen reconocidas a nivel internacional, se creen alianzas comerciales derivadas del hidrógeno y de sus productos derivados.<sup>103</sup>

La demanda del uso de hidrógeno aumentará considerablemente en los próximos años. En América Latina sólo se usa el 20% a la actualidad de la demanda potencial del hidrógeno.<sup>104</sup>

**Cambios en la demanda de hidrógeno por sector, caso Acelerado, América Latina, 2019-2030**



**Figura 19:** Hidrógeno en América Latina, 2019. AIE, Agencia Internacional de la Energía, basados en estadísticas de la AIE, estudios por países y datos de la Asociación Internacional de Fertilizantes, Wood Mackenzie, el Anuario Estadístico del acero de la Asociación Mundial del Acero, el anuario del Instituto Petroquímico Argentino, ANP Brasil y el Sistema de Información Energética de México, entre otros.

El diagrama anterior muestra un desarrollo positivo en cuanto al futuro del hidrógeno para el 2030. Partiendo de la base de que, entrarán en vigor políticas energéticas y climáticas más ambiciosas, también el avance tecnológico se aspira más novedoso.

Para el uso común del hidrógeno, se espera que su uso se implante en edificios, casas, o en pilas para vehículos de combustible alternativo. Se deberán incentivar programas para el uso del elemento para lograr su desarrollo e implementación. A corto plazo

<sup>103</sup> Ídem.

<sup>104</sup> Hidrogeno en América Latina, 2019. AIE, Agencia Internacional de la Energía. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA\\_HydrogeninLatinAmerica\\_Fullreport\\_Spanish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport_Spanish.pdf)



para evitar las emisiones de carbono, y a largo plazo, contar con oportunidades de comercio internacional.

Se espera que los electrolizadores bajen de precio, o tengan precios muy competitivos en el mercado, así la industria los pueda adquirir en varios países siendo estos más asequibles.

Las estructura regulatoria debe ser fundamental para estos cambios ambientales; los políticos deben tener prioridades estratégicas a fin de aprovechar las bondades del hidrógeno. Se debe contar con planificación estratégica a partir de un riguroso análisis y de una visión clara del cometido del hidrógeno en la transición nacional hacia las energías limpias, así como de la publicación de artículos de avance en el proceso, y hojas de ruta que generen avances en el sector público y privado.

## **20. Directiva de la estrategia de la Unión Europea respecto al Hidrógeno.**

La Unión Europea respalda el Acuerdo de París, el pacto verde Europeo y el objetivo de lograr una transición justa y rentable que conduzca el equilibrio climático para el 2050 a más tardar.

El objetivo que se plantea la UE respecto al cambio climático consiste en reducir las emisiones de gases efecto invernadero para el 2030 al menos en un 55% por debajo de los niveles de 1990, y que el parlamento ha respaldado el objetivo de reducir las emisiones de GEI en menos de un 60% respecto a los niveles de 1990 también para el 2030.

El parlamento europeo considera que los combustibles fósiles son responsables en buena medida del calentamiento global y que el Acuerdo de París pretende mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 grados centígrados y de ser posible hasta reducirlos al 1,5 °C.

Para la UE es importante concebir una transición económica de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero. Requiere una transición rápida y justa guiada públicamente hacia un sistema energético basado en energías renovables y altamente eficiente en términos de recursos y energía que garanticen la sostenibilidad y la salud.

Los combustibles alternativos limpios también deben desarrollar avances tecnológicos más amplios para reducir el consumo de los combustibles fósiles.

La UE también tiene en cuenta que el 2% de la combinación energética está constituida por hidrógeno y que el 95% se produce utilizando combustibles fósiles, liberando entre 70 y 100 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año, mientras que a escala mundial representa el 2,5% de las emisiones de gases de efecto invernadero y que menos del 1% del hidrógeno producido actualmente se utiliza como vector energético; para esto se muestra que algunos estudios muestran que la energía renovable podría representar hasta el 100% de la combinación energética de la UE en

el 2050, en la que el hidrógeno tendría una representación del 20%, entre el 20% al 50% de la energía utilizada para el transporte y el 5 al 20% de la energía utilizada en la industria.

Considera el parlamento europeo que cada año se producen 120 millones de toneladas en todo el mundo cada año, tanto como subproducto de las industrias de refinado y química ( 70 millones de toneladas) como en instalaciones de productos especializados ( 50 millones de toneladas) y que la mayor parte del hidrógeno se produce utilizando combustibles fósiles, donde el 6% de gas natural y el 2% del carbón a nivel mundial que se utilizan para la producción de hidrógeno, y menos del 0,1% se produce utilizando electrólisis del agua. A su vez, EEE posee 1 GW total de capacidad instalada para electrolizadores de hidrógeno, lo que representa entre el 1 al 4% de capacidad total de producción del elemento.; también en este mismo rango, se proyecta que el porcentaje total de producción de hidrógeno a partir de los combustibles fósiles con captura y almacenamiento de carbono, es de 0.7%.

Otros datos de la misma, arrojan que el 43% de la producción de hidrógeno del mundo se utilizan para producir amoníaco, el cual se usa principalmente para producir fertilizantes agrícolas. De este, el 52% se usa para refinar y depurar hidrocarburos y el 5%.

En cuanto a la producción de acero se representa en torno al 10% de las emisiones de gases de efecto invernadero, indirectas, en el mundo, y el transporte marítimo emite en torno al 2.5% de emisiones de gases de efecto invernadero y que el desarrollo del hidrógeno renovable podría ayudar a reducir las emisiones en estos sectores.

En el transporte, se gastan 27% del total de emisiones de gases de efecto invernadero de la unión. El hidrógeno tendría múltiples aplicaciones en toda la industria, en los sectores de la electricidad y la construcción y se ofrece con un gran combustible alternativo para el transporte. En cuanto al transporte de carga, es difícil la des carbonización, entonces se estima que los coches eléctricos sean los vehículos privados, ya que las baterías eléctricas, por lo general de litio, presentan problemas para vehículos pesados. Por este lado, el hidrógeno comandará los grandes vehículos, ya que se puede almacenar en grandes cantidades de energía a bordo de un vehículo o buque.

El hidrógeno además constituye un rol importante para la economía en la Unión Europea debido al COVID-19, ya que podría crear hasta 1 millón de puestos de trabajo directos, de alta calidad de aquí al 2030, y 5,4 millones de empleos del presente al 2050. La relación estimada sería de 10300 puestos de trabajo, por cada mil millones de euros invertidos, cantidad que puede multiplicarse con los puestos de trabajo de energía renovable. <sup>105</sup>

---

<sup>105</sup> Propuesta de resolución del parlamento Europeo sobre una estrategia para el hidrógeno. Parlamento Europeo: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)

Para el ejercicio regular de transporte de hidrógeno, se estima que las líneas de distribución y transmisión de energía estén bien desarrolladas, con óptima calidad y altos estándares, para ser consumido por toda la Unión, a esto se adhiere los planes políticos y económicos por la misma para que el sistema energético sea sustentable y sostenible medioambientalmente y que el rumbo tecnológico perseguido tenga modelos económicos modernos y viables a mediano y largo plazo.

Se deberá tener en cuenta una normatividad similar para el caso del hidrógeno, respecto al gas natural, debido a las características del elemento, brindando seguridad del suministro, asequibilidad de la energía a los consumidores de la UE durante décadas posteriores y utilizar un modelo para fomentar el desarrollo de un futuro mercado de consumo energético verde.

Para la UE es importante identificar esta economía competitiva y sostenible con mercados de energía limpia, es por eso que se enfatiza en una necesidad de estrategia sobre la cadena de valor del hidrógeno, incluidos sectores de oferta y demanda, y que se coordine en todos los sectores para la generación de electricidad renovable y reducir costes eléctricos. También enfatiza la importancia del desarrollo de tecnologías innovadoras para el desarrollo de electrólisis; enfatiza que la economía del hidrógeno debe ser compatible con los planes estimados del Acuerdo de París, los objetivos de la UE y los objetivos del desarrollo sostenible de las Naciones Unidas.

En cuanto a los productos derivados del hidrógeno, como combustibles sintéticos producidos con energía renovable, constituyen una alternativa neutra a la huella de carbono producida por los combustibles fósiles, reduciendo así las emisiones contaminantes y reduciendo la aceleración al calentamiento global.

Los estados miembros poseen un plan de inversión sobre el hidrógeno verde, sumado a una lista de estrategias que deben estar alineadas con planes climáticos y medioambientales a fin de nuevas propuestas legislativas, y que se convierta en parte de una política industrial coherente, teniendo en cuenta que la estrategia sobre el hidrógeno no es un objetivo en sí mismo, sino que debe considerarse en el contexto de los esfuerzos globales de la Unión para reducir las emisiones de gases efecto invernadero, garantizando a su vez, empleos estables, de calidad y contribuyendo a la competitividad de la industria de la UE.<sup>106</sup>

## **20.1 Clasificación y normas del hidrógeno de la Unión Europea.**

Considera el parlamento europeo una clasificación jurídica para los diferentes tipos de hidrógeno, respecto a sus colores internacionalmente identificados, se realizan acuerdos con terminología amplia, precisa, uniforme y en base científica para toda la Unión, con el fin de adaptar las definiciones jurídicas nacionales y ofrecer una clasificación clara que aporte seguridad jurídica.

---

<sup>106</sup> Propuesta de resolución del parlamento Europeo sobre una estrategia para el hidrógeno. Parlamento Europeo: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)

Se tendrá en cuenta con amplitud y suma importancia el proceso de producción de hidrógeno, ya que se pueden liberar altas emisiones de gases de efecto invernadero en su transporte ya que en el proceso de extracción pueden existir fugas de metano y otros contaminantes. Se valorarán criterios transparentes y sólidos en cuanto sostenibilidad y economía circular y protección de recursos, gestión de residuos y aumento de uso de materias primarias y secundarias, prevención por control de contaminación y protección y restauración de los ecosistemas y la biodiversidad.<sup>107</sup>

Señala que la Comisión Europea llamara a este elemento como hidrógeno renovable, tratándose del comúnmente conocido hidrógeno verde, y hace hincapié a la urgente necesidad de normas y certificación internacional. Señala además que las garantías de origen en consonancia con los registros nacionales deberán considerarse para garantizar que el hidrógeno renovable pueda incrementarse a su debido tiempo y que los consumidores puedan elegir conscientemente soluciones sostenibles. La inversión en generación en electricidad renovable es también importante en el desempeño de las metas propuestas para la UE, pide a su vez que la Comisión regule antes del 2021 un marco reglamentario para que el hidrógeno garantice la normalización, la certificación, las garantías de origen, el etiquetado y la negociabilidad de los estados miembros y que utilice también la próxima versión del régimen de comercio de derechos de emisión de la UE para examinar qué cambios son necesarios para liberar todo el potencial del hidrógeno para contribuir a los objetivos climáticos de la Unión, teniendo en cuenta los riesgos de la fuga de carbono. Clasificar los diferentes tipos de hidrógeno servirá para informar a los consumidores de los efectos de producción o generación del mismo elemento. La UE solicita promoción de mejores prácticas y una cultura de seguridad para el uso del hidrógeno para todo el continente.

## **20.2 Aumento de la producción de hidrógeno.**

La UE promulga la promoción de pymes para apertura de nuevos mercados eléctricos como la del hidrógeno flexible con el fin de facilitar a los empresarios la producción y distribución del elemento, puesto que se necesita una planificación pública democrática asociando a productores, trabajadores y sus sindicatos, científicos y organizaciones gubernamentales. Se promete que la distribución del hidrógeno llegue a sectores menos favorecidos. Anima a la comisión y a los estados miembros a evaluar por estos casos específicos para la elaboración de oleoductos o vías de transporte eléctrico adecuado para el suministro del mismo.<sup>108</sup>

La planificación de la regularización del hidrógeno será importante en relación con los principios de proporcionalidad, subsidiariedad y en la mejora de la legislación, para la necesidad de formalizar su mercado y comercialización. Teniendo en cuenta que el mercado del hidrógeno todavía no está maduro y necesita perfeccionarse. Se insiste

---

<sup>107</sup> Propuesta de resolución del parlamento Europeo sobre una estrategia para el hidrógeno. Parlamento Europeo: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)

<sup>108</sup> Ídem

en la revisión de la Directiva sobre fuentes de energía renovable, la Directiva sobre fiscalidad de la energía y la directiva RCDE, a fin de garantizar unas condiciones de competencia equitativas y un marco reglamentario adecuado.

La Comisión se encargaría de crear hojas de ruta para el uso de electrolizadores de hidrógeno y la producción del mismo. Esta con el fin de garantizar coste-efectividad; insta a la Comisión y a los Estados miembros a que eliminen las cargas administrativas existentes y que incentiven la expansión de la cadena de valor y la introducción en el mercado del hidrógeno renovable para que este sea competitivo a nivel industrial. Se reconoce que podría ser un mercado muy competitivo para antes del 2030, siempre que se hayan establecido las inversiones necesarias y un marco reglamentario adecuado.

Las funciones de captura, almacenamiento y utilización de carbono, asegura términos ambientales para que se puedan desempeñar para alcanzar los objetivos del Pacto Verde Europeo; apoya un contexto de integralidad de política para estimular estas metas seguras en términos medioambientales.

La Unión Europea solicita la revisión de la Directiva sobre la fiscalidad de la energía, a su vez, pide a los Estados miembros que consideren la posibilidad de reducir los impuestos y gravámenes sobre las energías renovables en toda la Unión, según proceda, que eliminen la doble imposición de impuestos y tasas sobre la electricidad generada a partir de instalaciones de hidrógeno, que constituyen un obstáculo para un mayor despliegue del hidrógeno, y que refuercen los incentivos financieros para producir energía renovable, al tiempo que se sigue trabajando a favor de la eliminación gradual de las subvenciones a los combustibles fósiles y las exenciones de impuestos y gravámenes.

El hidrógeno verde puede producirse a partir de varias fuentes de energía renovables, como la energía eólica, la energía solar y la energía hidráulica. La Comisión también resalta el potencial de la energía renovable marina, que evalúe de qué forma las fuentes de energía renovables marinas podrían allanar el camino para ampliar el desarrollo y adaptación del hidrógeno renovable.<sup>109</sup>

Se deberá planificar cuidadosamente la transición energética hacia un sistema energético climáticamente neutro, teniendo en cuenta la infraestructura de los estados miembros. Hace hincapié en que los Estados miembros deben ser flexibles a la hora de diseñar medidas de apoyo, incluidas las medidas de ayuda estatal, para el desarrollo de las economías a partir del hidrógeno.

---

<sup>109</sup> Propuesta de resolución del parlamento Europeo sobre una estrategia para el hidrógeno. Parlamento Europeo: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)

### **20.3 Participación ciudadana.**

La participación de los ciudadanos es de suma importancia en la aplicación de una transición energética justa y exitosa. Subraya la importancia de las partes interesadas para que se compartan los costes y los beneficios de un sistema integrado.

Se insiste que las comunidades deben participar en la producción de hidrógeno, recuerda la obligación de establecer un marco favorable en acuerdo a la Directiva sobre normas comunes para el mercado de la electricidad y pide que este sector tenga las mismas ventajas competitivas que otros sectores.<sup>110</sup>

Se necesitará de mucho personal que cuente con conocimientos especializados en sectores energéticos, en particular a seguridad, se destaque por su formación profesional sólida. Se pide a la Comisión que se tomen planes de acción para los estados miembros de la Unión Europea, para que elaboren programas específicos sobre el hidrógeno para trabajadores, ingenieros, técnicos, estudiantes, economistas y público en general. Se deberá fomentar más la igualdad de oportunidades en el sector y se hace hincapié a la UE para obtener mayores posibilidades de empleo en el sector.

Parte crucial del éxito del mercado del hidrógeno es la capacitación ideal en el ámbito laboral con sus salarios garantizados.<sup>111</sup>

Se pide a la Comisión que se elaboren informes sobre posibles consecuencias, repercusiones, impactos, retos y transformación de la industria, con su respectivo aumento de consumo, estadísticamente para el aumento del uso del hidrógeno. Se pide a la Comisión y a los Estados miembros que se desarrollen estrategias de transformación sectorial a este respecto, junto a la industria y los sindicatos; propone que se ponga en marcha una asociación de capacidades de la Unión.

### **20.4 Infraestructura del Hidrógeno**

Existe la necesidad de la UE para desarrollar las infraestructuras ideales para la producción, almacenamiento, y el transporte por hidrógeno, se debe incentivar una creación adecuada de capacidades para el desarrollo de la oferta y la demanda. Se subraya la importancia del desarrollo de redes de hidrógeno con acceso abierto libre y no discriminatorio.

Se considera la implementación de sistemas “multi-energéticos” flexibles, como la recuperación del calor que resta del proceso de electrólisis para redes de calefacción urbana; acoge favorablemente la propuesta de la Comisión para modificar el reglamento sobre las RTE-E; valora positivamente la inclusión del hidrógeno para que sean comercializados como el gas natural; toma en cuenta del nuevo sistema de gobernanza para los operadores energéticos.

---

<sup>110</sup> Ídem.

<sup>111</sup> Propuesta de resolución del parlamento Europeo sobre una estrategia para el hidrógeno. Parlamento Europeo: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)

Se tendrá en cuenta la planificación, la regulación y el desarrollo de infraestructuras adecuadas para la transmisión del hidrógeno para distancias más largas y su almacenamiento.

Subraya la importancia de una infraestructura futura transparente integradora y con base científica hacia una planificación integrada de las redes de transmisión y distribución con apoyo de la ACER, Agencia de la Unión Europea para la Cooperación de los Reguladores de Energía, y la participación de las partes interesadas y los organismos científicos.

Se recalcan los costos y beneficios que traería la producción de hidrógeno con la necesidad de constituir mejoras, a fin de evitar pérdidas en los activos y minimizar los costes; dentro de estos procesos, se intensifica la necesidad por reorientar los gasoductos para transporte de gas e hidrógeno puro y su almacenamiento subterráneo.

Parte favorable del desarrollo de estos gasoductos, es el de minimizar el uso del suelo y los recursos, los costes de inversión y reducir al mínimo el impacto social, para esto también la Comisión revisa que sean compatibles los ductos de transporte de gas, con los del hidrógeno, a su vez que insten de su adecuada regulación para cada uno de los casos.

Deberán ser esenciales las funciones estratégicas de los puertos marítimos e interiores multimodales como polos y centros de innovación para la importación, producción, almacenamiento, suministro del uso del hidrógeno, se deberá hacer inversión en infraestructura necesaria para promover el uso de esta nueva tecnología.

## **20.5 Demanda del Hidrógeno en la Unión Europea**

Reconoce que la demanda del hidrógeno debe centrarse en sus competencias energéticas, recurriendo a nuevas soluciones tecnológicas; se destaca con la Comisión que los principales mercados líderes para la demanda de hidrógeno son la industria y el transporte aéreo, marítimo y de carga pesada; se considera que estos tres sectores deben establecerse hojas de ruta para el desarrollo del uso del hidrógeno.

Celebra que la comisión considera diversas opciones para incentivar la demanda como lo son:

- I. Las cuotas para el uso del hidrógeno renovable en un número limitado de sectores específicos.
- II. Las garantías del banco europeo de Inversiones para reducir el riesgo inicial de inversión hasta que sean competitivas por los contratos por diferencia para el carbono (CCFD) para proyectos que utilicen hidrógeno renovable o con bajas emisiones de carbono.

Se podría considerar un periodo transitorio para promover la descarbonización a través del hidrógeno. Sería fundamental para mantener la competitividad de los

usuarios finales. Se deberá elaborar un plan piloto para los contratos por diferencia para el carbono, en particular para el acero limpio.

El parlamento europeo señala que existen obstáculos en algunos de los marcos reglamentarios actuales para el uso del hidrógeno; anima a la comisión y a los estados miembros a que adapten esos marcos reglamentarios con el fin de estimular a la demanda del hidrógeno y eliminar desincentivos como la inseguridad jurídica.<sup>112</sup>

Se resalta que una cuarta parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> la produce el transporte, y es el sector donde no ha habido modificaciones respecto a estos niveles de contaminación desde 1990; el hidrógeno será el elemento ideal para la reducción de emisiones contaminantes, para esto será necesario revisar el Reglamento sobre la RTE-T (Red Transeuropea de Transporte), y la directiva sobre la infraestructura para los combustibles alternativos a fin de garantizar sinergias entre los distintos sistemas energéticos y combustibles alternativos que conduzcan un despliegue gradual de estaciones de servicio de hidrógeno acompañadas de requisitos técnicos y bajo normatividad de seguros y riesgos.

El hidrógeno en estado puro o como combustible sintético o bioqueroseno es un factor clave en la sustitución del queroseno fósil en la aviación. Señala que además el hidrógeno ya se utiliza en algunos sectores del transporte, aunque de manera limitada.

Se hace hincapié para que exista más regulación en el tema, a una legislación más estricta para incentivar el uso de combustibles con cero emisiones y otras tecnologías limpias, para hacer efectivo el uso del hidrógeno en otros medios de transporte: como el marítimo, el aéreo, de vehículos pesados, e incluso en vehículos particulares.

Se pide a la Comisión que se acelere el estudio del marco de la Estrategia de Movilidad Sostenible e Inteligente y que se evalúen si son necesarias las directivas sobre fuentes de energías renovables a fin de garantizar condiciones óptimas para el usuario final y el medio ambiente.

## **20.6 Investigación, desarrollo, innovación y financiación del hidrógeno.**

Se hace importancia en la investigación, desarrollo y la innovación de la cadena de valor del hidrógeno, e incluso de su crecimiento a escala industrial, para que a su vez, se intensifique en las regiones con mayor carbono. Se solicita a la comisión que fomente trabajos de investigación e innovación relacionados con la ejecución de proyectos a gran escala a fin de garantías del suministro.

Se deben invertir altas cantidades de dinero para hacer viables las proyecciones del hidrógeno verde sobre la Unión Europea, o incluso, en la fase de desarrollo,

---

<sup>112</sup> Propuesta de resolución del parlamento Europeo sobre una estrategia para el hidrógeno. Parlamento Europeo: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)



experimentar con contratos CFD (Contratos por diferencia) para disminución de riesgos.

Se destacan programas e instrumentos de financiación por parte de la UE como el “Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, Horizonte Europa, el Mecanismo Conectar Europa, InvestEU, incluido el eje de inversiones estratégicas de la UE como el fondo Europeo de Desarrollo regional, el Fondo de Cohesión, el Fondo de Transición justa y el Fondo de Innovación del RCDE, tienen un papel clave que desempeñar en el fomento del desarrollo cohesivo de una economía del hidrógeno en toda la Unión.<sup>113</sup>

Es importante contemplar la formación de asociaciones publico-privadas locales y regionales para el fomento del hidrógeno. Se deberá adoptar modelos financieros distintos para modelos de inversión, programas, y cooperación para las distintas pymes y APP's con igualdad de acceso a los mercados.

Europa es líder en la fabricación de electrolizadores y necesita mantener y promover esta venta competitiva; considera que los esfuerzos de investigación y desarrollo de la Unión deben centrarse en una amplia gama de nuevas fuentes y tecnologías de hidrógeno renovable, como el hidrógeno procedente de la fotosíntesis, algas o electrolizadores con agua de mar.

La Comisión acoge y acepta los preceptos energéticos de la Alianza Europea por un Hidrógeno Limpio, en lo que se le reconoce como “Alianza”, junto con otras asociaciones para el hidrógeno renovable, como lo son el Foro Europeo del Hidrógeno y los PIICE (Proyectos importantes de Interés Común Europeo), con el fin de apoyar la economía del hidrógeno de la Unión. Esta misma Alianza, deberá preocuparse por la cooperación con la Empresa Común pilas de combustible de hidrógeno FCH, un programa de inversiones y una cartera de proyectos que puedan garantizar la realización de objetivos en materia de hidrógeno lo antes posible; subraya que la Alianza debe centrarse en el desarrollo del hidrógeno renovable y alcanzar los objetivos climáticos del 2030 al 2050.

## **20.7 Cooperación internacional sobre el hidrógeno**

La UE quiere mantener el liderazgo en producción de tecnologías de hidrógeno a nivel industrial y también la innovación y desarrollo del elemento, para a su vez, representar los objetivos del cambio climático y el Acuerdo de París. Para lograr esto, se debe a su vez aumentar la producción nacional de hidrógeno, al mismo tiempo que reconocer que los estados miembros también puedan estudiar, la posibilidad de importar y exportar energía por hidrógeno a fin de satisfacer la demanda energética.

La Comisión y los estados miembros establecen y entablan un diálogo abierto y constructivo para establecer una cooperación y asociación mutuamente beneficiosa, el

---

<sup>113</sup> Propuesta de resolución del parlamento Europeo sobre una estrategia para el hidrógeno. Parlamento Europeo: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)

objetivo de aumentar la producción nacional de hidrógeno con las regiones vecinas como lo son: el norte de África, Oriente próximo, países de la Asociación Oriental, salvaguardando los intereses estratégicos y la seguridad energética de la UE, sin desaprovechar los beneficios de los mercados de las nuevas tecnologías, transferencia de conocimiento, con las respectivas mejoras en enlace con los países y regiones vecinas a fin de cumplir con los Objetivos del Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

Se enfatiza a los miembros que no son parte de la Unión Europea a ejercer mayor colaboración y participación en el desarrollo de la transición energética y de las energías renovables, junto con la participación en la elaboración de normas internacionales y el establecimiento de definiciones y metodología para definir emisiones globales por unidad de hidrógeno producida y de pre productos de hidrógeno. Parte de esto, consiste en ser coherentes con el futuro mecanismo de ajustes en fronteras de las emisiones de carbono de la Unión; pide asimismo a la Comisión y a los Estados miembros que inviertan en infraestructuras necesarias para la transformación de infraestructuras existentes en los puertos y en las conexiones transfronterizas para importación de hidrógeno renovable.

Se anima a la Comisión que el mercado del hidrógeno sea promovido por el euro como moneda de referencia.<sup>114</sup>

## **20.8 El papel del hidrógeno en un sistema energético integrado.**

El sistema energético integrado consiste en el desarrollo de la transición energética de la mano con los distintos sistemas de generación de energía renovable o limpia, en este caso, en sinergia, todos trabajarán a la par a fin de lograr la neutralidad climática global para el 2050, y así concluir los objetivos aspirados por el Acuerdo de París. Se incluye al hidrógeno dentro de esta competencia. Se deberá hacer hincapié en proyectos innovadores que combinen con la producción y recuperación de electricidad, hidrógeno y calor.

El desarrollo del hidrógeno atraerá economía equilibrada en el sistema energético, podrá contribuir a reducir desequilibrios en el sistema energético, y se reitera que el elemento podría contribuir al almacenamiento de energía para compensar fluctuaciones de oferta y demanda energética.

Se subraya que se deben analizar infraestructuras de transporte y distribución del elemento, anticipándose a la necesidad de desarrollo de instalaciones de producción de energía para garantizar la optimización técnica y económica del rubro.<sup>115</sup>

---

<sup>114</sup> Propuesta de resolución del Parlamento Europeo sobre una estrategia para el hidrógeno. Parlamento Europeo: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)

<sup>115</sup> Ídem.

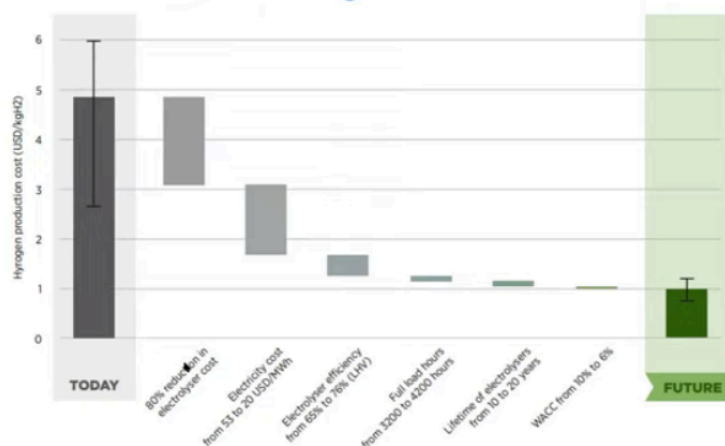
Las estrategias energéticas de los próximos años deberán ser ambiciosas y oportunas para el sector industrial, de transporte y el sector doméstico, pese a que el desarrollo y la evolución de la generación de energía por hidrógeno sea tardío debido a los elevados costes de producción y a las pérdidas de energía asociadas a su almacenamiento y sus regímenes reglamentarios tardíos.

## 21. Congreso técnico anual sobre electrólisis, por la Sociedad Mexicana del Hidrógeno (SMH).

El hidrógeno se encuentra en una fase de transición energética en México, aun no implementado más que para un enfoque científico.<sup>116</sup>

EN 1999 profesionales, científicos y académicos mexicanos fundan la sociedad mexicana del Hidrógeno “SMH”, que organiza un Congreso técnico anual sobre el hidrógeno. Esta sociedad ha experimentado de alguna u otra manera con el proceso de la electrólisis.

Una combinación de reducción de costos en electricidad y electrolizadores, combinada con una mayor eficiencia y vida útil operativa, puede generar una reducción del 80% en el costo del hidrógeno.



Source: IRENA, 2020, Green hydrogen cost reduction: Scaling up Electrolysers

**Figura 20:** Combinación de costos de electricidad y electrolizadores en mayor eficiencia y vida útil operativa, generando una reducción del 80% en el costo del hidrógeno. <https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>, SMH sociedad mexicana del hidrógeno.

En la primera fase se ve un costo notable por reducción de precios por medio de generación de hidrógeno por procesos de electrólisis, en esta primera fase el precio de la electricidad se reduciría un 80% por medio de este proceso, (aproximadamente 2

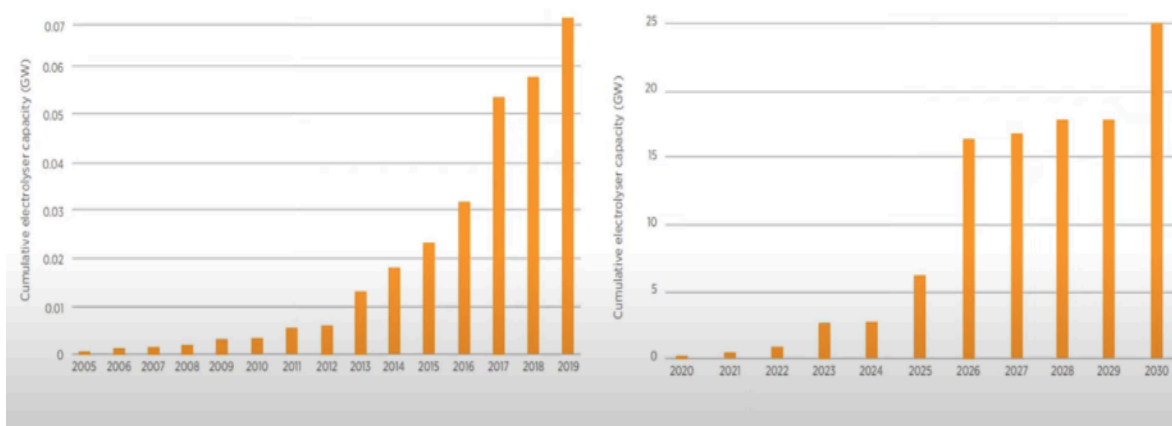
<sup>116</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next? Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

USD por kg de reducción). Posteriormente, con la apertura de nuevos parques eólicos y paneles fotovoltaicos, el costo se vera reducido de \$53 USD a \$20 USD/Mwh. en este se verá la mejora de \$2 USD a \$1.0 USD por Mwh.<sup>117</sup>

En la tercera fase de la gráfica, se observa como la mejora de los electrolizadores a futuro cambia de un 65% a un 75% aumentando la eficiencia energética.

En la cuarta etapa, se aumentarán las horas de producción de electrólisis en horas y en producción al existir mejoría técnica, en esta se podría observar como las horas de producción aumentan de 3200 a 4200 aproximadamente. En estos datos hay que tener en cuenta también la vida útil de los electrolizadores, los cuales no trabajan 24 horas al día, dando un desarrollo energético del 50% al operar 12 horas al día; siendo así su vida útil de producción de 10 a 20 años.

Por último tenemos el factor WACC ( Weighted Average Cost of Capital) el cual también se denomina: Costo promedio ponderado de Capital. Este decrece a medida que la inversión en energías limpias es superior, haciéndolo así, un factor variable, en lo que a mayor capital para los electrolizadores, menor es el factor de riesgo para las inversiones. <sup>118</sup> En este caso se ve la reducción de un 10% a un 6 %, para un periodo comprendido del 2020 al 2050.



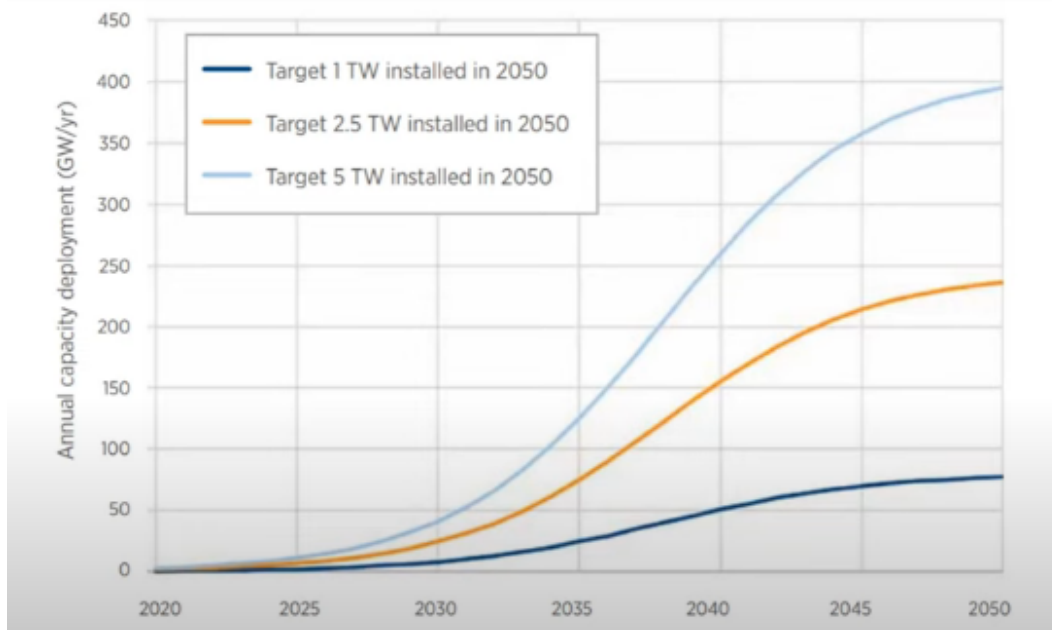
**Figura 21:** Capacidad instalada de electrólisis en el mundo. Izquierda ( histórico) y derecha (basada en anuncios de proyectos). <https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>, SMH sociedad mexicana del hidrógeno.

Es una escala exponencial, el uso del hidrógeno por medio de electrólisis es un panorama positivo en el medio de las energías limpias. En la gráfica de la izquierda se

<sup>117</sup> Foro: Actualidad de procesos de electrólisis en México. Sociedad Mexicana del Hidrógeno (SMH)

<sup>118</sup> WACC, definición, interpretaciones equivocadas y errores. Pablo Fernández. <https://media.iese.edu/research/pdfs/DI-0914.pdf>

puede observar la capacidad instalada en GW ( de cero a siete GW), mientras que en la gráfica de la derecha para una proyección al 2030, se estima una producción de capacidad instalada de cero al 25% GW.



**Figura 22.** Capacidad de fabricación de electrolizadores necesaria estimada (GW/año) para cumplir con diferentes objetivos de capacidad instalada para el 2050.

México podría demandar entre 30 y 35 GW de electricidad por medio de electrólisis en el 2050, según un estudio de la GIZ; esto es un llamado no sólo a la producción menor de electrólisis sino a la fabricación masiva de la misma. Las empresas que comandan esta carrera son ENEL y ATM, estas empresas producen 1GW al año.

Para alcanzar un estimado de 15 TW de capacidad instalada en el 2050, se requiere un aumento de fabricación de electrolizadores para un estimado de 70-360 GW en el año 2030.<sup>119</sup>

### 21.1 Procesos de electrólisis: Alcalina y PEM

Al día de hoy existen dos formas de producción de electrólisis, la manera Alcalina (o tradicional) y la PEM.

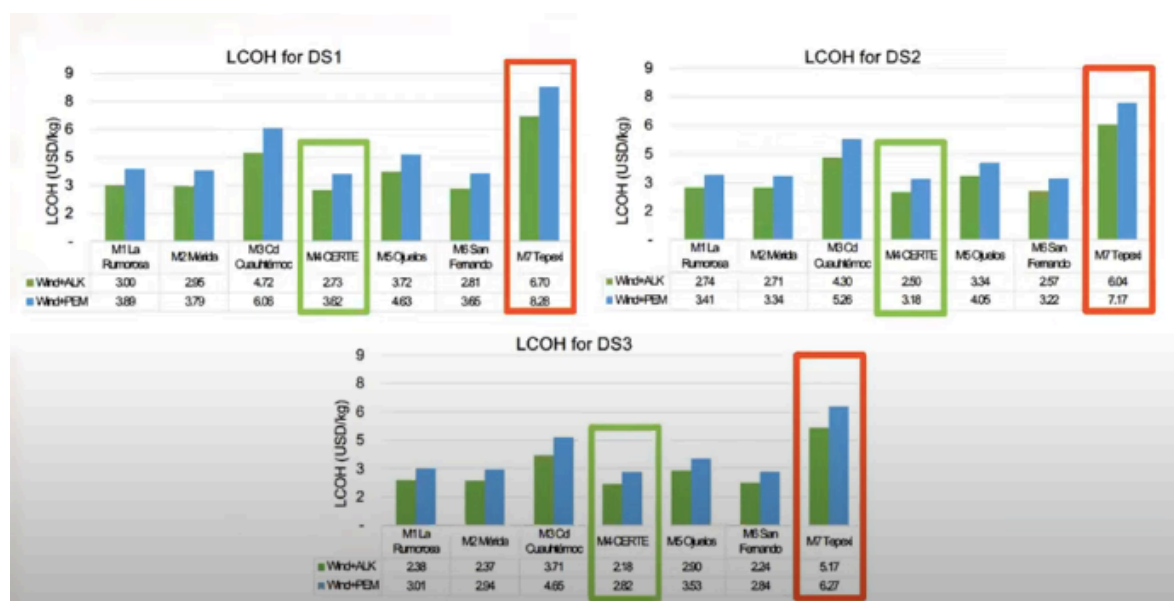
La primera usa un electrolito líquido, que generalmente suele ser una solución acuosa alcalina como hidrógeno potásico (KOH) o hidrógeno sódico (NaOH); mientras que la segunda, o electrólisis PEM (Proton Exchange Membrane) utiliza una membrana de intercambio protónico como electrolito sólido.

<sup>119</sup> Foro: Actualidad de los procesos de electrólisis en México <https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>, SMH sociedad mexicana del hidrógeno.

La electrolisis alcalina es la tecnología más madura y más desarrollada al día de hoy, bajo todas las tecnologías de producción de hidrógeno vía electrolítica. Este tipo de sistemas usan catalizadores basados en níquel, cobre, rutenio y molibdeno; ya que cuando la electrólisis se desarrolla por PH altos, no se necesitan otros metales nobles. Esto hace que los costos de estos sistemas sean relativamente bajos, razón por la cual ha sido la tecnología de electrolisis más empleada en las últimas décadas para la producción de hidrógeno a gran escala. Esta es la que tiene mayor potencial para presentar la generación de hidrógeno a gran escala, debido a su disponibilidad y costes bajos.

La electrólisis PEM, trabaja con menor densidad de corriente que la electrolisis convencional o alcalina, sin embargo presenta mayor coste al usar una membrana de polímero plástico bastante costosa: El Nafion; esta además tiene limitaciones que impiden usar su funcionamiento, lo que impide su comercialización plena.<sup>120</sup>

## 21.2 Costes nivelados del hidrógeno LCOH.



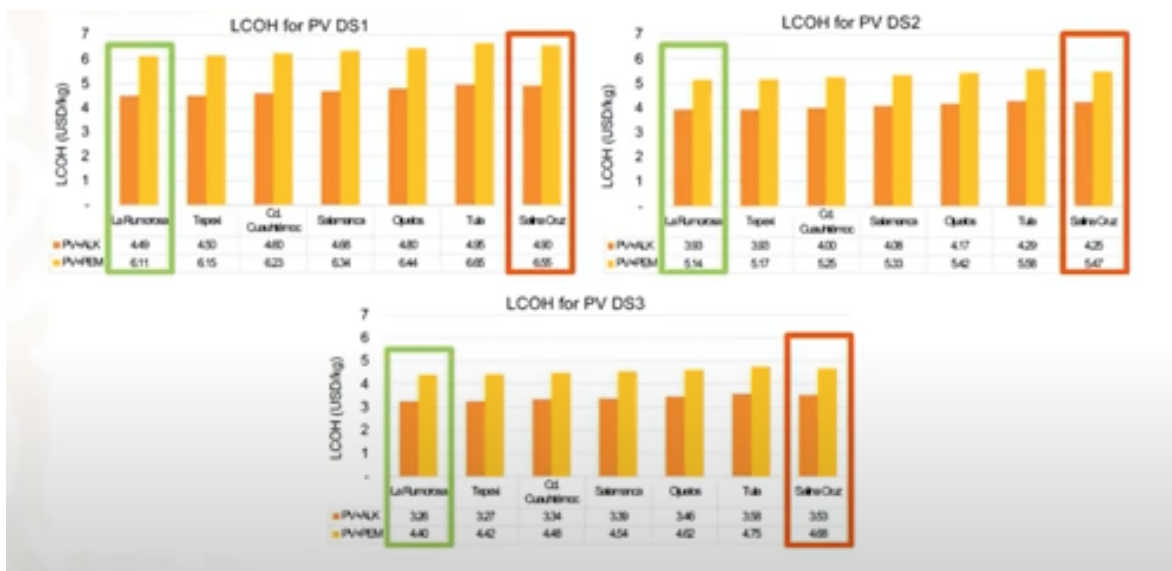
**Figura 23.** Producción de H2 verde mediante energía eólica de gran escala. Sociedad Mexicana del hidrógeno.

<https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>

Generación de hidrógeno a partir de energía eólica en los recuadros verdes, y el resultado en el costo nivelado de generación de hidrógeno para la tecnología alcalina y

<sup>120</sup> Modelado de sistemas de electrólisis alcalina para la producción de hidrógeno a partir de energías renovables. María del Carmen Clemente. 2018. <https://www.radoctores.es/doc/2V3N1-CLEMENTE%20-%20produccion%20de%20hidrogeno.pdf>

en azul la tecnología PEM, encuentra la Sociedad Mexicana del hidrógeno entre 2 y 8 dólares por kilogramo, lo cual parece ser un valor inicial mejorando con el paso de los años a medida que la tecnología avance; estos costos son iniciales considerando que la tecnología todavía tiene costos altos, principalmente en la tecnología PEM y que estos valores conforme la demanda del uso del hidrógeno, vaya creciendo pues tendrían una tendencia a disminuir hasta cierto punto para el 2030.<sup>121</sup>



**Figura 24.** Producción de H<sub>2</sub> verde mediante energía solar de gran escala. Sociedad Mexicana del hidrógeno.

<https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>

La generación de hidrógeno por energía solar, en estos mismos puntos se encuentra que hay una variación en el rango que va desde tres a siete dólares, se aprecia la comparación entre los colores naranja para el camino y los amarillos para la tecnología PEM; evidentemente la tecnología alcalina es más económica actualmente, se aspiran reducciones en la tecnología para los valores de la PEM, una vez que esto vaya aumentando en demanda y producción.

Se están implementando experimentos en baja California para el uso alternado del diesel y del hidrógeno, el hidrógeno es un vehículo para almacenar energía a través de los meses, esto en el caso de mayor demanda en verano. Estos costos deben ser reducidos al 40-50% para ser competidos con el uso del diesel.

<sup>121</sup> Producción de H<sub>2</sub> verde mediante energía eólica de gran escala.

Sociedad Mexicana del hidrógeno.

<https://hidrogeno.org.mx/foro-actualidad-de-los-procesos-de-electrolisis-en-mexico/>

### 21.3 Participaciones nacionales en el desarrollo del hidrógeno.

En el 2016, la SMH publicó el Plan Nacional del Hidrógeno “El plan”, que pretende identificar tecnologías, productos y mercados clave para el desarrollo del hidrógeno. También en este mismo año la SENER junto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología concedieron fondos para desarrollar un prototipo de vehículo eléctrico de cero emisiones alimentado por pilas de combustible de hidrógeno. Este proyecto rindió frutos ante el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias ( o INEEL) junto con otras entidades de investigación, sin embargo, no hay más avance de estos proyectos.

En el 2017, PEMEX realiza un convenio con Linde, un grupo global de gas industrial e ingeniería. El propósito de la alianza era obtener un suministro de hidrógeno a largo plazo para la refinería Francisco I.Madero en Ciudad Madero, Estado de Tamaulipas; pero según el informe anual de acuerdo con la sección 13 o 15 de la ley de la bolsa de valores de 1934 para 2018, dicha alianza se dio por terminada.<sup>122</sup>

A su vez, Air Liquide México, empresa dedicada a la generación y transporte de gases como nitrógeno, hidrógeno y oxígeno, anunció la adquisición de la unidad de negocio de producción de hidrógeno de Pemex Transformación Industrial, S.A de C.V por 59 millones de dólares. Según el acuerdo Air Liquide debía dar suministro de hidrógeno a la refinería Miguel Hidalgo durante 20 años. Air Liquide operaría en la planta de hidrógeno existente en la refinería Miguel Hidalgo.

Para el 2018, PEMEX ejecutó las pruebas de rendimiento y estableció factores de planta, esto marcó un hito importante en el contrato con Air Liquide. Para abril del 2018 PEMEX celebra un acuerdo a largo plazo con Linde AG par el suministro de hidrógeno en otra de sus refinerías, “Cadereyta”, pero las condiciones requeridas por estos acuerdos no se cumplieron, y estos acuerdos fueron posteriormente cancelados.<sup>123</sup>

En el transcurso del mismo año, PEMEX siguió experimentando escasez en el suministro de hidrógeno a sus refinerías, lo que contribuyó sus dificultades operativas, pero aún así quiere trascender de estas con la rehabilitación de su nuevo plan “Sistema Nacional de Refinación”. (US Securities and Exchange Commission, 2018).<sup>124</sup>

Como una forma de impulsar el desarrollo del hidrógeno durante el 2021 se implementa la Asociación Mexicana de Hidrógeno (AMH) que reúne a más de 30 empresas energéticas. El objetivo de AMH es trabajar con las autoridades para desarrollar un plan nacional para el impulso del elemento.

---

<sup>122</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next? Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

<sup>123</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next? Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

<sup>124</sup> Idem.



El hidrógeno fue señalado por primera vez en el plan de desarrollo nacional de la Secretaría de Energía de México a principios del 2021, como un posible reemplazo futuro de los combustibles fósiles, aunque con el pasar del año sólo quedara en planes de investigación, transferencia, tecnología, financiamiento o desarrollo de proyectos.

#### **21.4 Perspectivas del mercado del hidrógeno.**

En México, la actividad entre los proyectos de hidrógeno es limitada debido a la ausencia de proyectos actuales o incluso de investigación sobre la demanda y usos potenciales del hidrógeno. Sin embargo es un área de alto potencial de exploración y de crecimiento a favor de el desarrollo energético mexicano en influencia con el interés mundial por el hidrógeno, junto con el deseo de reemplazar otros combustibles fósiles con hidrógeno, especialmente para fines industriales y el potencial de los recursos renovables en México.

En la industria de la energía, el hidrógeno podría usarse como medio para la reducción de la intermitencia o la producción de energía renovable, ya sea solo o combinado con otros sistemas de almacenamiento; incluso el transporte a larga distancia de energía renovable se convierte en una posibilidad.<sup>125</sup>

No existen opciones de financiamiento específicas (privadas o públicas) para proyectos de hidrógeno en México. Los certificados de energía limpia o CEL's <sup>126</sup>; son un mecanismo público que puede brindar beneficios financieros a los proyectos de hidrógeno, siempre que el hidrógeno producido se utilice para la generación de energía y cumpla con los lineamientos establecidos por la Ley de la Industria eléctrica (LIE)<sup>127</sup>, para que pueda ser considerado como "energía limpia". Los CEL's se analizan con más detalle a continuación; pero mientras tanto, se puede decir que no hay una indicación clara hacia el mercado en el momento ya que recientemente se modificaron los reglamentos, favoreciendo las EPE's (Empresas Productivas del Estado), la CFE (Comisión Federal de Electricidad).<sup>128</sup>

De acuerdo con las Disposiciones Administrativas Generales que contienen los criterios los criterios de eficiencia y establecen la metodología de cálculo para determinar el porcentaje de energía libre de combustibles en fuentes de energía y procesos de generación eléctrica, siempre que exista un factor de eficiencia de 70%, hidrógeno gris puede considerarse 100% limpios.<sup>129</sup> Mientras tanto, la electrolisis solo se considera que se puede realizar con electricidad de la red, y tiene derecho a considerarse limpia en un porcentaje equivalente al de la propia red. Los

---

<sup>125</sup> Agencia Internacional de Energía, 2019.

<sup>126</sup> Comisión de Regulación Energética, 2016.

<sup>127</sup> Congreso Mexicano, 2014.

<sup>128</sup> Vázquez Pérez, 2020.

<sup>129</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next? Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

electrolizadores conectados directamente a una planta de energía se omiten ya sea por beneficios o para especificar la falta de los mismos.

Por lo demás, no se han previsto incentivos para el hidrógeno no electrificado en la legislación mexicana, aunque México tiene un impuesto al carbono.

Aparte de esto, hay una falta de disposiciones reglamentarias en este sector. Esto constituye un desafío para el desarrollo de proyectos de hidrógeno en México ya que no existe un marco legal consistente y completo que cubra la cadena de valor del hidrógeno.

### **21.5 Desafíos de los proyectos de hidrógeno en México.**

No existe una legislación o regulación específica que aborde la industria del Hidrógeno en el marco legal mexicano; esto no implica que los proyectos de hidrógeno puedan usarse, ya que pueden desarrollarse dentro de otras regulaciones mexicanas como la que contiene la Ley de la industria eléctrica, las de gas natural, hidrocarburos, agua y otras leyes de energía; con el tiempo seguramente surgirán incertidumbres legales que disuadirán la inversión; sin embargo, el hidrógeno es abordado principalmente como parte del sector energético ya que la LIE y la Ley de Transición Energética cataloga su producción de energía de manera potencial,<sup>130</sup> también como energía “limpia” para efectos de acreditación de certificados de energía limpia.

En esta normativa se clasifica como energía “limpia”, la que es generada por el uso del hidrógeno a través de su combustión o su uso en pilas de combustible, siempre que se cumplan determinados parámetros de eficiencia y estén sujetos a reglas de cálculo. Incluso en estos casos, la regulación parece incompleta para el caso del hidrógeno.

### **21.6 Políticas y programas de gobierno**

El 7 de julio del 2020 se publicó el programa sectorial de Energía 2020-2024 (Por el ministerio de energía, 2020) derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Este programa actúa como principio para orientar el “rescate y promoción” del sector energético de la nación, incrementar las reservas disponibles y mejorar la seguridad energética de las generaciones actuales y futuras de mexicanos. La política energética debe estar directamente vinculada a la política de recursos hídricos y del subsuelo de la nación. Asimismo, explorar el uso de otras fuentes de energía como el hidrógeno.

En México, el marco institucional para la promoción y aplicación de energías alternativas es muy limitado, ya que existe una preferencia por desarrollar tecnologías para el uso de fuentes de energías fósiles; y aun así existe un desconocimiento por parte de las autoridades sobre la magnitud y potencialidad del uso del hidrógeno como fuente de energía alternativa.<sup>131</sup>

---

<sup>130</sup> Congreso Mexicano, 2015.

<sup>131</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next? Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

## **21.7 Legislación Primaria.**

No existe una regulación expresa del hidrógeno dentro de la CPEUM (Constitución mexicana). No obstante, el artículo 27 de la constitución reza que el estado tiene control directo sobre los recursos naturales obtenidos de los territorios mexicanos (esto incluye todas las plataformas continentales y zócalos submarinos de las islas; todos los minerales o sustancias que se encuentran en vetas, mantos, masas o depósitos; todos los combustibles minerales sólidos; aceite, y todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos)- A pesar del control directo del Estado sobre estos activos, dichos recursos pueden ser utilizados o explotados por empresas privadas a través de permisos o concesiones otorgadas por la CRE (Comisión Reguladora de Energía) o la Comisión Nacional de Hidrocarburos, a nombre del gobierno. Se deben solicitar diferentes permisos para realizar diversas actividades relacionadas con la producción y uso de hidrógeno, todas ellas reguladas por la Ley de Hidrocarburos ( o Ley de Hidrocarburos)<sup>132</sup>; Se requieren permisos para el procesamiento, explotación, importación, transporte, almacenamiento, distribución, descompresión, licuefacción, regasificación, comercialización, y venta de gas natural. La necesidad de tener que solicitar un permiso puede afectar la decisión de una empresa si tiene la intención de obtener hidrógeno a partir del gas natural.

## **21.8 Generación de Energía.**

La generación de energía ( ya sea utilizando hidrógeno o cualquier otra fuente de energía) está regulada por la LIE (Ley de la Industria Eléctrica).

La LIE establece que el hidrógeno puede ser utilizado para generar energía “limpia” mediante combustión o pilas de combustible, siempre que su uso cumpla con los criterios mínimos de eficiencia. Los criterios se establecen en la Ley de Transición Energética; establece que, para que la explotación de hidrógeno se considere “limpia”, la eficiencia mínima no sería inferior al 70% del poder calorífico de los combustibles utilizados en la producción de dicho hidrógeno. Esta disposición es desarrollada por la CRE en términos de la resolución, que emiten Disposiciones Administrativas Generales que contienen los criterios de eficiencia y establecen la metodología de cálculo para determinar el porcentaje de energía libre de combustibles en fuentes de energía y generación de energía eléctrica.<sup>133</sup>

## **21.9 Regulación de actividades peligrosas**

Las Normas Oficiales Mexicanas clave ( o Norma Oficial Mexicana “NOM”) que regulan el hidrógeno son:

---

<sup>132</sup> Congreso de México, 2014.

<sup>133</sup> Comisión de Regulación de la Energía, 2016.

- I. NOM-018-STPS-2015 (Ministerio de Trabajo y Prospectiva Social, 2015), Sistema Armonizado de Identificación y Comunicación de Peligros y Riesgos por Sustancias Químicas Peligrosas en el lugar de trabajo. Esta NOM establece un nuevo esquema obligatorio que tiene como objetivo armonizar la comunicación de sustancias y mezclas químicas en el lugar de trabajo. Incluye especificaciones para el etiquetado de productos químicos peligrosos y requisitos de capacitación para empleados.
- II. NOM-017-CRE-2019 Métodos de medición de variables para calcular el porcentaje de energía limpia y procedimiento de evaluación de cumplimiento. Esta NOM se aplica específicamente a las centrales eléctricas que utilizan hidrógeno y establece los requisitos mínimos de medición y las metodologías que se deben utilizar para obtener los valores de las variables para la determinación de la energía libre de combustible, de manera que dicha energía pueda ser considerada como “limpia” y para el cumplimiento relacionado. Este cumplimiento de la NOM es necesario para que se otorguen los CEL.

Además de lo anterior, no existen NOM que establezcan reglas y especificaciones sobre la gestión del hidrógeno.

## **22. Transporte del hidrógeno en México.**

No existen disposiciones expresas dentro del marco legal mexicano que regulen el transporte de hidrógeno. Por lo tanto, las pautas pertinentes diferirán según el método en el que se transporte el hidrógeno (por ejemplo, a través de tuberías o ductos, en camiones cisterna de líquidos criogénicos o remolques de tubos gaseosos). Deben tenerse en cuenta las disposiciones contenidas en el Reglamento para el transporte terrestre de materiales y desechos peligrosos.

Si el hidrógeno se produce utilizando Gas Natural, puede ser necesario obtener un permiso para el transporte de gas natural (mediante gasoductos u otros recursos) y, si corresponde, para el almacenamiento de gas natural. Estos permisos deben solicitarse a la CRE.<sup>134</sup>

Si se transportase el hidrógeno por ductos, los principales constructores de estos en el país han sido Petróleos Mexicanos (PEMEX), empresa que posee ductos para la recolección del petróleo, crudo y gas provenientes de los pozos de extracción, el transporte a las refinerías, petroquímicas y complejos procesadores de gas, y para la distribución de productos finales a las terminales de almacenamiento y consumidores finales. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es también una importante constructora de ductos, quienes abastecen de gas a las plantas generadoras de energía eléctrica en México. También están los ductos de las comercializadoras de gas natural

---

<sup>134</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next?  
Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

que atraviesan ciudades completas, así como los construidos por industrias privadas.  
135

A diferencia de otras instalaciones industriales peligrosas, los ductos de México no están dentro de un complejo industrial con características de seguridad; por el contrario, se despliegan a lo largo y ancho de tierras de propiedad de terceros, entre ciudades y carreteras, entre tierras agrícolas, ríos, parajes naturales, incluyendo propiedades privadas, núcleos agrarios, áreas naturales protegidas y territorios indígenas; por lo que, en caso de fuga de hidrocarburos, el riesgo de derrames, contaminación y explosiones es sumamente alto, con rangos que van desde los 20 metros para los ductos de diámetro pequeño, hasta más de 200 metros para los grandes ductos de alta presión.<sup>136</sup>

Las tuberías están normalmente enterradas; sin embargo, su construcción, supervisión y mantenimiento requiere de amplios derechos de vía libres y sin cobertura vegetal. El diámetro de los ductos puede variar desde 1 hasta 50 pulgadas o más, pero las excavaciones para la construcción, mantenimiento y franja de seguridad o derecho de vía, que puede ser de más de 10 metros de ancho, producen una intensa perturbación del suelo y del entorno. Grandes inversiones se registran sin ningún control, se pueden encontrar viviendas, industria, comercio, escuelas, torres de alta tensión, y hasta instalaciones militares sobre el derecho de vía de los ductos.

El acceso a la información pública en formatos abiertos sobre los ductos es inexistente. La infraestructura se encuentra sumida en la opacidad, escudada con el argumento de la seguridad nacional. La ubicación de los ductos, su antigüedad, su mantenimiento, riesgos, fugas, incidentes y tomas clandestinas, entre otras características, se mantienen resguardadas con recelo. Las autoridades responsables sólo publican agregados estadísticos o infográficos ilustrados con mapas simples, y los datos sobre capacidad y longitud varían entre publicaciones. Este escenario dificulta la protección civil e imposibilita los estudios para cuantificar impactos y riesgos sociales o ambientales, entorpece la disponibilidad previa de información para consultas públicas, y sin duda, es un obstáculo para la participación ciudadana.<sup>137</sup>

## **22.1 Marco Regulatorio del transporte por ductos en México.**

El transporte por ductos en México, es complejo, se puede categorizar por empresa, tipo de hidrocarburo, diámetro, función desempeñada, estado actual de operación, entre otros; el análisis por categorías arroja claridad sobre diversos aspectos. De manera esquemática, lo más sencillo es distinguir entre los ductos de recolección y los de transporte y distribución.

---

<sup>135</sup> Ductos ¿Por dónde circulan los hidrocarburos en México? 25 julio 2017. Cartocrítica.  
<https://cartocritica.org.mx/2017/ductos/>

<sup>136</sup> Ductos ¿Por dónde circulan los hidrocarburos en México? 25 julio 2017. Cartocrítica.  
<https://cartocritica.org.mx/2017/ductos/>

<sup>137</sup> Ídem.

Los ductos de recolección permiten el acopio de hidrocarburos que se han extraído del subsuelo, se realiza mediante un sistema de líneas de descarga que van desde el cabezal de cada pozo en el yacimiento hasta las primeras baterías de separación o, en su caso, hasta los sistemas de transporte (NOM-027-SESH-2010). Estos ductos solo se encuentran en donde se extraen hidrocarburos del subsuelo, principalmente en aguas del Golfo de México, en Tabasco, Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz y Chiapas. Según el marco regulatorio actual, solo pueden estar dentro de un Área Contractual o un Área de Asignación, ya que pertenecen a la fase de exploración y extracción de los hidrocarburos, por lo mismo, están regulados por la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) (Artículo 38 de la Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética)

Los ductos de transporte y distribución son los que conducen los hidrocarburos en múltiples fases, entre estaciones o plantas para su compresión, bombeo, procesamiento, almacenamiento y finalmente distribución. Aquí se incluyen tanto los ductos nacionales como los de importación de hidrocarburos. Estos se encuentran distribuidos a lo largo de prácticamente todas las entidades del país, aunque no necesariamente interconectados entre sí, pueden interconectarse con buques cisterna o ferrocarriles. Con la expansión del sistema de gasoductos propuesta por la Secretaría de Energía (SENER) en el Plan Quinquenal de Expansión del Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural 2015-2019. (“Plan quinquenal de Gasoductos”), al parecer solo en Nayarit no habría ductos de ningún tipo. La regulación de estos ductos está a cargo de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) (Artículo 41 de la Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética); aunque adicionalmente, los de transporte y distribución de gas natural, de carácter público, están integrados al Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural (Sintragas), cuyo gestor y administrador independiente es el Centro Nacional de Control de Gas Natural (Cenagas). Integrar los ductos privados de gas natural al Sintragas es de carácter voluntario. (Artículo 65 y 66 de la Ley de Hidrocarburos).

Para el crecimiento de la importación, exportación y uso del gas natural en México, la reforma energética del 2013 contempló establecer un nuevo arreglo institucional en el manejo de los gasoductos del país. De este modo, la gestión y administración del Sistema Nacional de Gasoductos cambió drásticamente en enero del 2016, al pasar de manos de PEMEX logística, al recientemente creado Cenagas, organismo descentralizado sectorizado a la SENER; a este PEMEX le cedió la infraestructura de los gasoductos de transporte que poseía, como los contratos de ocupación superficial y derechos inmobiliarios que poseía.<sup>138</sup>

Con el argumento de la seguridad Nacional PEMEX, la SENER y demás autoridades en materia de energía e hidrocarburos niegan en materia de energía e hidrocarburos el acceso público a la información desagregada y en formatos abiertos sobre la infraestructura de ductos existentes. Muy por el contrario, la “Ley federal para

---

<sup>138</sup> Ductos ¿Por dónde circulan los hidrocarburos en México? 25 julio 2017. Cartocrítica.  
<https://cartocritica.org.mx/2017/ductos/>

prevenir y sancionar los delitos cometidos en materia de hidrocarburos” define en su artículo 23 que:

“La información o datos sobre el funcionamiento de las operaciones, instalaciones o actividades, movimientos de personal o vehículos de asignatarios, contratistas o permisionarios (...) será considerada información de Seguridad Nacional en términos de la Ley en la materia”

Esto significa que la información desagregada sobre la infraestructura de hidrocarburos es sistemáticamente negada por la autoridad responsable argumentando daños presentes, probables y específicos. Para ello, Pemex, CNH, y SENER han clasificado como reservada toda información que permita detallar la ubicación y características de la infraestructura petrolera nacional.

El Instituto de Acceso a la Información y Protección de Datos (IFAI, 2014), determinó en la resolución a un recurso de revisión que:

“La divulgación de la ubicación y características de la infraestructura con que cuenta PEMEX ocasionaría una potencial amenaza y perjuicio a la seguridad nacional, además de causar un serio perjuicio a las actividades de prevención de delitos, al proporcionar datos mediante los cuales puede obtenerse la ubicación geográfica exacta y características específicas de la red de ductos de PEMEX y sus organismos subsidiarios, así como de sus instalaciones y de diversos tipos de productos transportados, mismos que podrían ser atacados con explosivos, vehículos e incluso, ser objeto de acciones hostiles y delitos como el robo, la extorsión y demás hechos ilícitos”.

En contradicción con la preponderancia territorial que las leyes le otorgan a la industria petrolera al catalogarla de utilidad pública ( Artículo 28 de la Constitución), interés social y orden público (Artículo 96 de la Ley de Hidrocarburos y Artículo 33 de la Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética). También la Ley de Hidrocarburos considera que las actividades de exploración y extracción “tendrán preferencia sobre cualquier otra que implique el aprovechamiento de la superficie o del subsuelo de los terrenos afectados a aquéllas” y que para ello se instaurará la “constitución de servidumbres legales, o la ocupación o afectación superficial” (Artículo 96 de la Ley de Hidrocarburos); resultando que existe privatización sobre el tema, desconociendo dónde estas actividades se desarrollan, por ser información reservada. La exploración y extracción de hidrocarburos quedó restringida de las áreas naturales protegidas por la Ley de Hidrocarburos, e incluso está muy limitada la información sobre el transporte por ductos.<sup>139</sup>

Existe este trazo de gasoductos, sin embargo su información no contiene almacenamiento o abastecimiento, si son ductos de recolección o ductos de transporte, entre otras características importantes de conocimiento para el inversionista privado.

---

<sup>139</sup> Ductos ¿Por dónde circulan los hidrocarburos en México? 25 julio 2017. Cartocrítica.  
<https://cartocritica.org.mx/2017/ductos/>





los 450 km. Esto es posible mediante la utilización de 4 a 5 kg de hidrógeno en una pila de combustible.

El uso de nuevas tecnologías de tanques de almacenamiento mediante estructuras reforzadas con fibras de vidrio y fibras de carbono sobre acero permiten el almacenamiento de hidrógeno comprimido entre 350 y 700 bar. Los últimos desarrollos han mostrado la posibilidad de almacenar alrededor de 38L de hidrógeno ( unos 1,5 Kg) de tanques de pasa entre 28 y 40 Kg.

El almacenamiento en forma líquida permite obtener una masa específica de 70.9 Kg/m<sup>3</sup>. Esto se logra mediante la criogenización del hidrógeno, o dicho de otra forma, cambiar el estado del gas, bajando considerablemente su temperatura. Se almacena en recipientes de doble aislación térmica, pero debido a la naturaleza del elemento, una de las mayores dificultades consiste en la evaporación constante, en lo que se observa una pérdida en el peso de aproximadamente 0.5% Kg por día.<sup>141</sup>

Por último existe el almacenamiento en forma sólida, mediante la absorción que puede ser realizada sobre carbón a 77 Kg y a 100 bar, permitiendo almacenar dos veces más hidrógeno que el almacenamiento bajo presión, a la misma presión, a la misma presión; y por el otro lado, es posible la absorción de hidrógeno que permite la combinación química reversible del hidrógeno con materiales mecánicos.<sup>142</sup>

## 23. Permisos

No existen permisos especiales o específicos que deban obtenerse para el uso o la producción de hidrógeno. Sin embargo, dependiendo del uso final del hidrógeno, puede ser necesario obtener algunos de los siguientes permisos:

### I. Permiso de Generación.

Este permiso deberá solicitarse ante la CRE (Comisión reguladora de Energía) y se otorgará si los solicitantes cumplen con los requisitos que establece la ley aplicable. Este permiso permite al solicitante generar electricidad y favorece la participación en el mercado eléctrico mayorista. Este permiso se anexa junto con un contrato de participación en el mercado adscrito al CENACE (Centro Nacional de Control de Energía), el permiso de generación permitirá a un generador obtener Certificados de Energía Limpia y por lo tanto, obtener los beneficios financieros que causen los mismos.

### II. Permisos relacionados con el Gas Natural.

---

<sup>141</sup> Generación de Energía a partir de Hidrógeno.

<https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno14/hidrog/trans-almac-dist.htm>

<sup>142</sup> Ídem.

En algunos casos el hidrógeno puede obtenerse a partir del Gas Natural, si se lograra obtener de esta forma, existen permisos relacionados con el gas que se deben obtener. El permiso necesario dependerá de la actividad que se vaya a realizar (procesamiento, exportación, importación, transporte, almacenamiento, distribución, compresión, descompresión, licuefacción, regasificación, comercialización o venta de gas natural). Estos permisos también los otorga la Comisión Reguladora de Energía y los requisitos los establece la Ley de Hidrocarburos (Reglamento a que se refiere el Título Tercero de la Ley de Hidrocarburos)<sup>143</sup>. En consecuencia, los permisos se otorgarán siempre que se cumplan otros requisitos técnicos y financieros específicos (dichos requisitos dependerán del permiso específico que se otorgue).<sup>144</sup>

## **24. Financiación**

Si los estándares de generación de hidrógeno cumplen y son acordes con los estándares legales y técnicos para ser considerada una energía “limpia”, de acuerdo con la LIE (Ley de la Industria eléctrica), será adjudicada con los Certificados de Energía Limpia; estos certificados tienen un valor comercial monetario y pueden venderse en el Mercado Eléctrico Mayorista o mediante acuerdos bilaterales.

Todos los consumidores de energía, ya sean domésticos o industriales, y los proveedores, tanto renovables, como “convencionales”, están obligados a pagar una cantidad fija de CEL cada año; la cantidad se basará en un porcentaje de su consumo de energía: para 2020, esto es 7.4% y aumentará a 13,39% en 2022. Los CEL pueden entenderse como instrumentos financieros a través de los cuales se promueve el uso de energías limpias. Dichos instrumentos están regulados por la LIE y las Reglas del Mercado Eléctrico Mayorista, y la autoridad encargada de su regulación es la CRE. Las centrales eléctricas de energía renovable que generen energía 100% “limpia”, serán beneficiadas con 1 CEL por MWh; ya los generadores de ciclo combinado o plantas que utilicen cogeneración se les otorgará 1 CEL por cada 5MWh generados.

No existen incentivos económicos o esquemas impulsados por el Gobierno en este momento aparte de los CEL.<sup>145</sup>

## **25. Carta Global del Hidrógeno.**

La Carta Global del Hidrógeno es un legado del World Energy Council para vincular agentes público-privados hacia la descarbonización global de la economía.

---

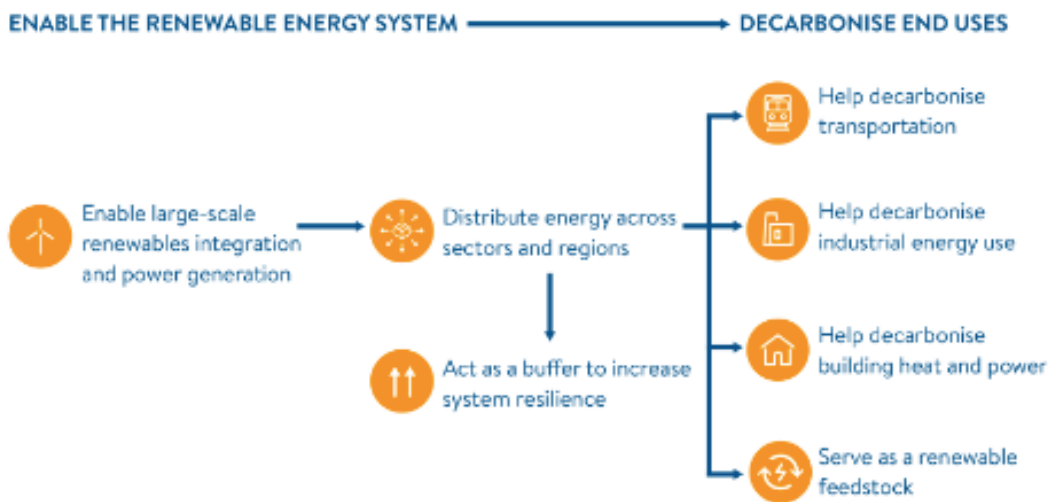
<sup>143</sup> Presidencia de México, 2014.

<sup>144</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next? Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

<sup>145</sup> Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next? Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse.

Para el World Energy Council, no es una opción el fracaso hacia la descarbonización de las economías globales, no es una opción la dependencia total de los combustibles fósiles hacia la electrificación, la industria, el transporte, y la demanda de general de energía se vuelve un escenario más exigente. Se identifica al hidrógeno como un complemento de la electrificación en el esfuerzo por descarbonizar las economías.

En el 2019, el Consejo Mundial de la Energía realizó una serie de entrevistas exploratorias con líderes energéticos mundiales sobre la viabilidad de una economía de hidrógeno limpio. Por unanimidad, estos líderes acordaron que las moléculas limpias sólo las contiene el hidrógeno y estas son necesarias para alcanzar a descarbonizar sectores difíciles donde la electricidad no puede, como es el caso del uso de combustibles limpios para ciertos vehículos, es por esto que la Carta Global de Hidrógeno, responde a la necesidad de identificar oportunidades donde se pueda acelerar el consumo del hidrógeno.<sup>146</sup>



**Figura 26.** La habilitación de las energías renovables en el sistema con el fin de descarbonización. Why hydrogen= World Energy Council.  
<https://www.worldenergy.org/impact-communities/innovation/hydrogen-charter>

La gráfica anterior enseña el permiso a larga escala de la integración de generación de energía por hidrógeno al ser distribuida por diferentes sectores de energía y regiones, actuando como un amortiguador para la resiliencia del sistema; para finalmente tener uso de la descarbonización en el transporte, en las industrias, en las construcciones y diferentes maquinarias, y que finalmente el elemento funcione como materia prima.<sup>147</sup>

<sup>146</sup> Why hydrogen= World Energy Council.

<https://www.worldenergy.org/impact-communities/innovation/hydrogen-charter>

<sup>147</sup> Why hydrogen= World Energy Council.

Al firmar la Carta Global del Hidrógeno, las partes interesadas se comprometen a consumir, habilitar e invertir el hidrógeno limpio para crear una economía descarbonizada con una mezcla de combustible diversa que pretende ser rentable, confiable y sostenible para todos. La iniciativa ya ha recaudado 1200 millones de euros en compromisos, cobrando impulso con cada miembro adherido a firma.

## **26. Diplomacia Global del Hidrógeno (H2-Diplo)**

Es un acuerdo diplomático sobre el impulso del hidrógeno conformado por Rusia, Arabia Saudí, Nigeria y Angola.

La demanda mundial de energías renovables impactan sobre los países exportadores de combustibles fósiles. Países exportadores como Rusia, Arabia Saudita, Nigeria y Angola podrían perder su poder económico debido al cambio global hacia la descarbonización.

La producción de hidrógeno verde podría crear oportunidades para que estos países hagan la transición a un sector de energía y combustible sostenible.

Podrían hacer uso de la infraestructura existente para lograr este objetivo y desempeñar un papel importante en la creación de una cadena de valor global para el hidrógeno.

Mediante la creación de Oficinas de Diplomacia del Hidrógeno, el proyecto promueve el diálogo político sobre energía con los países exportadores de combustibles fósiles; el diálogo se basa en tres temas principales:

- I. En primer lugar, el proyecto apoya a los países que intercambian ideas sobre tecnologías de hidrógeno y power-to-X<sup>148</sup>.
- II. El proyecto brinda asesoramiento sobre los riesgos y oportunidades del hidrógeno para la industria exportadora de los países.
- III. Promueve la cooperación con el sector privado en los países exportadores como Nigeria y Angola.

Esto crea conciencia sobre la creciente demanda de hidrógeno verde entre los tomadores de decisiones.

Los formatos de diálogo inician el intercambio intergubernamental y se centran en los objetivos y desafíos de descarbonización relacionados con la creciente demanda de productos neutrales en carbono.

---

<https://www.worldenergy.org/impact-communities/innovation/hydrogen-charter>

<sup>148</sup> La tecnología Power-to-X puede servir como elemento clave para el suministro de energía climáticamente neutral. Power: Energía, X: el tipo de energía convertida. Power-to-X también podría resolver otro de los mayores obstáculos de la transición energética: el almacenamiento.

Power to X ¿Un sistema de energía totalmente renovable?. Gero Rueter. 2019.

<https://www.dw.com/es/power-to-x-un-sistema-de-energ%C3%ADa-totalmente-renovable/a-51740890>

Además el proyecto está realizando estudios sobre fuentes de ingresos a largo plazo y desarrollo del mercado laboral en el contexto de la transición energética.<sup>149</sup>

## **27. Estrategias Mundiales para el hidrógeno.**

El desarrollo de una “economía del hidrógeno” aún se encuentra en sus primeras etapas y pocos países han publicado estrategias, aunque existe un creciente interés y apoyo mundial. Hasta la fecha, 13 países y la UE han publicado sus estrategias nacionales de hidrógeno, con 9 publicaciones sólo en el último año.

Otros 19 países están redactando actualmente sus estrategias con muchas con el objetivo de publicar en 2021, lo que demuestra una clara aceleración del interés del gobierno respaldado por potencialmente la COP26 actuando como un catalizador.

Algunos países han sido particularmente influyentes con sus estrategias de hidrógeno, el compromiso temprano de Japón catalizó interés en la región de Asia-Pacífico, también Corea del Sur y Australia publicaron sus propias estrategias poco después. Alemania fue pionera en Europa y ayudó a impulsar la estrategia de hidrógeno de la UE durante su presidencia de la UE.

En LATAM, Chile se ha movido rápidamente con muchos países vecinos también ahora en proceso de desarrollo de sus estrategias.

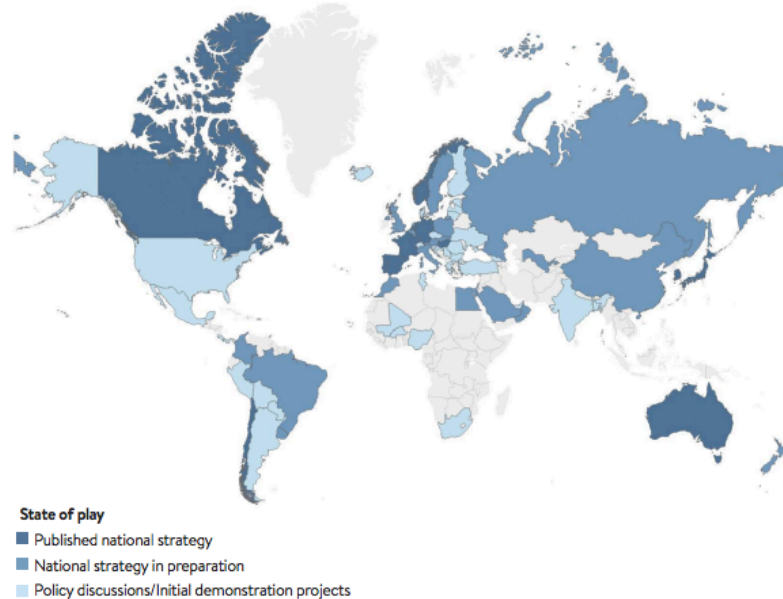
Los aportes y contextos de cada país también son críticos para determinar cómo los países pueden usar el hidrógeno en sus transiciones energéticas, con el desarrollo potencial del hidrógeno siguiendo una pluralidad de diferentes caminos y prioridades sectoriales, construyendo según las diferentes fuentes de suministro y el uso de diversas herramientas de política para fomentar la aceptación.

---

<sup>149</sup> Green hydrogen as a driver of energy transition. GIZ. 2021.  
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)  
<https://www.giz.de/en/worldwide/104041.html>

	Policy discussions, official statements, initial demonstration projects			Strategy in preparation	Strategy available
Africa	Cape Verde Burkina Faso	Mali Nigeria	South Africa Tunisia	Egypt Morocco	
Asia	Bangladesh	Hong Kong, China	India	China New Zealand* Singapore Uzbekistan	Australia (2019) Japan (2017) South Korea (2019)
Europe	Bulgaria Croatia Czech Republic Denmark Estonia Finland* Georgia	Greece Iceland Latvia Lithuania Luxembourg Malta	Romania Serbia Slovenia Switzerland Turkey Ukraine	Austria Belgium Italy Poland Russian Federation* Sweden Slovakia United Kingdom	European Union (2020) France (2020) Germany (2020) Netherlands (2020) Norway (2020) Portugal (2020) Spain (2020) Hungary (2021)
Latin America & the Caribbean	Argentina Bolivia Costa Rica	Panama Paraguay	Peru Trinidad and Tobago	Brazil Colombia Uruguay	Chile (2020)
Middle East and Gulf States	Israel	United Arab Emirates		Oman Saudi Arabia	
North America	Mexico	United States of America			Canada (2020)

**Figura 27.** Fases en las actividades de los países para desarrollar una estrategia de hidrógeno. Working Paper. National Hydrogen Strategies. [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working\\_Paper\\_-\\_National\\_Hydrogen\\_Strategies](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working_Paper_-_National_Hydrogen_Strategies). Septiembre 2021.



**Figura 28.** Mapa general de las actividades de los países para desarrollar una estrategia de hidrógeno. [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working\\_Paper\\_-\\_National\\_Hydrogen\\_Strategies](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Working_Paper_-_National_Hydrogen_Strategies). Septiembre 2021.

## **28. Estrategias y participación nacional para el uso del Hidrógeno.**

Respecto al campo de las instituciones mexicanas para el apoyo del hidrógeno, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en cooperación con la compañía ADAPTEX organizó el curso de “Eficiencia Energética y tecnológica en procesos de la Industria Japonesa”, que se efectuó en Hiroshima del 20 de octubre al 11 de noviembre del 2016. En esta participaron en el curso, funcionarios de PEMEX y de la ASEA; por parte de la CONUEE participó el Ing. Jorge Tamayo Ochoa; en el programa de actividades incluyó visitas de trabajo a la Feria del Ahorro de Energía (Smart Engineering Tokyo) en Hiroshima.

Se realizaron recorridos por el Campus de la Universidad de Hiroshima, en cuyo Centro de Investigación de Materiales Funcionales Avanzados, se comentaron los avances tecnológicos sobre el uso del hidrógeno como energético para la siguiente generación.

Dentro del curso se vieron temas como: Control y optimización de procesos, excelencia operacional, sistemas de ahorro de energía en la industria automotriz, optimización del vapor en la industria de proceso, sistemas de gestión de la energía, política y alcance de la Ley de Ahorro de Energía en Japón. Demostrando con esto, el interés por parte de la CONUEE y de la ASEA por verificación de procesos de energía limpia a través de generación de Hidrógeno.<sup>150</sup>

### **28.1 Participación privada.**

En cuanto a instituciones privadas, CEMEX está invirtiendo en producción de hidrógeno EN HiiROC, una startup de producción de hidrógeno limpio, que desarrolló una electrólisis de plasma térmico para convertir biometano, gas residual o gas natural en hidrógeno a menor costo que otras tecnologías y sin huella de CO<sub>2</sub>.<sup>151</sup>

HiiROC es una empresa con sede en Reino Unido Fundada en 2019, ha desarrollado un proceso que produce hidrógeno puro y carbono negro limpio a alta presión y temperatura. Como parte de esta inversión CEMEX y Hiiroc buscan incrementar la capacidad de inyección de hidrógeno de CEMEX en sus hornos de cemento, lo que permitiría una mayor tasa de sustitución de combustibles fósiles por combustibles limpios. Esta iniciativa busca reducir las emisiones de metano y GEI, siguiendo los lineamientos establecidos en la COP26 en Glasgow.

“La solución de HiiROC es sostenible, escalable, asequible y tiene un fuerte potencial de crecimiento dentro del ecosistema del hidrógeno. Esta inversión es otro paso importante en nuestra transición de combustibles fósiles a combustibles alternos y hacia el logro de nuestra meta de cero emisiones netas para 2050. CEMEX es líder de

---

<sup>150</sup> Crónicas CONUEE 2016.

<https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/Cronicas/cronicas2016ELV.pdf>

<sup>151</sup> Invierte Cemex en producción de hidrógeno limpio. 3 de febrero del 2022.

<https://globalenergy.mx/noticias/alternativas/invierte-cemex-en-produccion-de-hidrogeno-limpio/>

la industria, y el uso del hidrógeno nos permite ampliar aún más nuestro conocimiento sobre el reemplazo de los combustibles fósiles a limpias en nuestras plantas”, dijo Gonzalo Galindo, director de CEMEX Ventures. “Con el hidrógeno convirtiéndose en un elemento cada vez más atractivo para la descarbonización industrial, estamos entusiasmados de ser una de las principales empresas de la industria del cemento que incluye una startup de producción de hidrógeno limpio en su portafolio de inversiones”.<sup>152</sup>

Con este proyecto busca lograr las metas de su programa “Futuro en Acción” invirtiendo en uno de los sectores más importantes para la descarbonización en las operaciones de cemento. CEMEX con esto aspira lograr sus objetivos de ofrecer concreto con cero emisiones contaminantes de CO2 para el 2050.

## 28.2 Participación académica.

En México hay diferentes investigadores en diferentes universidades y centros de investigación que desarrollan tecnologías de hidrógeno; se realizan prototipos desde la producción o generación del mismo hasta las tecnologías de consumo. A través de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno (SMH), se identificaron más de 10 grupos de investigación.

Cada año se presentan entre 100 y 130 artículos académicos sobre el tema del congreso internacional del SMH. Algunos de los profesionales en investigación del hidrógeno pertenecen al Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ) y del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).<sup>153</sup>

Producción	Acondicionamiento	Almacenaje.	Transporte.	Reacondicionamiento	Consumo.
X	X			X	X
<b>Departamento</b>	<b>Energía renovable</b>		<b>Personas en el equipo</b>	Ulises Cano-Castillo, Félix Loyola-Morales, J. Roberto Flores-Hernández, Lorena Albarrán-Sánchez, Tatiana Romero-Castañón, Manuel López-Pérez	
<b>Descripción de</b>	Es un grupo de RD&T que trabaja en tecnologías de H2 desde el año 2000. Cuenta con su propia				

<sup>152</sup> Invierte Cemex en producción de hidrógeno limpio. 3 de febrero del 2022.

<https://globalenergy.mx/noticias/alternativas/invierte-cemex-en-produccion-de-hidrogeno-limpio/>

<sup>153</sup> Situación actual del Hidrógeno en México. GIZ.

[https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81gen\\_o\\_AE\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81gen_o_AE_Tomo_I.pdf)



<b>la investigación</b>	tecnología PEMFC (pilas y sistemas MEA) y electrolisis PE (pilas MEA pequeñas). Han evolucionado en cuanto al desarrollo de proyectos para movilidad eléctrica utilizando tecnologías de H2 y otros sistemas de almacenamiento electroquímico para transporte con tracción totalmente eléctrica. La institución integró uno de los primeros sistemas de H2 verde (solar) en 2003.		
<b>Años en la línea de investigación</b>	<b>20 años</b>	<b>Fuentes de financiación</b>	Proyectos gubernamentales y de la industria privada.
<b>Proyectos destacados</b>	3-4 proyectos representativos y su descripción.		
<b>Producciones científicas o tecnológicas destacadas de la investigación</b>	<p><b>Producción de hidrógeno verde solar.</b></p> <p>En 2003, INEEL diseñó un sistema fotovoltaico para aprovechar el excedente de energía para alimentar un electrolizador de 1m<sup>3</sup>/hr de capacidad, específicamente bajo condiciones pico de energía fotovoltaica. El sistema fotovoltaico se conectó directamente al electrolizador, evitando electrónica de potencia costosa.</p> <p><b>Vehículo híbrido utilitario totalmente eléctrico de celda de combustible de hidrógeno</b></p> <p>Este proyecto reunió a 4 universidades más el INEEL para desarrollar, desde cero, un vehículo híbrido utilitario. La planta de energía fue integrada por una celda de combustible de hidrógeno PEM de 3kW desarrollada por el INEEL, un vehículo diseñado y fabricado por CIMAITESM y electrónica de potencia de CENIDET. El proyecto desarrolló un vehículo utilitario con un sistema de tracción eléctrica basado en el sistema PEMFC del INEEL, baterías de iones de litio y supercondensadores. El enfoque se centró en la eficiencia energética aprovechando configuraciones híbridas y utilizando frenado regenerativo. El vehículo, su control, algunos aparatos electrónicos de potencia y la central eléctrica de PEMFC (INEEL) fueron desarrollados en México por participantes.</p> <p><b>Extensor de alcance basado en PEMFC para un vehículo GRT.</b></p> <p>El proyecto exploró y propuso un extensor de alcance basado en una celda de combustible para un vehículo eléctrico de transporte rápido de pasajeros desarrollado por una empresa mexicana. La configuración propuesta añadió la posibilidad de entregar energía del PEMFC, así como de las baterías, ampliando la funcionalidad de la planta de energía PEMFC desde el extensor de alcance hasta una configuración eléctrica híbrida que da flexibilidad a la operación del vehículo.</p>		
<b>Número de profesionales formados en el grupo de investigación</b>	El INEEL recibe a muchos estudiantes para cumplir con su trabajo experimental en tecnologías en las que son expertos. La mayoría de los proyectos no requieren realizar trabajo de tesis, ya que están abiertos a todos los niveles de educación, desde la escuela secundaria hasta los posgrados. Aproximadamente han recibido más de 100 estudiantes desde la fundación del grupo. Algunos de sus estudiantes ahora forman parte de organizaciones internacionales que trabajan en tecnologías relacionadas con el hidrógeno en Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, Suiza y Alemania.		

**Figura 29.** Producción académica de Hidrógeno en el INEEL

[https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81geno\\_AE\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_I.pdf)

Producción	Acondicionamiento	Almacenamiento	Transporte	Reacondicionamiento	Sistemas de consumo
X	X				
<b>Departamento</b>	<b>Instituto Politécnico Nacional-ESIQUIE</b>		<b>Personas en el equipo</b>	10 investigadores permanentes	
<b>Descripción de la investigación</b>	Desarrollo de tecnologías de hidrógeno, gestión de energías renovables (solar, eólica, oceánica) y sistemas de almacenamiento. Síntesis y caracterización de electrocatalizadores y preparación de conjuntos de membranas de electrodos (MEA) para celdas de combustible y electrolizadores PEM. Desarrollo de reactores alcalinos para combustión dual hidrógeno - fósil.				
<b>Años en la línea de investigación</b>	<b>15 años para el grupo consolidado</b>		<b>Fuentes de financiación</b>	Proyectos internos del IPN, instituciones gubernamentales (CONACYT, SECTEI).	
<b>Proyectos destacados</b>	Desarrollo de energía solar-hidrógeno doméstica sostenible con gestión energética. Sistemas integrales híbridos de hidrógeno. Diseño de electrolizadores alcalinos para la integración en motores diésel o de gasolina para reducir la emisión de contaminantes. Innovación y fabricación de quemadores para combustión de hidrógeno y ahorro de gas natural en hornos. Estudio cinético de la reacción de reducción de oxígeno y el rendimiento de las celdas de combustible PEM.				
<b>Producciones científicas o tecnológicas destacadas</b>	Artículos JCR: 50. Derechos de autor: 2 patentes asignadas; 2 marcas registradas y 3 diseños industriales asignados. Libros: 3 sobre tecnologías de hidrógeno. Editores de 2 libros sobre tecnologías de hidrógeno.				
<b>Número de profesionales formados en el grupo de investigación</b>	Recursos Humanos: 37 estudiantes de pregrado, 20 de maestría y 4 de doctorado, 2 premios a mejor tesis de grado y 5 de máster. Un post doctorado ha trabajado en el grupo. En proceso (2020): 8 doctorados, 8 másteres y 6 estudiantes de pregrado.				

**Figura 30.** Producción académica de Hidrógeno en el IPN

[https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81geno\\_AE\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_I.pdf)

Producción	Acondicionamiento	Almacenamiento	Transporte	Reacondicionamiento	Sistemas de consumo
X	X				
<b>Departamento</b>	<b>Departamento de Química</b>		<b>Personas en el equipo</b>	18 investigadores permanentes	

<b>Descripción de la investigación</b>	Electrocatalisis y celdas de combustible: Síntesis y caracterización de catalizadores con bajo contenido de platino para aplicaciones de celdas de combustible PEM. Diseño y fabricación de transporte híbrido con PEMFCs y baterías recargables.		
<b>Años en la línea de investigación</b>	<b>25 años</b>	<b>Fuentes de financiación</b>	CONACyT (Presupuesto nacional)
<b>Proyectos destacados</b>	i) Mexican contributions for the improvement of electrocatalytic properties for the oxygen reduction reaction in PEM fuel cells. Int. J. Hydrogen Energy, 44(2019) 12477-12491. ii). Chapter 6 Development and applications of portable systems based on conventional PEM fuel cells, in Portable hydrogen energy systems: Fuel cell and storage fundamentals and applications. Paloma Ferreira-Aparicio and Antonio M. Chaparro Eds. Academic Press. Pp 91-106, 2018. ISBN 978-0-12-813128-2. Más de 170 artículos científicos.		
<b>Número de profesionales formados en el grupo de investigación</b>	19 PhD en aplicaciones energéticas de H <sub>2</sub> ; Electrocatalisis y celdas de combustible.		

**Figura 31.** Producción académica de Hidrógeno en el CINVESTAV

[https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81geno\\_AE\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_I.pdf)

Producción	Acondicionamiento	Almacenamiento	Transporte	Reacondicionamiento	Sistemas de consumo
		X			
<b>Departamento</b>	<b>Instituto de Investigación de Materiales- Unidad de Morelia</b>		<b>Personas en el equipo</b>	2 investigadores permanentes	
<b>Descripción de la investigación</b>	Desarrollo de materiales para el almacenamiento de hidrógeno. Desarrollo de aparatos para el almacenamiento de hidrógeno.				
<b>Años en la línea de investigación</b>	<b>25 años</b>		<b>Fuentes de financiación</b>	CONACyT, SENER	
<b>Proyectos destacados</b>	-NaAlH <sub>4</sub> de latas de Al / NaH recicladas (tanque de ~ 250g de material)-Desarrollo de aparatos para caracterización del almacenamiento de hidrógeno-Desarrollo de tanques de almacenamiento de hidrógeno llenos de hidruros metálicos y alanato de sodio.				
<b>Producciones científicas o tecnológicas</b>	-Alanates, a Comprehensive Review. Materials 2019, 12, 2724; doi:10.3390/ma12172724-From the can to the tank: NaAlH <sub>4</sub> from recycled aluminum. Int. J. Hydrogen Energy, 2019, 44, 20183-20190. DOI: /10.1016/j.ijhydene.2019.06.033.-Low-cost Sieverts-type apparatus for the study of hydriding/dehydriding reactions. HardwareX, 2018, 4, e00036-14. DOI: 10.1016/j.ohx.2018.e00036.-Solicitud de patente: Producción de Na <sub>3</sub> AlH <sub>6</sub> y NaAlH <sub>4</sub> como				

<b>destacadas</b>	materiales almacenadores de hidrógeno a partir de NaH, Al reciclado proveniente de latas de bebidas. En trámite, MX/a/2019/002891, 13-Mar-19.
<b>Número de profesionales formados en el grupo de investigación</b>	Licenciados: 7; Másters: 1; Doctorado: 2 (en curso).

**Figura 32.** Producción académica de Hidrógeno en el Instituto de Materiales-UNAM [https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81geno\\_AE\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_I.pdf)

Producción	Acondicionamiento	Almacenamiento	Transporte	Reacondicionamiento	Sistemas de consumo
<b>X</b>					
<b>Departamento</b>	<b>Unidad Académica, Juriquilla Querétaro</b>		<b>Personas en el equipo</b>	12 investigadores permanentes	
<b>Descripción de la investigación</b>	Enfocado en procesos biológicos para aguas residuales y fracción orgánica de tratamiento de residuos sólidos. Generación gaseosa de biocombustibles (hidrógeno, metano) y productos de valor añadido.				
<b>Años en la línea de investigación</b>	<b>25 años</b>		<b>Fuentes de financiación</b>	CONACYT, Unión Europea, UNAM, SENER, Empresas privadas.	
<b>Proyectos destacados</b>	Clúster de biocombustibles gaseosos. Proyecto financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética Producción de biohidrógeno a través de fermentación oscura y fotofermentación Producción de biohidrógeno a través de sistemas bioelectroquímicos.				
<b>Producciones científicas o tecnológicas destacadas</b>	Alrededor de 250 artículos internacionales en revistas científicas de alto rango (ISI-JCR), 5 patentes y más de 500 publicaciones diversas.				
<b>Número de profesionales formados en el grupo de investigación</b>	Alrededor de 50 licenciados, 100 másters, 25 doctores y 15 post doctores han obtenido su grado dentro del grupo.				

**Figura 33.** Producción académica de Hidrógeno en el Instituto de Ingeniería-UNAM  
[https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81geno\\_AE\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_I.pdf)

Producción	Acondicionamiento	Almacenamiento	Transporte	Reacondicionamiento	Sistemas de consumo
X					X
Departamento	Departamento de Energía Renovable, Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).		Personas en el equipo	10 investigadores permanentes	
Descripción de la investigación	Bioenergía, sistemas híbridos de energía, tecnologías electroquímicas para energía.				
Años en la línea de investigación	10 años		Fuentes de financiación	Convocatorias del Gobierno, industria	
Proyectos destacados	Celdas de combustible con arquitecturas novedosas para el suministro de aire y combustible sin necesidad de servicios auxiliares. Producción de hidrógeno con sistemas de electrólisis por membrana de intercambio iónico. Simulación numérica para determinar el efecto de la entropía topológica en el coeficiente de transporte eficaz de los compuestos unidireccionales  Biocarbón activado por KOH derivado de algas marinas para aplicaciones de reducción de oxígeno electrocatalítica y supercapacitores.				
Producciones científicas o tecnológicas destacadas	209 artículos científicos (JCR), 6 patentes.				
Número de profesionales formados en el grupo de investigación	71 máster en ciencias, 20 PhD.				

**Figura 34.** Producción académica de Hidrógeno en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)  
[https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user\\_upload/mexico/media\\_elements/reports/Hidro%CC%81geno\\_AE\\_Tomo\\_I.pdf](https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_I.pdf)

## 29. CONCLUSIONES

Es pertinente e incluso necesario que se inserte en el marco jurídico mexicano la implementación del hidrógeno como alternativa energética, no sólo por su eficacia en combustión, sino también por la seguridad como gas, donde su generación no es contaminante. Nivelar la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera es lo fundamental para seguir los pasos correctos de la transición energética, caso en concreto, lo discutido y adjuntado para el Acuerdo de París y la declaración de Río, donde México es país vinculante.

El hidrógeno beneficia a México (y al mundo entero) como elemento ya que no es sólo amigable con el medio ambiente, sino que también es más seguro en comparación a otros combustibles mucho más normalizados por la sociedad como son el gas natural, la gasolina, el diesel, butano, propano, entre otros.

El hidrógeno es el elemento más abundante en la atmósfera, se puede generar a partir de energías renovables y agua, o por obtención del subsuelo, como si fuese un hidrocarburo.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos no abarca preceptos constitucionales específicos en materia de energías renovables, principalmente del hidrógeno; se puede asumir una interpretación del combustible por medio de otros artículos mencionados por la carta magna.

Los inconvenientes que enfrenta el hidrógeno se deben a obstáculos en materia político-jurídica, legal y económica respecto al valor y expectativa de otros combustibles tradicionales. También existe una facultad del estado por obtener la exclusividad de la transmisión y distribución de la energía eléctrica; en el caso del hidrógeno como conductor eléctrico ¿Tendría cabida esta transmisión o distribución de manera libre y legal sin afectar la esfera energética regulatoria mexicana?

La desventaja aparente del hidrógeno, es que con el pasar de los años aumentará tanto su demanda, que es posible que industrias de refinación petrolera quieran competir con el mercado del hidrógeno verde a mayor escala, produciendo hidrógeno gris, combustible que se obtiene separando el hidrógeno del gas natural en los yacimientos y donde además este proceso genera más emisiones de gases efecto invernadero que la combustión del diesel.

Por otro lado, las ventajas de usar este elemento se encuentran en la eliminación de las emisiones atmosféricas puesto que al reducir los niveles de gases contaminantes, mejora la calidad de vida, sobre todo para quienes sufren enfermedades cardio-respiratorias. También se verá mejoría en la reducción del ruido, pues al no utilizar gasoil y gasolina no se verá comprometido el ruido de motores eléctricos vehiculares. También se podrá percibir como ventaja un menor consumo energético global, puesto que la generación de electricidad por hidrógeno mejora la eficiencia del proceso frente a pequeños motores de combustión fósil que presentan menores rendimientos.

Se podrá propiciar mayor cantidad de trabajo al aumentar el número de empresas comprometidas con el medio ambiente, y se verán cambios positivos en cuanto al equilibrio energético.

Lo primordial como reguladores de energía, es encontrar la eficacia y sustentabilidad en el desarrollo y manejo legal del hidrógeno. Al observar un basto consumo energético por las energías fósiles, es importante poderlo equilibrar con algún otro elemento que equipare y dé contrapeso a las externalidades emitidas por combustibles de antaño. La reducción de la huella de carbono se podría minimizar considerablemente al producir y consumir otro combustible más limpio; se comprueba que el hidrógeno produce cero emisiones de gases efecto invernadero, es sustentable y eficiente. Disminuir considerablemente las externalidades producidas por la contaminación de las energías fósiles, es responsabilidad vinculante de México acordada tanto en el Acuerdo de París, como en la Declaración de Río; sobre todo teniendo en cuenta que México ya es parte de los países con mayor contaminación a nivel mundial.

Se sugiere que (al igual que el parlamento europeo) México adopte costumbres legales frente al hidrógeno, regulando el elemento según su clasificación de colores comúnmente utilizado (ya sea azul, gris o verde), y tenga normatividad adecuada respecto a su cadena de valor para el consumo del mismo, complementando el hidrógeno con sinergias y mejores políticas ambientales, lo que permitirá reducir costos, tiempos de comercialización y garantizar la adaptación y costumbre de las energías renovables; también restando a las emisiones de carbono y GEI a fin de lograr seguridad energética y de suministro, junto con la desaceleración del cambio climático.

Se deben impulsar políticas energéticas como “incentivos verdes”, donde la población sea a escala más consciente del beneficio del uso de estas nuevas tecnologías; crear “beneficios para impuestos verdes” puede ser un buen paso para lograr estos objetivos de manera progresiva.

Se recomienda especialmente encontrar la regulación específica para el transporte y distribución del elemento en cuanto a cantidades, condiciones y características especiales, ya sea por ser hidrógeno líquido, criogenizado, sólido o gaseoso o transporte por medio de ductos, ya que la base de datos de estas tuberías por las que transitan actualmente hidrocarburos en México son de información confidencial de PEMEX y CFE. Se encuentra información irregular de las líneas guías de estas tuberías, además de su mantenimiento, antigüedad, capacidad de almacenamiento, entre otra información a reserva del estado. Es importante para los inversionistas privados reconocer como será transportado este elemento, como sería distribuido para garantizar su financiamiento y la seguridad energética del mismo dentro de su cadena de valor.

México tiene breves referencias al hidrógeno en su política energética como se menciona, obviamente no como una estrategia integral o comparable frente a otras normativas del hidrógeno en el mundo. No existen objetivos claros del hidrógeno propuestos en la Ley de Cambio Climático o la Ley de Transición Energética, definiciones claras sobre el hidrógeno verde, gris o azul; e incluso hay confusiones sobre el rol del Estado, así como la participación público-privada en una economía de mercado libre y competitiva.

En base a premisas anteriores y a la estrategia de actividades de desarrollo de estrategias por el hidrógeno por el World Energy Council, donde se afirma que México se encuentra en proyectos de demostración iniciales; puede afirmarse que, para el sector del Hidrógeno en México queda un gran camino por recorrer que hasta ahora empieza.

### 30. BIBLIOGRAFIA

1. eprojectconsulting. (2018). ¿Qué porcentaje de agua tiene la tierra?. 16 de diciembre del 2018, de e-project consulting  
Sitio web: <https://eprojectconsulting.wordpress.com/2018/12/26/legalizacion-pozo-sondeo-agua-13/>
2. Twenergy (2019) Consecuencias del uso de combustibles fósiles. 18 de noviembre 2019. Twenergy.  
Sitio web: <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/medio-ambiente/la-electricidad-frente-al-combustible-2734/>
3. Zinentzia.eus (1992) Química Inorgánica. 01 de septiembre de 1992. Bandres Unaune, Luis Iturria.  
Sitio Web. <https://zientzia.eus/artikuluak/kimikaren-sorrera/es/>
4. Requisitos para una transición energética global. (2014) 23 Noviembre 2014. Friedrich Ebert Stiftung. Bärbel Kofler y Nina Netzer.  
<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00361.pdf>
5. El vivir bien como respuesta a la Crisis Global. Richard Preston. 1994.  
[https://www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/Presentation%20by%20Govt%20of%20Bolivia%20\(Spanish\).pdf](https://www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/Presentation%20by%20Govt%20of%20Bolivia%20(Spanish).pdf)
6. Diario Oficial de la Federación, Resolución de la Comisión Reguladora de energía por las que se expiden las disposiciones administrativas de carácter general que contienen los criterios de eficiencia y se establecen las metodologías de cálculo para determinar el porcentaje de energía libre de combustible en fuentes de energía y procesos de generación de energía eléctrica. DOF. 22/12/2016



7. Diario Oficial de la Federación, Decreto por el que se expide la Ley de la Transición Energética. DOF. 24/12/2015
8. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley de Transición Energética. DOF: 24/12/2015.
9. Statista. (2018) ¿Cuánto hay que reducir las emisiones de dióxido de carbono para frenar el cambio climático?  
10 de octubre del 2018, es.statista.  
Sitio web: <https://es.statista.com/grafico/15726/emisiones-de-co2-mundiales-y-la-reduccion-propuesta-por-la-onu/>
10. Forbes (2021) Tasa de fuga de metano en México es alarmante para el cambio climático: Informe.  
28 de julio 2021, Forbes staff.  
Sitio web: <https://www.forbes.com.mx/tasa-de-fuga-de-metano-en-mexico-es-alarmante-para-el-cambio-climatico-informe/>
11. Our world in data. (2020) Emissions by sector.  
12 de enero 2020, Our world in data.  
Sitio web: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
12. Forbes. (2020) CDMX, la quinta urbe más contaminada del mundo.  
Julio 13 del 2020. Forbes.  
Sitio web: <https://www.forbes.com.mx/noticias-cdmx-quinta-urbe-mas-contaminada-mundo-greenpeace/>
13. Wradio. (2019). México en el lugar tres del ranking de aires más contaminados del mundo.  
13 de mayo del 2019. Wradio.  
[https://wradio.com.mx/radio/2019/05/13/nacional/1557756715\\_180964.html](https://wradio.com.mx/radio/2019/05/13/nacional/1557756715_180964.html)
14. United Nations Climate Change. (2015), Acuerdo de París.  
12 de diciembre del 2015. UNCC.  
[https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_spanish\\_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf)
15. Agua.org.mx. (2018) Fracking y uso de agua.  
7 febrero del 2018. Fondo para la comunicación y la educación ambiental.  
<https://agua.org.mx/actualidad/uso-del-agua-fracking/>
16. Manos unidas. (1997). Protocolo de Kyoto.  
11 de diciembre de 1997. Manosunidas.org  
<https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/protocolo-kioto>

17. Centro nacional del Hidrógeno. (2021). El hidrógeno.  
13 abril del 2021. CNH2.es  
<https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>
18. Universidad Nacional Autónoma de México (2015) Implementación del hidrógeno en la legislación mexicana para el desarrollo energético nacional.  
9 de diciembre del 2015. Repositorio universitario.  
<http://ru.iiec.unam.mx/2877/>
19. National Geographic España. (2019) Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo.  
8 de diciembre del 2019. National Geographic.  
[https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo\\_14897](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897)
20. Euston. (2021) Electrólisis.  
19 de septiembre del 2021. Euston96  
<https://www.euston96.com/electrolisis>
21. Intendencia Montevideo. (2020) Principales contaminantes del aire.  
21 de octubre del 2020. Montevideo.gub.  
<https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/calidad-del-aire/principales-contaminantes-del-aire>
22. Comisión Reguladora de energía. (2015) Acuerdo por el cual la Comisión Reguladora de Energía interpreta las definiciones de petroquímicos y petrolíferos, comprendidas en el artículo 4, fracciones XXVIII y XXIX, de la Ley de Hidrocarburos.  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5395730&fecha=09/06/2015](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5395730&fecha=09/06/2015)
23. Comisión Reguladora de Energía (2015) ¿Qué hacemos?  
13 de febrero del 2015. CRE.  
<https://www.gob.mx/cre/que-hacemos>
24. Comisión Federal de Electricidad. (2021) Tiene CFE sesenta hidroeléctricas.  
15 de abril del 2021. CFE.  
<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2336>
25. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.(2013) ¿Qué hacemos?  
8 de septiembre del 2013. CONUEE.  
<https://www.gob.mx/conuee/que-hacemos>
26. Centro Nacional de Control de Energía (2013). ¿Qué hacemos?  
4 de marzo del 2013. CENACE.  
<https://www.gob.mx/cenace/que-hacemos>
27. Centro Nacional de Control del Gas Natural. (2014) ¿Qué hacemos?  
30 de Agosto del 2014. CENAGAS.

<https://www.gob.mx/cenagas/que-hacemos>

28. Secretaría de Energía (2014) ¿Qué hacemos?

31 de octubre del 2014. SENER.

<https://www.gob.mx/sener/que-hacemos>

29. Scielo (2015). La jerarquía de los tratados internacionales sobre los derechos humanos a la luz de la reforma constitucional del 10 de junio del 2011.

24 de Septiembre 2014. Ramón Ortega García.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-46542015000100013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-46542015000100013)

30. UNAM Archivos Jurídicas. (2015) El artículo 133 y la jerarquía jurídica.

13 de noviembre 2015. Guillermo Teutli Otero.

<https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/9/4056/11.pdf>

31. Propuesta de resolución del parlamento europeo (2020). Sobre estrategia europea para el hidrógeno.

20 de julio 2020. Jens Geler

[https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116\\_ES.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_ES.html)

32. CONICET. (2021). El hidrógeno tiene que ser una política de estado como lo fue la energía atómica.

22 Marzo del 2021. Miguel Ángel Laborde.

<https://ithes-uba.conicet.gov.ar/el-hidrogeno-tiene-que-ser-una-politica-de-estado-como-lo-fue-la-energia-atmica/>

33. Energías renovables. (2021) Mil taxis de hidrógeno circularán por las calles de Madrid en 2026.

10 de junio del 2021. Energías renovables.

<https://www.energias-renovables.com/movilidad/mil-taxis-de-hidrogeno-circularan-por-las-20210610>

34. UnoCero. (2021) Land Rover Defender propulsada por hidrógeno llegará a las calles este año.

15 de junio del 2021. Andrea López.

<https://www.unocero.com/autos/land-rover-defender-propulsada-por-hidrogeno/>

35. World Economic Forum (2021) Here are some of the most exciting Green technology pioneers of 2021.

15 de junio del 2021. Joshua Earle.

[https://www.weforum.org/agenda/2021/06/green-tech-pioneers-2021/?utm\\_source=facebook&utm\\_medium=social\\_video&utm\\_term=1\\_1&utm\\_content=22788&utm\\_campaign=social\\_video\\_2021](https://www.weforum.org/agenda/2021/06/green-tech-pioneers-2021/?utm_source=facebook&utm_medium=social_video&utm_term=1_1&utm_content=22788&utm_campaign=social_video_2021)

36. Scielo. (2010) Estudios de estabilidad transitoria en sistemas eléctricos industriales con generación propia interconectados con el sistema de transmisión.

13 de diciembre del 2010. Calderón Guizar.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432010000400008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000400008)

37. Centro Nacional de Control de Energía. (2016) Comité de transparencia. 13 de junio del 2016. CENACE.

<http://www.cenace.gob.mx/Docs/Transparencia/Resoluciones/2016/10/1120500002416.pdf>

38. TWEET. (2021) El prometedor el hidrógeno, pero costo es desventaja 7 de agosto del 2021. Stanley Reed

<https://twitter.com/SeveroLMestre/status/1424223629273964546?s=08>

39. Diario Oficial de la Federación (2020). Acuerdo por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la Estrategia de Transición para promover el Uso de Tecnologías y combustibles más limpios, en términos de la Ley de Transición Energética.

07 de febrero del 2020. DOF.

[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020)

40. Naturgy. (2020) Hidrógeno, vector energético de una economía descarbonizada. 7 de abril 2020. Juan Ramón Morante, Cía.

[file:///Users/mac/Downloads/LIBRO%20HIDROGENO\\_Fundaci%C3%B3n%20Naturgy%20\(1\).pdf](file:///Users/mac/Downloads/LIBRO%20HIDROGENO_Fundaci%C3%B3n%20Naturgy%20(1).pdf)

41. IEA(2019) Hidrógeno en América Latina.

International Energy Agency.

[https://iea.blob.core.windows.net/assets/20691e17-8fe4-49a5-b062-8f1c6490c390/IEA\\_HydrogeninLatinAmerica\\_ES\\_Spanish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/20691e17-8fe4-49a5-b062-8f1c6490c390/IEA_HydrogeninLatinAmerica_ES_Spanish.pdf)

42. Hydrogen Law and Regulation in Mexico: Where to go next?

Dr. Miguel A Marmolejo Cervantes, Lic. Derek Woodhouse., 2021.