

HYDROGEN PRODUCTION IN MEXICO TO CONTRIBUTE
DECARBONIZATION PROCESS

BRIAN CLEMENTE
CASTILLO CRUZ¹

Resumen

El objetivo del presente artículo abordará la situación actual del cambio climático ocasionado por las emisiones de carbono. Muestra la descarbonización como solución y a su vez el impacto que tendría la implementación de hidrógeno verde como principal combustible en sectores como la electricidad, industria y transporte, así como los beneficios que aportaría a nuestro país para el año 2050. Este trabajo es una revisión documental en la que se presentan proyectos que ya se encuentran en desarrollo en países que se posicionan como líderes en materia de la producción de hidrógeno.

Palabras clave: medio ambiente natural, carbón, ecología.

Abstract

The Objective of the present article is to aboard the actual situation about the problematic of carbon emissions which cause the climate change. Show the decarbonization as a solution and at the same time the impact that the green hydrogen's implementation would have as principal fuel in sectors like electricity, industry and transportation as well as the benefits that it would apport to our country for 2025. It was made through a documental investigation and it is shown the projects that are already in development in countries that are positioned as leaders in the subject of hydrogen production.

Key words: environment, coal, ecology.



¹ Colegio del Aire. Estudiante. Licenciatura. Jalisco, México. E-mail: rockclemente@gmail.com
ORCID: 0009-0002-1763-4467 Google Scholar:
https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=PIuBTDUAAA&scilu=&scisig=AM0yFCkAAAAAZcLn69ORCpLKAbAdARNdTdNSp0k&gmla=AH70aAX9rpuaZpZ9DQ9S-BuEAQdAoi4rBXnP9aUwmOgN13cX4KE1M-AzKi16K7_Iy-NwVQvP7W0kuYyZJAzo14yc-Dr7hgval5ExMwfA02Uuxid3zfzxMKYeCLi-DA&sciund=15540931204478767134



INTRODUCCIÓN²

La mayoría de las actividades humanas relacionadas con desarrollo económico, tecnológico e industrial generan una parte considerable de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) principalmente de dióxido de carbono (CO₂) (Echeverri, 2006). Las emisiones de gas carbónico representan el 60% de la causa del efecto invernadero, si bien el CO₂ no es el gas más peligroso en toxicidad y permanencia, en 2012 se estimaba que la atmósfera contaba con 750 mil millones de toneladas de carbono, el cual permanece de 100 a 150 años en ella antes de disolverse (Delzo, 2012); las emisiones que anteriormente eran contrarrestadas ahora se quedan en la atmósfera y provocan que los GEI aumenten y con ello acelere el cambio climático.

Actualmente, el cambio climático es uno de los problemas ambientales más preocupantes de nuestro siglo, en función de sus impactos negativos sobre los ecosistemas, biodiversidad, infraestructura, recursos hídricos, procesos productivos y salud pública (Olmos et al., 2013).

La solución a este problema medioambiental es la reducción de emisión de gases con ayuda de la descarbonización. De acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) la descarbonización se define como: “el proceso mediante el cual países, personas u otras entidades procuran lograr una existencia sin consumo de carbono de origen fósil” (IPCC, 2018, p. 184).

Una de las alternativas actuales para poder llevar a cabo la descarbonización es el empleo de energías limpias como lo es el caso del hidrógeno que es una de las opciones más destacadas. El

hidrógeno, antes de ser motivo de investigación relacionado con la generación de energía, tuvo otros usos, el primero fue en globos aerostáticos debido a que el hidrógeno es más ligero que el aire y también fue usado como combustible para motores de combustión interna, sin embargo debido a los riesgos asociados a su manejo, tales como los que provocaron un accidente que cobró la vida de treinta y cinco personas a bordo de un dirigible, el cual causó repulsión en la sociedad hacia el empleo de este gas, generando que el petróleo se volviera el nuevo combustible principal, mientras que el hidrógeno pasó a ser usado exclusivamente en procesos industriales (Llorca, 2010).

El hidrógeno verde es aquel que al producirse se apega al criterio de “cero emisiones”, lo cual se lleva a cabo a través del proceso de electrólisis, el cual consiste en enviar corriente eléctrica por medio del agua en un dispositivo que se conoce como electrolizador, separando los átomos de hidrógeno y oxígeno; si la energía eléctrica que es utilizada para este proceso proviene de fuentes de energía renovables que no emiten GEI, como la energía eólica o hidráulica, entonces el hidrógeno obtenido por este proceso se le conoce como “Hidrógeno Verde” (Torres, 2022).

DESARROLLO

El desarrollo de esta investigación, consiste en la búsqueda de información sobre energías renovables, programas de reducción de emisiones de carbono e implementación de hidrógeno como combustible, a través de plataformas digitales de acceso público, resaltando las publicaciones de revistas científicas de alcance internacional y los programas de

³ Artículo original y derivado del proyecto de investigación titulado: Semillero de investigadores del Colegio del Aire, Zapopan, Jal., México.

desarrollo y sustentabilidad energética de los países de Norteamérica.

Actualmente 42 países han publicado sus estrategias para el uso de hidrógeno, entre los que destacan Alemania, Australia, Chile, China, España, Francia y Países Bajos, reforzando la producción de hidrogeno por medio de energías renovables como clave a largo plazo (Imran & Al-Ghamdi, 2023).

El hidrógeno es clave para la transición energética pues puede ser útil en áreas como la siderurgia, la petroquímica, el refinado de petróleo, los procesos caloríficos, el transporte pesado y la aviación. El hecho de que este nuevo combustible prometa reducir costos monetarios y daño medioambiental hace que lo veamos como el nuevo camino dominante, especialmente en la unión europea. De acuerdo con Escribano et al. (2022) para la década de 2020, en la unión europea se buscará potenciar el desarrollo industrial y toda la infraestructura necesaria para el uso del hidrogeno uso con fines de producción. (Escribano et al., 2022).

Con la inevitable descarbonización a la que el mundo está sometido, el hidrógeno verde tendrá protagonismo, si se consiguiera una reducción económica de al menos 50% del precio actual que tiene la producción de hidrógeno, para 2030, la producción y la demanda crecerían lo suficiente como para tener países autosuficientes, importadores y exportadores, favoreciendo el comercio de hidrógeno y este se convertiría en el combustible del futuro (Fernández, 2022).

Se estima que a partir de 2040 se producirá la consolidación tecnológica, intensificación

del comercio y la incorporación de los países en desarrollo como productores y consumidores (Escribano et al., 2022).

En un artículo publicado por la Sociedad Alemana de Cooperación Internacional, (GIZ, por sus siglas en alemán); se menciona que, en México, las tecnologías de hidrógeno han comenzado a ser vistas como una opción para la matriz energética del país desde hace poco tiempo. Se han iniciado discusiones y se ha formado una Asociación Mexicana del Hidrógeno que agrupa empresas privadas y agencias energéticas desde la década de los noventas (Hinicio, 2021).

México tiene muchas ventajas en cuestión de manufactura para producir las distintas tecnologías o elementos que son necesarios para el desarrollo de la industria verde, gracias a que cuenta con abundantes recursos solares y eólicos, lo cual permitiría la producción del 100% del consumo de energía interno e incluso, contar con un excedente que podría ser exportado (Soto, 2020).

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) publicó la aprobación de un proyecto piloto para la producción y aplicación de hidrógeno en tecnologías de combustión, este proyecto, cuenta con los insumos necesarios para llevar a cabo los procesos de extracción de manera segura; CFE propone el parque fotovoltaico de Puerto Peñasco, Sonora, como una opción viable de insumo de energía renovable. El objetivo de CFE con este proyecto es minimizar la dependencia del gas natural y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Tapia, 2022).

RESULTADOS

Proyectos de hidrógeno en otros países

Australia es el país con más ambición en el tema de energías renovables, gracias a sus diversos recursos de energía renovable como la eólica y solar; el país ha visualizado el hidrógeno como la clave para la transición de un mercado a futuro con bajas emisiones de carbono y se ha propuesto como objetivo reducir el costo de producción de hidrógeno a 2 dólares australianos por kilogramo, con el fin de poder convertirse en un país exportador, para el logro de esta propuesta, se requieren electrolizadores de cientos de GW. Actualmente, el país tiene 5 grandes proyectos que impulsarán el desarrollo de este nuevo combustible limpio. El proyecto más grande de este país, y del mundo, es el *Asian Renewable Energy Hub*, el cual planea construir una serie de plantas con electrolizadores con capacidad total de 14GW. El costo de operación es de alrededor de \$36 millones de dólares y estará listo para el año 2028; los cuatro proyectos que restan aún se encuentran en planificación, pero de ser aprobados, sumarían en total otros 13,1 GW de capacidad. Es por eso que Australia es considerado como el “Arabia Saudita del hidrógeno verde” (Barker & Simpson, 2022).

El siguiente país en la lista de líderes es Países Bajos con el proyecto NorthH2 que construirá al menos 10 GW de electrolizadores para 2030 con energía eólica, su costo aún no está definido (Mascarenhas et al., 2021).

Alemania en un documento del Ministerio Federal de Asuntos Económicos y Energía (FMEAE, por sus siglas en inglés) ha plasmado al

hidrógeno verde como una opción para contribuir con la descarbonización de su país; el gobierno federal busca que su lanzamiento al mercado se lleve a cabo a la brevedad. El país cuenta con un proyecto llamado *AquaVentus*, que planea construir 10 GW de capacidad que estará listo para 2035 en una isla al norte del país; se trata de un conjunto de 27 empresas, instituciones de investigación y organizaciones que impulsan el proyecto (FMEAE, 2020).

China que es el principal productor de hidrógeno a nivel mundial (el hidrógeno que actualmente produce el país proviene del carbón, ya que, resulta más económico), ahora está comenzando a tomar lugar en el mercado de hidrógeno verde con un proyecto que tendrá el valor de 3000 millones de dólares para generar 5 GW a partir de energía eólica y solar; el proyecto estará listo este año (Mascarenhas et al., 2021).

España se ha propuesto como objetivos para 2030 lograr el 23% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar en un 39% la eficiencia energética y aumentar el uso de energías renovables en un 74%, para lograrlo, deberá incidir en sus tres principales sectores más contaminantes que son: Movilidad y transporte, Industria y Edificación, apostando por la transición de energías renovables como la mejor opción para poder alcanzar sus objetivos (Ariño de Meer, 2022).

Francia es uno de los países que, apuesta de manera más decidida por el hidrógeno, pues, cuenta con un plan nacional aprobado en 2018 dotado con 100 millones de euros al año, que son invertidos, primeramente, en el sector transporte, busca la manufactura de 5000 coches y 200 vehículos pesados impulsados por hidrógeno en 2023 (Giménez, 2019).

Por último, tenemos a Chile, que cuenta con una muy buena radiación solar, lo que le permitirá tener precios de energía muy bajos y a su vez producir hidrógeno verde, aportando a la descarbonización nacional (Saenz, 2020) y posicionándose como el único país latinoamericano que cuenta con dos proyectos enfocados en la producción de hidrógeno. El primero de sus proyectos lleva por nombre *HyEx*, el cual, utilizará energía solar para potenciar electrolizadores de 1.6 GW, mientras que el segundo proyecto *Highly Innovative Fuels (HIF)* usará un electrolizador con capacidad superior a 1 GW (Smink, 2021).

¿Cómo impactaría la implementación de hidrógeno verde en México?

México se encuentra dentro de los principales países con mayor cantidad de emisiones de carbono, entre los años 2017 y 2020 ocupó el lugar catorce en el mundo con el 1,35% de las emisiones globales (Flores, 2022), el impacto del cambio climático en México se ha visto reflejado en la intensidad con la que se presentan desastres naturales, por ejemplo, tormentas o ciclones que provocan inundaciones, lo que posiciona a la nación en el lugar nueve de la lista de países con mayores pérdidas económicas ocasionadas por desastres naturales en las últimas décadas.

Existen organismos e instituciones que constantemente trabajan en realizar aportaciones a la descarbonización, como el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INEEC), que realizó un estudio que muestra los costos que tendría llevar a cabo 35 medidas de mitigación de GEI lo que reduciría 237 millones de toneladas

de CO₂ para el año 2030; otra parte del estudio menciona que las inversiones ascenderían a 104 mil millones de dólares del inicio de su implementación hasta el 2030, sin embargo, los beneficios serían de aproximadamente 157 mil millones de dólares.

El estudio nos deja como mensaje que las consecuencias de llevar a cabo las mitigaciones establecidas serían favorables económica y socialmente para nuestro país. Es posible que no se puedan cumplir las 35 mitigaciones inmediatamente por la gran cantidad de dinero que se requiere, no obstante, la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en el artículo 32 establece que las políticas se instrumentarán con base en un principio de gradualidad, priorizando los sectores de mayor potencial de reducción hasta culminar en los que representen los costos más elevados (LGCC, 2020).

De acuerdo con el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), en México se producen 9,300 muertes por causas asociadas con la contaminación del aire (Guzmán, s. f.), por lo tanto, entre los beneficios que traería consigo la implementación hidrógeno verde, se encuentra el de alcanzar la meta acordada en el acuerdo de París, con lo cual se evitarían alrededor de 26 mil muertes para el año 2030 y más de 38 mil para 2050; existen otros beneficios que no han sido cuantificados, pero hay indicios sobre ganancias potenciales en competitividad económica, alimentación, reducción de pobreza, seguridad energética y equidad social (Flores, 2022).

El pilar de la descarbonización radica en el empleo de hidrógeno verde como principal proveedor de energía de las diversas actividades que actualmente usan combustibles fósiles para funcionar.

Las actividades contribuyentes a las emisiones de GEI en México se clasifican en tres principales sectores: Electricidad, Gas y Petróleo, y Transporte; dichos sectores son los responsables del 51% de las emisiones nacionales de GEI. A pesar de que en México los proyectos de producción de hidrógeno aún se encuentran en fase piloto; para mediados del siglo, 300 millones de toneladas de emisiones podrían ser reducidas por el uso de hidrógeno verde en México. El sector de transporte es el que cuenta con un gran potencial de demanda de hidrógeno pues la implementación de transporte terrestre pesado como autobuses de transporte público y camiones de carga pesada, impulsados por hidrógeno verde, serán más baratos que los vehículos de combustión interna convencionales y para 2050 podrían estar circulando 500,000 vehículos de hidrógeno (Hinicio,2021).

Es evidente que la implementación de vehículos eléctricos alimentados por hidrógeno impulsará la industria automotriz, empleando al menos 13,800 trabajadores para 2050, de los cuales la mayoría estarían involucrados directamente con la fabricación de los vehículos alimentados por hidrógeno verde. En cuanto a Electricidad, Gas y Petróleo se espera que la demanda sea pequeña debido a la baja competitividad económica, sin embargo, se espera que el auge de la adopción de hidrógeno sea en 2040 lo que permitiría que el hidrógeno alcance la competitividad en costos. Por consecuencia, Petróleos Mexicanos (PEMEX) y Comisión Federal de Electricidad (CFE) podrían impulsar la creación de un mercado extenso de hidrógeno verde en el País, alcanzando casi un millón de toneladas de hidrógeno por un valor cercano a 1.2 mil millones de dólares para el año 2050.

La implementación de hidrógeno traería consigo 90,000 empleos en el sector de hidrógeno verde, repartidos en industria productora de hidrógeno, industria automotriz y estaciones de recarga de hidrógeno (Hinicio,2021).

En cuanto a la economía, se podría generar un mercado de 5.7 mil millones de dólares en 2050. El reporte tiene la finalidad de mostrarnos las ventajas e impactos que tendría la implementación de hidrógeno en México por medio del análisis de diversos estudios (Hinicio, 2021).

México, aún cuenta con múltiples barreras políticas, económicas y tecnológicas que impiden el desarrollo de esta energía como lo son el acceso que tiene nuestro país al gas natural, los costos de las tecnologías de producción y consumo de hidrógeno, personal capacitado para el manejo del hidrógeno, entre otras (Hinicio, 2021). No obstante, Israel Hurtado, presidente de la Asociación Mexicana de Hidrógeno asegura que los primeros gramos de hidrógeno verde serán producidos a lo largo de 2023 (Liñan, 2023).

DISCUSIÓN

Debido a los niveles de CO₂ que existen en la atmósfera, el mundo se ha visto en la forzosa necesidad de implementar medidas para reducir el carbono emitido por las actividades cotidianas que realizamos, antes de llegar a un punto en el que ya no sea posible revertir el daño ocasionado. La economía basada en el hidrógeno, definida como: “La nueva estructura del negocio energético y el sistema de relaciones técnico-económicas y sociales que se generarán como consecuencia del reemplazo gradual de los combustibles fósiles por el hidrógeno” (Solano, 2004, p. 168), proporcionará múltiples

beneficios como la estabilización del clima a nivel mundial, el más importante de todos. El hidrógeno es la solución más viable para reducir las emisiones de carbono pues puede producirse en cantidades suficientes para usarse en transporte, industria, edificios a nivel mundial en una forma económica relativamente (Berry & Aceves, 2006).

Varios países están apostando por el desarrollo de energías limpias libres de emisiones como el hidrógeno verde el cual ofrece a largo plazo un ciclo energético cerrado completamente limpio al tomar agua de la naturaleza, separar sus componentes (Hidrogeno y oxígeno) mediante electricidad generada de energías renovables (eólica o solar), almacenarlo, transportarlo y finalmente al usarlo se devolvería al medio ambiente la misma cantidad de agua que se tomó previamente.

Si fuera posible la implementación de este elemento, capaz de atender a todas las necesidades energéticas (con emisiones de carbono nulas gracias al hidrógeno y la electricidad), se habría producido la “Revolución del Hidrógeno” (Linares & Moratilla, 2007). Es por esta razón que países como Australia, Alemania, Países Bajos, entre otros, ya tienen proyectos de hidrógeno en desarrollo pues han visualizado que traerá múltiples beneficios en aspectos económicos y ambientales. En México estamos cerca de entrar en la carrera del desarrollo de hidrógeno que requerirá una inversión de 60,000 millones de dólares durante los próximos 20 años, pero que promete traer consigo empleos para 90,000 personas y reducir hasta 300 millones de toneladas de emisiones para el año 2050. Además, México podría convertirse en uno de los países más competitivos en producción de hidrógeno con exportaciones de hasta 300 millones de dólares de hidrógeno verde,

gracias a las múltiples fuentes de energías renovables distribuidas en todo el país que reducirían el costo de producción.

La carrera de producción de hidrógeno apenas comienza y solo con el tiempo podremos ver si nuestro país será capaz de aprovechar el gran potencial con el que cuenta para liderar en la producción de hidrógeno verde a nivel mundial. La verdadera pregunta no es si va a ocurrir la economía basada en el hidrógeno, si no cuándo va a ocurrir.

CONCLUSIONES

En la actualidad, el uso excesivo de combustibles fósiles ha ocasionado trastornos a la atmósfera, llenándola de Gases de Efecto Invernadero, siendo el carbono el más abundante, ya que, es producto de la mayoría de nuestras actividades cotidianas perdurando hasta 150 años en la atmósfera.

Hace 60 años el valor de las emisiones globales de carbono antropogénico equivalían a las que se emiten actualmente (8 mil millones de toneladas de carbono por año) y se estima que en 50 años más, la cantidad actual duplique su número, ante esta situación el medio ambiente ha mostrado cierta capacidad de amortiguar los cambios, sin embargo, se teme que en años posteriores se llegue al punto de no retorno, en el cual cualquier acción o medida será inservible pues el daño ocasionado será irreversible (Power, 2011). Por esta razón, surge la necesidad mundial de comprometerse a cumplir ciertos objetivos a mediano y largo plazo, con el fin de reducir la mayor cantidad de emisiones de carbono, a este proceso se

le conoce como descarbonización y para lograrlo algunos países (Australia, Países Bajos, Alemania, Francia, España, China, Chile, entre otros) han depositado su confianza en la implementación de una economía basada en la producción de hidrógeno, que ofrece un ciclo energético completamente libre de emisiones y reemplazará a los combustibles que nos han llevado al grado de contaminación en el que nos encontramos hoy en día.

México a pesar de que, tiene contemplado el desarrollo de hidrógeno verde como solución al cumplimiento de los objetivos esperados, aún sigue estando a prueba. De ahí, el motivo de esta investigación por analizar los impactos que tendría en un futuro el desarrollo de esta energía limpia que ha venido tomando protagonismo alrededor del mundo.

La revisión bibliográfica de artículos científicos, académicos, tesis, entradas de blog, leyes e informes, sugieren que, el país se vería beneficiado en el aspecto económico, pues México tiene un gran potencial para convertirse en un país importante en materia de hidrógeno gracias a la cantidad de fuentes renovables que se encuentran distribuidas en todo el país, lo que favorecería a la reducción de costos de producción con el aumento de la demanda de consumo de combustible limpio. La industria de tecnologías se vería en la necesidad de acoplarse a la nueva fuente de energía, como la automotriz que se vería impulsada a desarrollar vehículos alimentados por combustible de hidrógeno. El surgimiento de estas nuevas necesidades abriría también oportunidades de miles de empleos para la población mexicana.

Finalmente, México habría logrado reducir un gran número de emisiones de carbono, aprovechado la oportunidad para convertirse en un país competitivo a nivel mundial en producción y exportación de hidrógeno.

REFERENCIAS

- Ariño de Meer, I. (2022). *La apuesta por la transición ecológica en España: Descarbonización e hidrógeno verde* [Universidad Pontificia]. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/57762>
- Barker, G., & Simpson, B. (2022, enero). *Hidrógeno verde en Australia* [Comercial]. Siemens Energy. <https://www.siemens-energy.com/mx/es/noticias/magazine/2022/hidrogeno-verde-en-australia.html>
- Berry, G., & Aceves, S. (2006). *La economía del hidrógeno como solución al problema de la estabilización del clima mundial*. 16(1), 5-14.
- Delzo, J. (2012). *REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO AL MEDIO AMBIENTE CON EL AHORRO DE ENERÍA ELÉCTRICA EN ILUMINACIÓN RESIDENCIAL* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2963>
- Echeverri, C. (2006). *ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA (CÓRDOBA, COLOMBIA)*. 5(9), 85-96.

- Escribano, G., Lázaro, L., & Urbasos, I. (2022). *El desarrollo del hidrógeno: Estrategias y políticas en Europa y España*. 4(2), 84-97.
- Fernández, D. (2022). *El hidrógeno como combustible del futuro* [Universidad Pontificia]. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/56716>
- Flores, A. (2022, diciembre 5). Las oportunidades y beneficios sociales de la descarbonización en México [Organización]. *WRI MÉXICO*. <https://wrimexico.org/bloga/las-oportunidades-y-beneficios-sociales-de-la-descarbonizaci%C3%B3n-en-m%C3%A9xico>
- FMEAE. (2020). *The National Hydrogen Strategy*. smirkdingo. <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html>
- Giménez, J. (2019). *LA HORA DEL HIDRÓGENO VERDE* (Interés N.o 153; Gas actual). https://www.gasrenovable.org/docs/hidrogeno_renovable/Reportaje-La_hora_del_Hidrogeno_verde.pdf
- Guzmán, S. (s. f.). *Impactos de la calidad del aire en la salud y en la economía de México*. 16. <https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2014/07/respira-mexico-baja-resolucion.pdf>
- Hinicio (2021) *Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación*. Alianza Energética México-Alemania. https://www.energypartnership.mx/fileadmin/user_upload/mexico/media_elements/reports/Hidro%CC%81geno_AE_Tomo_VII.pdf
- Imran, M., & Al-Ghamdi, S. (2023). *Hydrogen economy for sustainable development in GCC countries: A SWOT analysis considering current situation, challenges, and prospects*. 48(28), 10315-10344.
- IPCC (2018). Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].
- LGCC (2019) Ley General de Cambio Climático Diario Oficial de la Federación, en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- Linares, J., & Moratilla, B. (2007). *El hidrógeno y la energía*. Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI. <https://www.kimerius.com/app/download/5781455897/El+hidr%C3%B3geno+y+la+energ%C3%ADa.pdf>

- Llorca, J. (2010). *El hidrógeno y nuestro futuro energético* (Universidad Politécnica de Catalunya). <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36579/9788498804287.pdf>
- Liñan, K. (2023, enero 23). *CFE Y y CEMEX: primeros en producir hidrógeno verde en México* [Gubernamental]. CÁMARA, PERIODISMO LEGISLATIVO. <https://comunicacionsocial.diputados.gob.mx/revista/index.php/en-opinion-de/cfe-y-cemex-primeros-en-producir-hidrogeno-verde-en-mexico#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20la%20primera,primeros%20gramos%20de%20hidr%C3%B3geno%20verde.>
- Mascarenhas, T., Gutman, V., Dias, M., Pezzarini, L., Palazzo, G., & Anauati, M. (2021). *Políticas de Desarrollo Productivo Verde para la Argentina*. Fundar. https://www.researchgate.net/publication/351244610_Políticas_de_Desarrollo_Productivo_Verde_para_la_Argentina
- Olmos, E., Gonzalez, M., & Contreras, M. (2013). *Percepción de la población frente al cambio climático en áreas naturales protegidas de Baja California Sur, México*. 12(35), 459-481.
- Power, G. (2011, enero 28). *El calentamiento global y las emisiones de carbono*. 27, 101-122.
- Saenz, C. (2020). *Análisis técnico económico de tecnología de electrolisis tipo PEM para producción de hidrógeno en Colombia* [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/48973/u833654.pdf?sequence=1>
- Smink, V. (2021, marzo 31). *Hidrógeno verde: 6 países que lideran la producción de una de las «energías del futuro» (y cuál es el único latinoamericano)* [Comercial]. BBC News MUNDO. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56531777>
- Solano, J. (2004). *Hacia una economía basada en el hidrógeno*. 4(1), 165-180.
- Soto, J. (2020, mayo 3). *¿Cuál es el potencial de México en energía renovable?* [Organización]. GREENPEACE. <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/8329/cuales-el-potencial-de-mexico-en-energia-renovable/>
- Tapia, P. (2022, enero 26). *Proyectan a México como un hub para el hidrógeno verde* [Comercial]. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/negocios-proyectan-a-mexico-como-un-hub-para-el-hidrogeno-verde/>
- Torres, R. (2022). *Introducción al Hidrógeno verde*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33009/1/Introduccion_al_Hidrogeno_Verde.pdf