



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Hidrógeno, el futuro de la sostenibilidad, una revisión sistemática
de la realidad internacional en la última década – 2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Ruiz Graus, Karla (ORCID:0000-0003-3677-502X)

Sánchez Sánchez, Anderson (ORCID:0000-0002-8846-2060)

ASESOR:

Dr. Quezada Álvarez, Medardo Alberto (ORCID:0000-0002-0215-5175)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales.

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A nuestras familias, gracias a su arduo trabajo e inversión, hoy tenemos la oportunidad de destacar, de aprender, de hacer y con el tiempo enseñar.

A las personas que creyeron en nosotros, apostaron por nosotros, y más que nada, confían en nosotros, aunque nos faltaría memoria para recordar todos sus nombres, esto es por ustedes.

[...] La oscuridad no es la ausencia de luz, si no la falta de esperanza [...]

--- Anderson Sánchez ---

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a Dios por ser nuestra motivación en la firmeza y seguridad de nuestros pasos en el proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

Agradecemos en especial gratitud a nuestro asesor de tesis, por la guía brindada, no solo en la elaboración de este proyecto de investigación, sino a lo largo de nuestra carrera universitaria donando su apoyo y atención en nuestro desarrollo profesional.

Agradecemos a las empresas e instituciones que nos tendieron una mano amiga para poder demostrar nuestro verdadero potencial.

Agradecemos a las personas, que a pesar de todo nunca perdieron la fe en nosotros, a todos ellos, muchas gracias.

Índice de contenidos

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA.....	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	11
3.3. Escenario de estudio.....	11
3.4. Participantes	11
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	11
3.6. Procedimiento	12
3.7. Rigor científico	13
3.8. Método de análisis de la información	13
3.9. Aspectos éticos.....	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES.....	51
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS	78

Índice de tablas

Tabla 1. Investigaciones consultadas para el desarrollo del objetivo 1 y 2.....	18
Tabla 2. Resumen de los diferentes métodos de producción de hidrógeno (H ₂).	20
Tabla 3. Investigaciones consultadas para el desarrollo del objetivo 3.....	28
Tabla 4. Características y especificaciones de las tecnologías de electrólisis.....	32
Tabla 5. F.E.R. y la producción de hidrógeno por electrólisis.	36
Tabla 6. Investigaciones consultadas para el desarrollo del objetivo 4.....	43

Índice de figuras

Figura 1. Diseño de teoría fundamentada - Modelo sistemático.	10
Figura 2. Procedimiento de la investigación.	12
Figura 3. Diagrama de flujo adaptado de Yépez, et al., (2021).	14
Figura 4. Cantidad de documentos según la base de datos consultada.	15
Figura 5. Cantidad de documentos según el año de publicación.	15
Figura 6. Cantidad de documentos según el idioma de publicación.....	16
Figura 7. Cantidad de documentos según el cuartil de la revista consultada.	16
Figura 8. Resumen gráfico de los métodos de producción de hidrógeno (H ₂).	17
Figura 9. Producción de hidrógeno utilizando F.E.R. y electrolizadores.	31

RESUMEN

La presente revisión de literatura se ejecutó bajo un enfoque cualitativo con un diseño de investigación de teoría fundamentada, determinando que el hidrógeno solo es sostenible si es obtenido a partir de fuentes naturales en acción conjunta con las fuentes energéticas renovables (F.E.R.), coincidiendo de esta manera con más del 70% de los autores consultados; con respecto a los métodos aplicados a fuentes fósiles, se evidenció que el más eficiente es el reformado con vapor, mientras que de los métodos orientados a fuentes naturales, los métodos termoquímicos más competitivos fueron la pirólisis y la gasificación, en cuanto a los biológicos tenemos a la fermentación oscura; por su parte de los métodos de separación del agua, la electrolisis es la más eficiente, siendo la electrolisis alcalina la tecnología más rentable para la producción de hidrógeno en acople con las fuentes energéticas renovables, por último cabe precisar que gran parte de los autores estimaron que los combustibles fósiles y el hidrógeno obtenido de estos será reemplazado por uno extraído de fuentes naturales y fuentes energéticas renovables lo cual consolidará su participación y competitividad en el mercado energético al 2030 en un 50%, lo que se incrementará a 80% para el 2050.

Palabras clave: Hidrógeno, fuentes naturales, fuentes fósiles, energías renovables, reviews.

ABSTRACT

This literature review was carried out under a qualitative approach with a grounded theory research design, determining that hydrogen is only sustainable if it is obtained from natural sources in conjunction with renewable energy sources (R.E.S.), thus coinciding with more than 70% of the authors consulted; With respect to the methods applied to fossil sources, it was found that the most efficient is steam reforming, while of the methods oriented to natural sources, the most competitive thermochemical methods were pyrolysis and gasification, and as for the biological ones, we have dark fermentation; As for water separation methods, electrolysis is the most efficient, being alkaline electrolysis the most profitable technology for hydrogen production in conjunction with renewable energy sources. Finally, it should be noted that most of the authors estimated that fossil fuels and the hydrogen obtained from them will be replaced by one extracted from natural sources and renewable energy sources, which will consolidate its participation and competitiveness in the energy market by 2030 in 50%, which will increase to 80% by 2050.

Keywords: Hydrogen, natural sources, fossil sources, renewable energies, reviews.

I.INTRODUCCIÓN

En la pasada década, los problemas ambientales fueron más notorios, sin embargo hoy en día, cada vez se contribuye más al riesgo de los ecosistemas ya sean acuáticos como terrestres; por lo cual, la investigación, debe ser dirigida a la ejecución y realización de trabajos u acciones disciplinarias de prevención, control y mitigación de cada impacto producidos por nuestras actividades; sumado a ello el acelerado crecimiento poblacional y la limitada accesibilidad energética, denotó desafíos importantes en la búsqueda de nuevas metodologías y tecnologías que integren a la sociedad en su conjunto; el evidenciado consumo energético está dominado por los combustibles fósiles, los cuales se ven superados por la demanda que recae en estos, es así que el hidrógeno se perfiló como el candidato más relevante, con amplias perspectivas actuales y futuras, camino a una sostenibilidad energética, como bien mencionaron Jahangiri, *et al.*, (2019, p. 1) y Sazali, (2020, p. 4).

El requerimiento energético contemporáneo, está sostenido bajo los pilares de los combustibles fósiles, a lo que Sazali, (2020, p. 2), señaló que actualmente el hidrógeno se plantea como el nuevo aspirante potencial para suplir las penurias energéticas en tiempos contemporáneos.

Hablándose de la sostenibilidad energética en la integración a los sectores económicos e industriales, el hidrógeno, como combustible limpio del futuro, siempre se cuenta como ambientalista, sin embargo, Dicle y Meltem, (2017, p. 1), manifestaron que su producción no siempre es verde, por lo que apareció la necesidad de rediseñar los procesos para terminar con la dependencia de recursos no renovables, minimizar los desechos, aumentar la eficiencia y volverse más ecológicos.

El hidrógeno es un esencial elemento en las soluciones encaminadas hacia la reducción de las consecuencias negativas del calentamiento global; por lo que Acar y Dincer, (2019, p. 2), alegaron que para un futuro sostenible, el hidrógeno debería ser asequible, fiable, seguro, limpio y eficiente; por ello, instaron a evaluar de manera comparativa el desempeño técnico, ambiental, social, económico y la confiabilidad del hidrógeno usando el modelo 3S (fuente-sistema-servicio), de tal

modo que fuese posible la selección de la fuente más sostenible para la producción de hidrógeno, mejorando su rendimiento junto las tecnologías de uso final como pilas de combustible y la combustión interna de motores, lo que haría del papel principal del combustible fósil en los sistemas energéticos descartable.

Siendo el hidrógeno el único medio de energía con cero emisiones de carbono, el problema de la presente investigación fue: ¿Cuál es el desarrollo que ha tenido el hidrógeno en los últimos años, tomando en cuenta los acontecimientos más relevantes de la última década en el ámbito internacional?; a lo que Saeedmanesh, Mac Kinnon y Brouwer, (2018, p. 4), mostraron que la comunidad científica lo considera seriamente para la transición al transporte carbono neutro, la descarbonización industrial y el suministro de calor en muchos países; así pues, señalaron que este debe ser apoyado por las políticas climáticas de los gobiernos.

El proponer soluciones ambientales, es parte de la misión del ingeniero ambiental, es así que la investigación se justificó en pro del aporte científico y social, ya que en el contenido de la presentada iniciativa, se expusieron las diversas metodologías de obtención del hidrógeno, las cuales no son totalmente neutras con el ambiente, muy por el contrario del hidrógeno extraído a partir de las fuentes naturales mediante la integración de las fuentes energéticas renovables, es por ello que se evidenciaron los métodos de producción convencionales y naturales, factor a tomar en cuenta en proyectos venideros.

Como objetivo general de la investigación, se planteó el determinar la sostenibilidad presente y futura que nos ofrece el hidrógeno, tomando en cuenta los acontecimientos más relevantes de la última década en el ámbito internacional; como objetivos específicos se contempló, en primer lugar, analizar los diferentes métodos de extracción de hidrógeno a partir de fuentes naturales y fósiles de la última década; en segunda instancia, se contempló por la comparación de las eficiencias y los costos de producción de los métodos de extracción de hidrógeno a partir de fuentes naturales (agua/biomasa) más relevantes en la última década, seguidamente, se optó por la evaluación de la producción de hidrógeno a partir de fuentes energéticas renovables en la última década; por último se, fundamentó la sostenibilidad presente y futura que nos ofrece el hidrógeno, tomando en cuenta los acontecimientos más relevantes de la última década en el ámbito internacional.

II. MARCO TEÓRICO

La profunda irresolución sobre el ritmo en el que el mundo está alcanzando los puntos de inflexión climáticos, energéticos y las consecuencias macroeconómicas de la pandemia de Covid-19 dificultan la formulación de expectativas razonables sobre el costo futuro del capital requerido; la Universidad de Nápoles y la Universidad de ULM, Helmholtzstr, proporcionaron una nueva visión intersectorial enfocada en el hidrógeno como suministro de energía limpia, destacando la necesidad de adecuadas políticas, haciendo uso de un preliminar análisis de los sectores económicos para el desarrollo e integración de este, por su parte los amplios programas de recuperación posteriores al Covid-19 concentran la mira en el hidrógeno de fuentes renovables; así mismo consideran que la complejidad que denota el Covid-19 demarca un punto decisivo para superar el dominio del carbono y entrar a la nueva era, (Pasquale, Hiete y Sapio, 2021, p. 5).

En una reciente observación por parte de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, en donde se analizaron desde un punto de vista crítico la relación del hidrógeno y la integridad de las tecnologías para su desarrollo y evolución, se señaló la importancia del mencionado elemento como combustible futuro, aunque actualmente el valor del mismo como combustible limpio no es reconocido por la influencia de los combustibles fósiles; por esta razón se debe preferir por investigaciones integrales y multidisciplinarias, además las políticas gubernamentales deben apoyar al desarrollo de tecnologías sostenibles y renovables como el hidrógeno en este tiempo de la fase emergente señalaron, sin embargo el desastre de los hidrocarburos debería ser la oportunidad máxima más adecuada para mejorar las tecnologías del hidrógeno de manera segura y responsable, ya que actualmente, el mundo entero está inmerso en una crisis sin precedentes que también involucra al sector energético, agregaron, (Ustolin, Paltrinieri y Berto, 2020, p. 26).

Dado la diversidad de fuentes y tecnologías de las cuales se puede extraer el hidrógeno, en Reino Unido, el Instituto de Recursos Sostenibles, señaló que la relevancia de su producción y uso en contraste a las metodologías y fuentes energéticas actuales, se enmarca en su producción a partir de fuentes energéticas neutrales, sin embargo, la implementación de estos sistemas suman desafíos; a

lo cual hicieron referencia a las iniciativas europeas como modelo a adoptar en pro del desarrollo y normalización de un nuevo mercado emergente que garantice no solo su competitividad, sino también su práctica, (Abad y Dodds, 2020, p. 12).

Siendo así, que en el aporte de la Universidad de Bahcesehir, en colaboración con la Universidad de Ontario y la Universidad Técnica de Yildiz, brindaron un alcance más específico, al cotejar a minucia los sistemas de producción y almacenamiento de hidrógeno, bajo criterios del performance social, técnico, ambiental y económico de las a las F.E.R., destacando la empleabilidad las fuentes fotovoltaicas para la extracción del valioso elemento; (Acar y Dincer, 2019, pp. 12 - 13). Bajo una diferente perspectiva, se destacó la eficiencia de los sistemas híbridos eólicos – solares junto a sistemas de electrólisis, debido a que manifiestan notorias facultades y beneficios en temáticas de producción de hidrógeno, sin embargo, la más cercana solución a los sistemas de almacenamiento y transporte de este, se encontraron en los existentes sistemas de gas natural, lo que fundamentado con estudios de mayor alcance, podría suplir a corto plazo los suministros energéticos, en gran parte de los sectores económicos, expone la Universidad de California en Estados Unidos, (Saeedmanesh, Mac Kinnon, y Brouwer, 2018, pp. 6 - 7).

Los proyectos de hidrógeno verde realizados por la Universidad Técnica de Yildiz, evidenciaron que el hidrógeno mantiene ciertos criterios de sostenibilidad, tomando como principal ejemplo la amplia experiencia europea con electricidad renovable asociadas al desarrollo de hidrógeno verde; siendo su primordial desafío producir un esquema que acepte la intervención de pequeños productores de hidrógeno, lo cual origina dependencia proporcional sobre los objetivos políticos, requiriendo así un marco de políticas estable y bien definido para disminuir la inseguridad y problemas para los productores, apoyando a la industria a tomar decisiones de inversión mejor informadas; por último se destacaron las posibilidades y beneficio de la adopción del hidrógeno verde como la nueva oportunidad para el crecimiento económico y el aumento de generar empleo, mientras que el hidrógeno internacional el comercio podría aumentar el crecimiento económico en el futuro, (Baykara, 2018, p. 7).

Al ser considerado como uno de los componentes más abundantes del universo, el hidrógeno (H_2), es un elemento joven a lado de los combustibles fósiles, al pasar de los años el hidrógeno ha logrado popularidad, acelerando así diversas investigaciones y metodologías para su obtención económicamente viable y sostenible; a lo cual investigadores lo catalogan como un elemento sumamente atractivo para la obtención energía limpia, ya que puede obtenerse de fuentes múltiples, como biomasa, agua, incluso puede ser extraído a partir de los combustibles fósiles; tomando en cuenta la variabilidad de las metodologías existentes tales como el reformado, electrolisis, fotobiólisis, gasificación, etc. con menores emisiones de CO_2 en casos particulares, hasta la totalidad de neutralidad, se observa que la generación de energía a partir de este, tampoco arroja emisiones que afecten negativamente el ambiente, (Koda, *et al.*, 2021, p. 6); (Jiménez, 2020, p. 2); (Sánchez, 2019, p. 2); (Fúnez y Reyes, 2019, p. 21); (Vidal y Fontalvo, 2018, p. 6) y (Morales, *et al.*, 2017, p. 2).

Al comparar el manejo del hidrógeno ante el combustible fósil en los departamentos de industria, transporte y electricidad, el hidrógeno en algún momento llegará a ser la solución potencial a las crisis energéticas actuales, especialmente cuando se produce a partir de una fuente limpia y sostenible, la producción económica y ecológica de hidrógeno es uno de los principales desafíos dentro del Carbon²Chem; el hidrógeno puede desempeñar un rol crucial en la seguridad energética y sus expectativas, siendo considerado como un vector energético, por ser un elemento que no se encuentra aislado en la naturaleza, mismo que no se puede obtener en ningún sitio a bajo costo, mucho menos puede constituirse como una fuente de energía primaria, puesto que requiere ser sometido a un proceso; sin embargo, la producción de hidrógeno no siempre es verde, por lo tanto, se tomó la decisión de rediseñar los procesos para terminar con la dependencia de recursos no renovables, minimizar los desechos, aumentar la eficiencia y volverse más ecológicos, (Liu, *et al.*, 2021, p. 2); (Tenhumberg y Bükler, 2020, p. 1); (Xu, *et al.*, 2019, p. 2); (Ayodele y Munda, 2019, p. 4); (Giménez, 2019, p. 13); (Vidal y Fontalvo, 2018, p. 6) y (Dicle y Meltem, 2017, p. 3).

La Agencia Internacional de la Energía, afirmó que este elemento, conlleva una relevante viabilidad y sobresalientes aportes a la problemática de la descarbonización; destacándose su versatilidad, lo que da pie a los departamentos de transporte al inicio de un sistema descarbonizado y sostenible, los avances en tecnología permiten no solo su recolección, sino también su transporte, almacenamiento y la práctica integración en los actuales modelos energéticos; recientes investigaciones muestran que un cierto porcentaje de hidrógeno mezclado con gas natural y / o petróleo líquido, mejoran la eficiencia de la combustión y la vida útil de los motores de combustión, lo que sumado a sus facultades energéticas y la diversidad de fuentes existentes, hacen del hidrógeno, un combustible automotriz, muy deseable, (Zhang, *et al.*, 2021, p. 1); (Armijo y Philiber, 2020, p. 1); (Giménez, 2020, p. 15); (Giménez, 2019, p. 13) y (Fúnez y Reyes, 2019, p. 21).

Un porcentaje de las principales firmas automotrices, como Toyota, mismos que comercializan ya modelos sostenibles que se encuentran hoy a total disposición, cuyo combustible es el hidrógeno, de forma similar se tiene registros de los autobuses en Shangai, mismos que operan a base de pilas de combustible, así mismo se cuenta con el primer tranvía en China, quienes adicionalmente planifican la producción de más de 2000 pilas de combustible mediante Weichai Power; por el contrario, Corea del Sur, implementará un plan de conversión de veintiséis mil de sus unidades urbanas a hidrógeno; por su lado Baja Sajonia – Alemania, cuenta con el modelo Hydrail, siendo este el primer avance ferroviario del mundo en lo que corresponde a la adopción del hidrógeno como combustible así como también este cuenta con el 19% de las estaciones de carga de hidrógeno a nivel mundial, con una inversión de mil millones de euros a su Plan nacional del hidrógeno; Francia prevé obtener a 200 vehículos de carga pesada y cinco mil particulares impulsados por hidrógeno para el 2023, en simultáneo con la producción industrial del 10% de hidrógeno totalmente limpio para el 2022 y el 40% para los cinco años posteriores, (Sánchez, 2019, p. 2); (Saeedmanesh, Mac Kinnon y Brouwer, 2018, p. 7); (Morales, *et al.*, 2017, p. 5) y (Sinigaglia *et al.*, 2017, p. 2).

El hidrógeno tiene grandes beneficios, además de problemas para el uso como vector energético, para lograr superar los inconvenientes las organizaciones y los gobiernos están desarrollando acciones y sobre todo fijándose metas para implementar este tipo de energías alternativas en su oferta energética, (Giménez, 2019, p. 13) y (Sánchez, 2019, p. 8).

La mayor complicación del hidrógeno proyectada, será su almacenamiento, lo que ocasionará problemas para su transporte, por lo que es pertinente seguir trabajando en su investigación, estudio y mejora; otra de las competencias se enfoca en el desarrollo de infraestructuras, lo que implica una coordinación y planificación entre los estratos políticos de las naciones, inversionistas y la industria, una tercera incertidumbre se centra en su acogida y adecuación; por su lado las emisiones de CO₂ de las convencionales metodologías de producción, demarcan esfuerzos bidireccionales, por un lado la extracción proveniente de los recursos fósiles y por el otro la mitigación de las emisiones que conllevan estas prácticas, (Rabiee, Keane y Soroudi, 2020, p. 4) y (Sazali, 2020, p. 7), (Fúnez y Reyes, 2019, p. 19); (Giménez, 2019, p. 13), (Sánchez, 2019, p. 8) y (Morales, *et al.*, 2017, p. 5).

Uno de los planes contingentes por parte del ingenio científico, ante los sucesos climáticos que están transcurriendo y sus consecuencias, son los avances tecnológicos canalizados al desarrollo de las fuentes energéticas renovables; en la última década, la atención de las instituciones de investigación y la industria se ha centrado en el hidrógeno, inspirada por los avances en las F.E.R.; no obstante, estas están ligadas a determinantes criterios para su viabilidad económica, tales como: radiación solar diaria, densidad de energía eólica, índice de claridad, altitud, población, promedio de horas de sol en un año, tasa de desempleo, temperatura promedio del aire, humedad promedio del aire, entre otros; no obstante, la producción de hidrógeno se considera como una opción excepcional para hacer un uso completo de la energía renovable, en este contexto, el hidrógeno también será un factor clave en el desarrollo sostenible, (Rezaei, *et al.*, 2020, p. 1); (Ghazvini, *et al.*, 2019, p. 1); (Sánchez, 2019, p. 1) y (Vidal y Fontalvo, 2018, p. 5).

Las técnicas de almacenamiento energético son vitales, para la incorporación de las F.E.R., debido a su notoria influencia de la climatología sobre la producción

energética de las mismas; Estados Unidos, Dinamarca, España, Japón, Pakistán, y otros países, derivan intereses en el conocimiento de la factibilidad ambiental, social y económica, que presenta el empleo del hidrógeno y sus cualidades de uso para el almacenamiento de las cargas entregadas de las energías renovables; la inclusión del hidrógeno a estas, promete impactos significativos y eficaces a nivel global sobre sus sistemas convencionales de energía, la mitigación de sus emisiones y su neutralidad, sin dejar de lado la accesibilidad; todo ello hoy en día es una realidad y se lleva a cabo en Mainz y Alemania con las plantas de producción de Siemens y Enertrag respectivamente, (Nicita, *et al.*, 2020, p. 2); (Rabiee, Keane y Soroudi, 2020, p. 4); (Giménez, 2019, p. 15); (Xu, *et al.*, 2019, p. 2); (Jiménez, 2020, p. 2); (Fúnez y Reyes, 2019, p. 9); (Gondal, Masood y Khan, 2018, p. 1); (Vidal y Fontalvo, 2018, p. 2) y (Morales, *et al.*, 2017, p. 8).

La mayoría de las iniciativas de hidrógeno verde que subsisten se encuentran en Europa, anticipándose así a un mercado futuro para el hidrógeno verde, las organizaciones de normalización y los responsables políticos nacionales e internacionales están empezando a debatir las normas que harán posible su comercialización. La responsabilidad ambiental junto al desarrollo económico y la sostenibilidad energética, imponen la búsqueda de decisiones y políticas cruciales e importantes en el ámbito internacional, algunos gobiernos se encuentran realizando esfuerzos para incluir este elemento dentro del mix energético de sus países en el futuro próximo, en consecuencia, es conveniente revisar el escenario internacional y nacional para identificar las labores que se están realizando con el propósito de incorporar al hidrógeno en la oferta energética, (Abad y Dodds, 2020, p. 2); (Rezaei, *et al.*, 2020, p. 2); (Milani, Kiani y McNaughton, 2020, p. 2); (Iqbal, *et al.*, 2019, p. 3); (Sánchez, 2019, pp. 1 - 6) y (Morales, *et al.*, 2017, p. 2).

El hidrógeno puede reintegrar la energía acumulada a través de tres procesos principales como reacción nuclear de fusión, combustión u en la oxidación en una pila de combustible, el uso de hidrógeno de manera industrial puede deberse a su exigencia de la materia prima según el proceso o con fin energético, en la actualidad solo dos métodos son plausibles a nivel de la industria, pero los de fusión nuclear continúan siendo investigados viéndose encaminados a la oferta y demanda del hidrógeno, que ya es utilizado como estabilizador reactivo y

catalizador en la industria farmacéutica; no obstante se ha comprobado que la integración del hidrógeno a los sistemas de inyección en la red de gasoductos de gas natural, mejorará los procesos de calefacción industrial sin requerir ninguna modificación de los quemadores y otros equipos en la primera etapa de implementación, lográndose así una gran reducción de carbono en las emisiones, (Jiménez, 2020, pp. 27 - 29).

Las dos limitantes más importantes para la implementación de plantas productoras de hidrógeno, son el transporte y los costes ligados a estos; aunque la metodología de obtención por parte de la electrólisis es una llamativa oportunidad frente a estas barreras, esta abre la posibilidad de la instalación de plantas de esta naturaleza, dando pie a la masiva producción de hidrógeno; sin embargo, esta técnica extractiva es codependiente a las tarifas eléctricas propias de cada nación, así como también las dimensiones de los electrolizadores requeridos, los cuales optimizarán la facultad productiva de hidrógeno obteniendo el máximo rendimiento según los tiempos de operatividad de estos, (Fúnez y Reyes, 2019, p. 19) y (Vidal y Fontalvo, 2018, p. 6).

Por otro lado, según trabajo de investigación publicado por la Job creation by scaling up renewable gas in Europe de Gas for Climate, añade que el hidrógeno producido a partir de las energías renovables, llegaría a posibilitar novecientos sesenta y siete puestos de trabajo, de estos el 35% serían empleos directos a la línea productiva propiciando la potencial oportunidad de exportación internacional, contribuyendo a la reducción considerable de gas natural en las próximas tres décadas, señalaron en el estudio titulado: The optimal role for gas in a net zero emissions energy system, (Kakoulaki, *et al.*, 2021, p. 8) y (Giménez, 2019, p. 14).

En un informe elaborado por Wood Mackenzie, se estimó que el hidrógeno de origen ecológico, podrá competir con el obtenido por combustibles fósiles en 2040; el llamado hidrógeno verde, uno de los combustibles que se prevé claves para reducir las emisiones de carbono, logrará que el requerimiento de los combustibles fósiles caiga un 64% para dicho año, según el análisis de la consultora, siendo determinantes las medidas gubernamentales aplicadas para la potenciación de la inversión en desarrollo de tecnologías, subsidios e investigación, etc., las cuales agilizarán la participación del hidrógeno verde en los

mercados económicos, (Giménez, 2020, p. 7); (Jiménez, 2020, p. 70); y (Rezaei, *et al.*, 2020, p. 4).

III.METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación contemplado fue básico, de enfoque cualitativo; con un diseño de investigación de teoría fundamentada, aplicándose un modelo sistemático, mediante el cual se expusieron investigaciones enmarcadas dentro de una temática concreta, desde la apreciación de una diversidad de partícipes, derivando e integrando conceptos que los autores consultados brindaron, los cuales fueron codificados, lo que permitió dar pie a una categorización en la cual se tamizaron los estudios más relevantes; bajo los criterios y consideraciones presentadas por Hernández, Fernández y Baptista, (2014, pp. 505 - 507) junto a Yalli, (2019, p. 18) y Yépez, *et al.*, (2021, pp. 4 – 7).

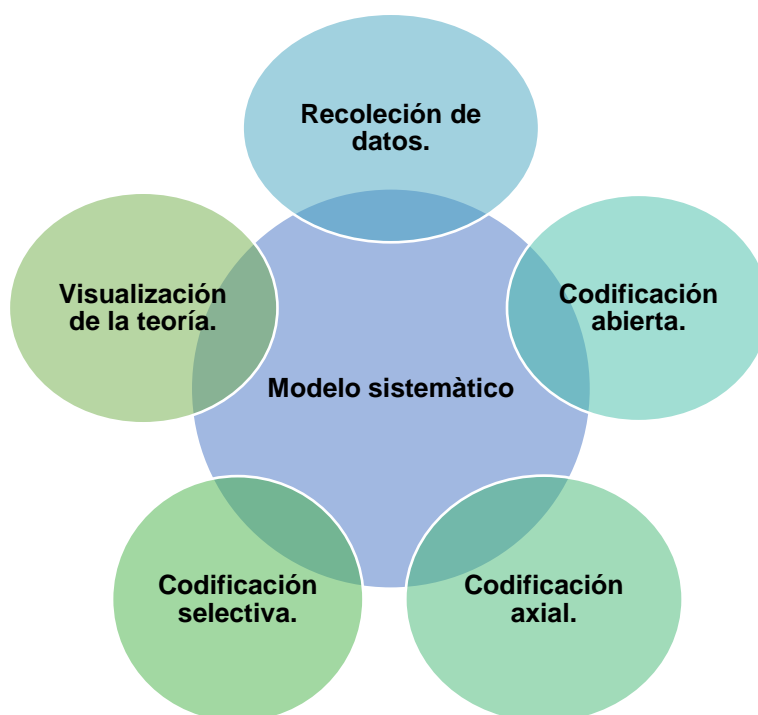


Figura 1. Diseño de teoría fundamentada - Modelo sistemático.

Fuente: Hernández, Fernández y Baptista (2014, pp. 505 - 507).

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización

La matriz de categorización apriorística, se destacó por diseñarse con anterioridad a la recopilación de la data, iniciando con la misma investigación y la toma de referencias relevantes para la investigación, esta contiene el objetivo principal del estudio, así como sus objetivos y problemas específicos, seguidos de su categoría, subcategoría, criterios de inclusión y exclusión (ver **anexo 1**).

3.3. Escenario de estudio

En la presente iniciativa, el escenario de estudio se delimitó a las bases de datos de revistas indexadas y repositorios de donde se recopiló la información necesaria mediante artículos científicos, tesis y documentos en línea considerados de gran aporte al estudio, dando prioridad a los cuartiles de los mismos, los cuales denotan el impacto de las revistas en el ámbito científico.

3.4. Participantes

En la concepción y materialización del presente estudio, los participantes fueron cada uno de los documentos apartados requeridos para dar lugar a la presentada revisión, contándose con 91 manuscritos seleccionados de un total de 169; siendo estos ubicados en las siguientes plataformas Scopus, ScienceDirect, Redalyc, Dialnet y Repositorios.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica aplicada fue el análisis documental de los artículos y documentos de investigación, extraídos de fuentes indexadas y repositorios, tomando en cuenta los criterios de exclusión e inclusión impuestos por los autores (ver **figura 2**), siendo los instrumentos aplicados: la ficha matriz de análisis de contenido, ficha de registro de datos y ficha de recolección de datos, adaptados de Chiguala y Vega (2020, pp. 92 – 95), (**ver anexo 2, 3 y 4**).

3.6. Procedimiento

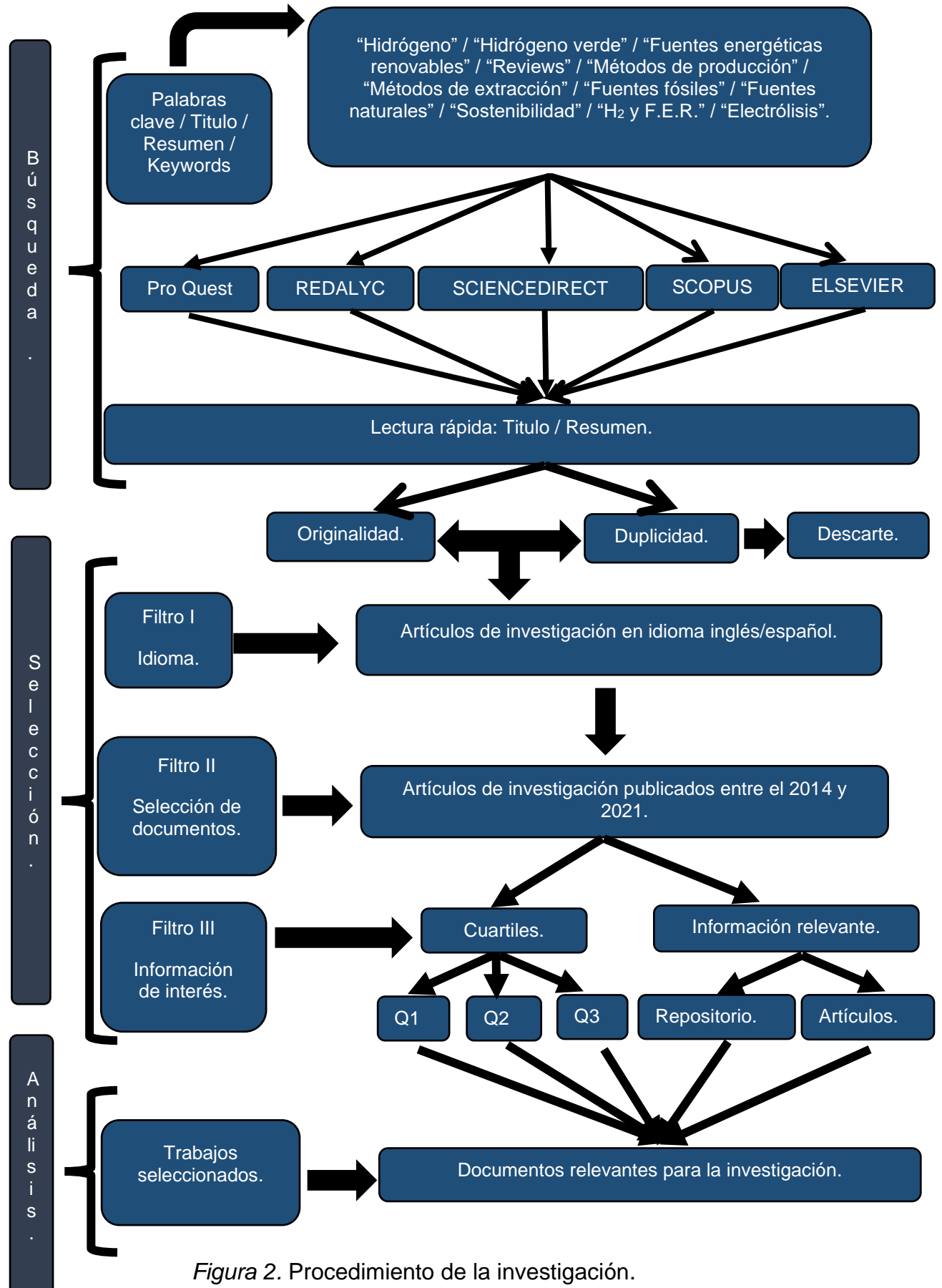


Figura 2. Procedimiento de la investigación.

3.7. Rigor científico

En lo que respecta al rigor científico y sus criterios, el presente estudio empleó información registrada en fuentes confiables, sumado a esto como parámetro de selección se tuvo en cuenta los cuartiles de los artículos seleccionados, con el fin de otorgarle credibilidad, relevancia e impacto; seguido de esto el contraste coherente de las opiniones y estudios de los autores concede a la investigación el criterio de consistencia lógica; de esta manera la presente iniciativa garantiza la veracidad de los datos y su importancia, con la finalidad de dar pie a nuevas investigaciones, alcanzando de esta manera la aplicabilidad de este estudio.

3.8. Método de análisis de la información

En el método de análisis del presente proyecto de investigación, se emplearon fichas de análisis de contenido, a fin de sintetizar la información más relevante de los estudios encontrados, sin embargo, para la correcta categorización de la información hallada; se adicionó una base de datos contenida en una hoja de cálculo, permitiendo filtrar la data recabada, según la naturaleza del contenido de los documentos u los intereses de los autores, tomando en cuenta el tema central de cada documento.

3.9. Aspectos éticos

En el presente estudio, uno de los parámetros más considerados fue la confiabilidad de la información adquirida, extrayéndose así de bases de datos de renombre, la cual al final del estudio, todo el contenido plasmado fue examinada por un filtro anti – plagio, con el objetivo de no perjudicar la autoría de los estudios precedentes, citando cada uno de los autores integrados a lo largo del documento, todo ello acorde a los lineamientos de la Universidad César Vallejo.

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultante de la presente revisión sistemática realizada a la literatura, durante el desarrollo de la investigación se analizaron 91 documentos de interés, extraídos de un total de 169 pertenecientes a las bases de datos anteriormente descritas, a continuación, se adaptó el diagrama de flujo de una revisión sistemática de la guía publicada por Yépez, *et al.*, (2021).

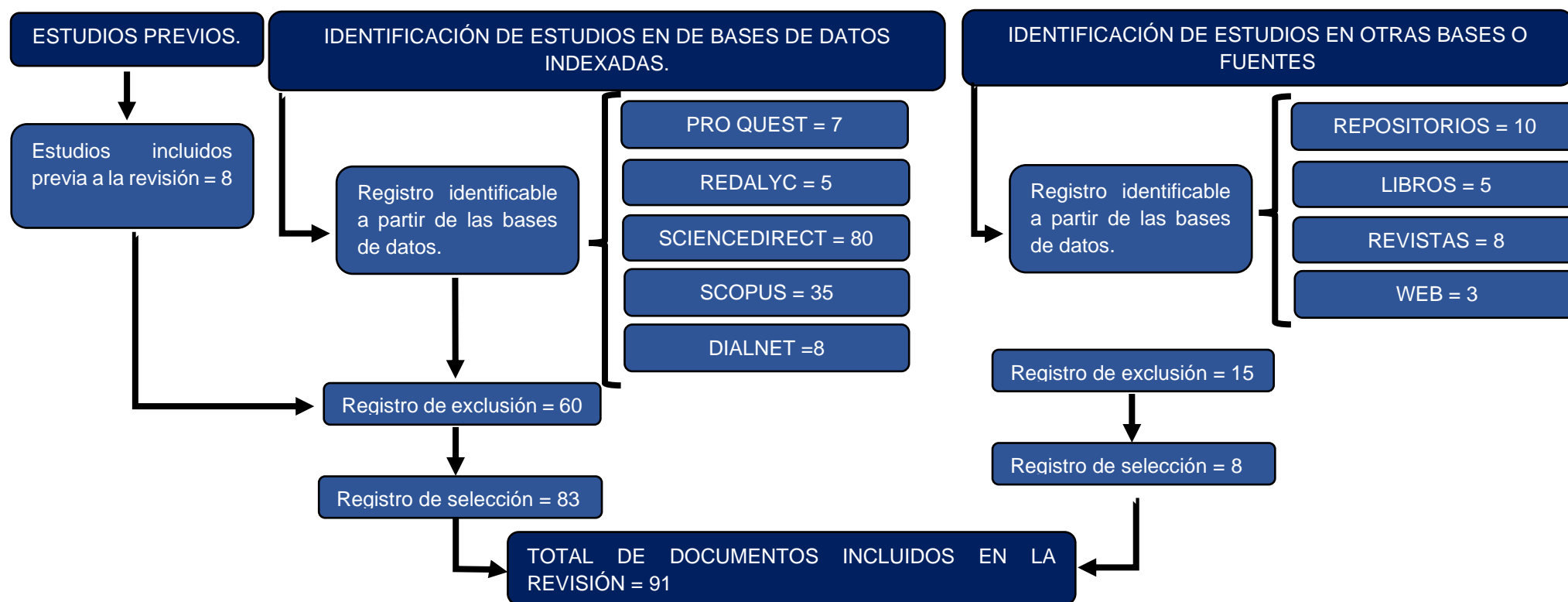


Figura 3. Diagrama de flujo adaptado de Yépez, *et al.*, (2021).

De los 91 manuscritos previamente tamizados para su análisis, en la **figura 4**, se graficó la cantidad de documentos seleccionados en función a la base de datos consultada, en donde se observó que la más sobresaliente es ScienceDirect con 59 artículos; mientras que en la **figura 5**, se plasmó la totalidad de documentos según el año de su publicación, visualizándose que el presente año manifestó un alto interés en cuanto al tema tratado con un total de 29 documentos de los 91 considerados para el estudio; por su parte en la **figura 6**, se mostró la proporción de documentos según el idioma original de publicación, siendo el 85% de los 91 en idioma inglés; por último, en la **figura 7**, se evidenció la cantidad de documentos según el cuartil de la revista consultada, percibiendo así que el 68% de los 91 documentos elegidos pertenecieron al cuartil 1 (Q1).

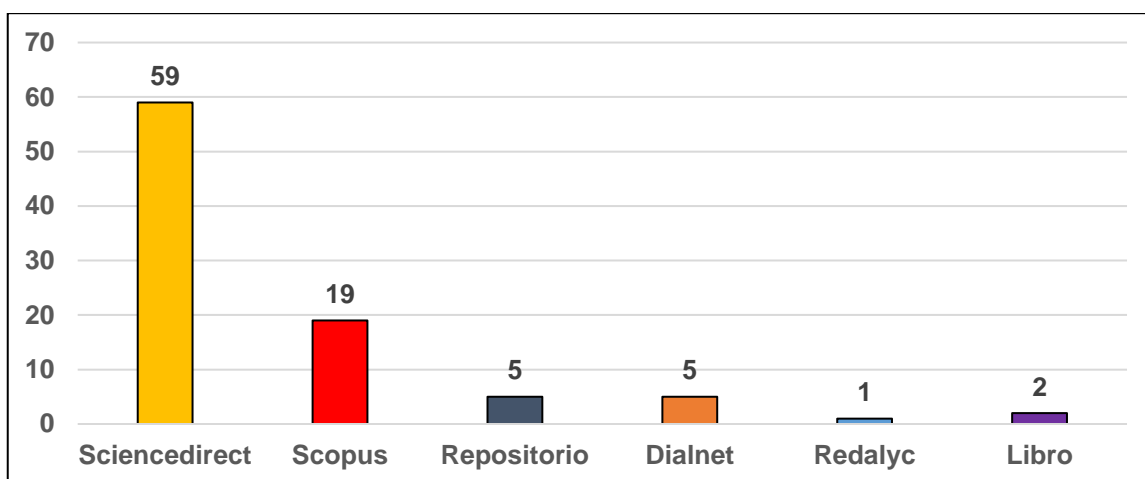


Figura 4. Cantidad de documentos según la base de datos consultada.

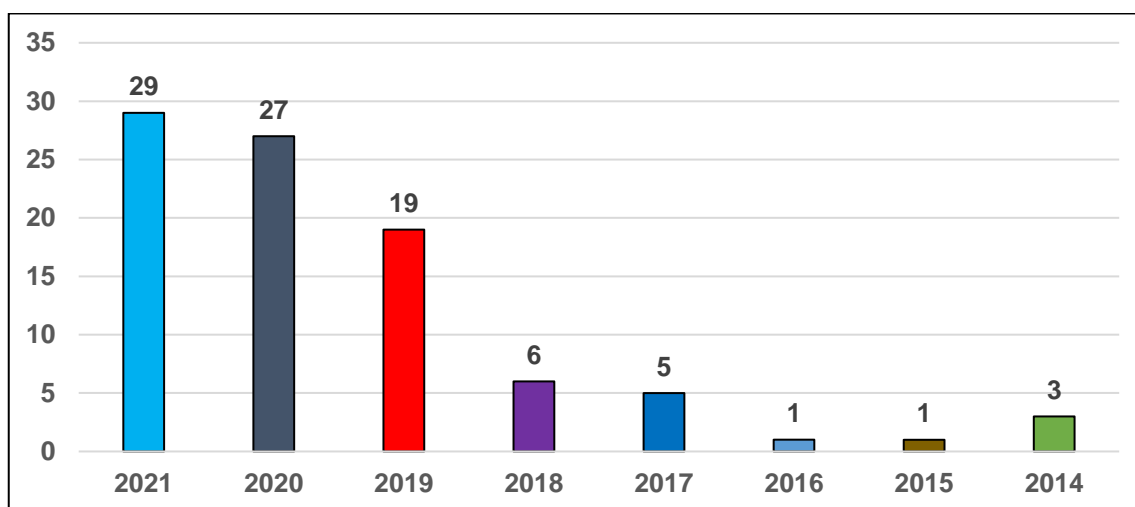


Figura 5. Cantidad de documentos según el año de publicación.

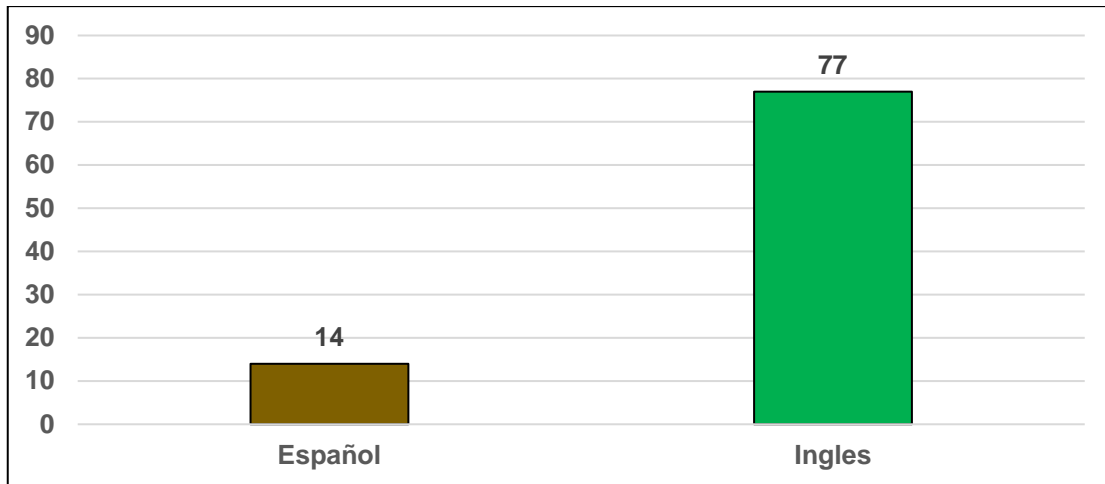


Figura 6. Cantidad de documentos según el idioma de publicación.

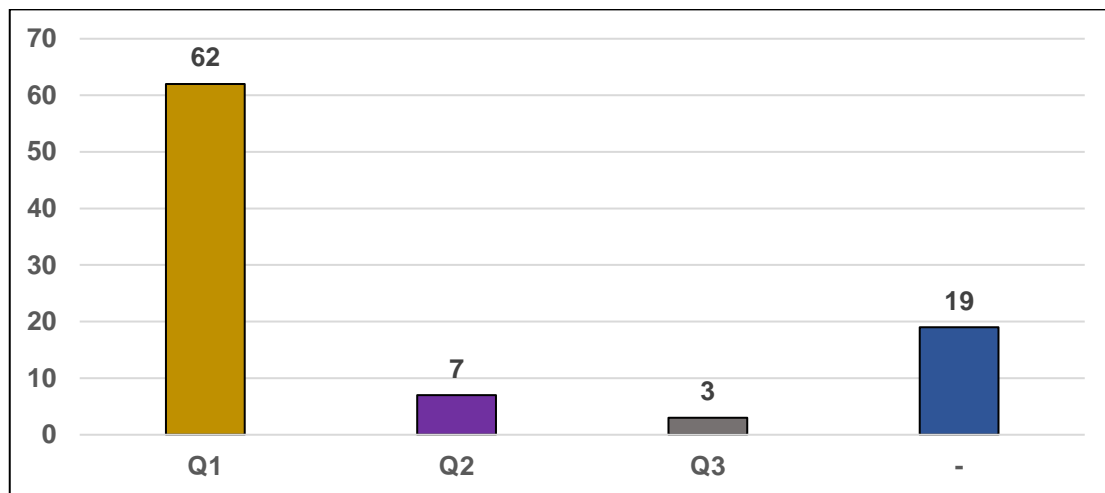


Figura 7. Cantidad de documentos según el cuartil de la revista consultada.

A continuación, en base a la literatura recopilada, en la **figura 3**, se optó por expresar de forma general a modo de síntesis grafica los diferentes métodos de obtención de H_2 y las dos fuentes de las cuales se extrae el H_2 , en cuanto a las fuentes naturales, según las fuentes consultadas, se consideraron a la biomasa y el agua; junto a ello la visualiza la participación de las fuentes energéticas renovables en dichos métodos; en lo que respecta a la **tabla 2**, en esta se resumieron las eficiencias, costos de producción, requerimientos y observaciones de los diferentes métodos de producción de H_2 , mismos que posteriormente fueron analizados y contrastados, en base a sus costos y eficiencias en su producción de H_2 .

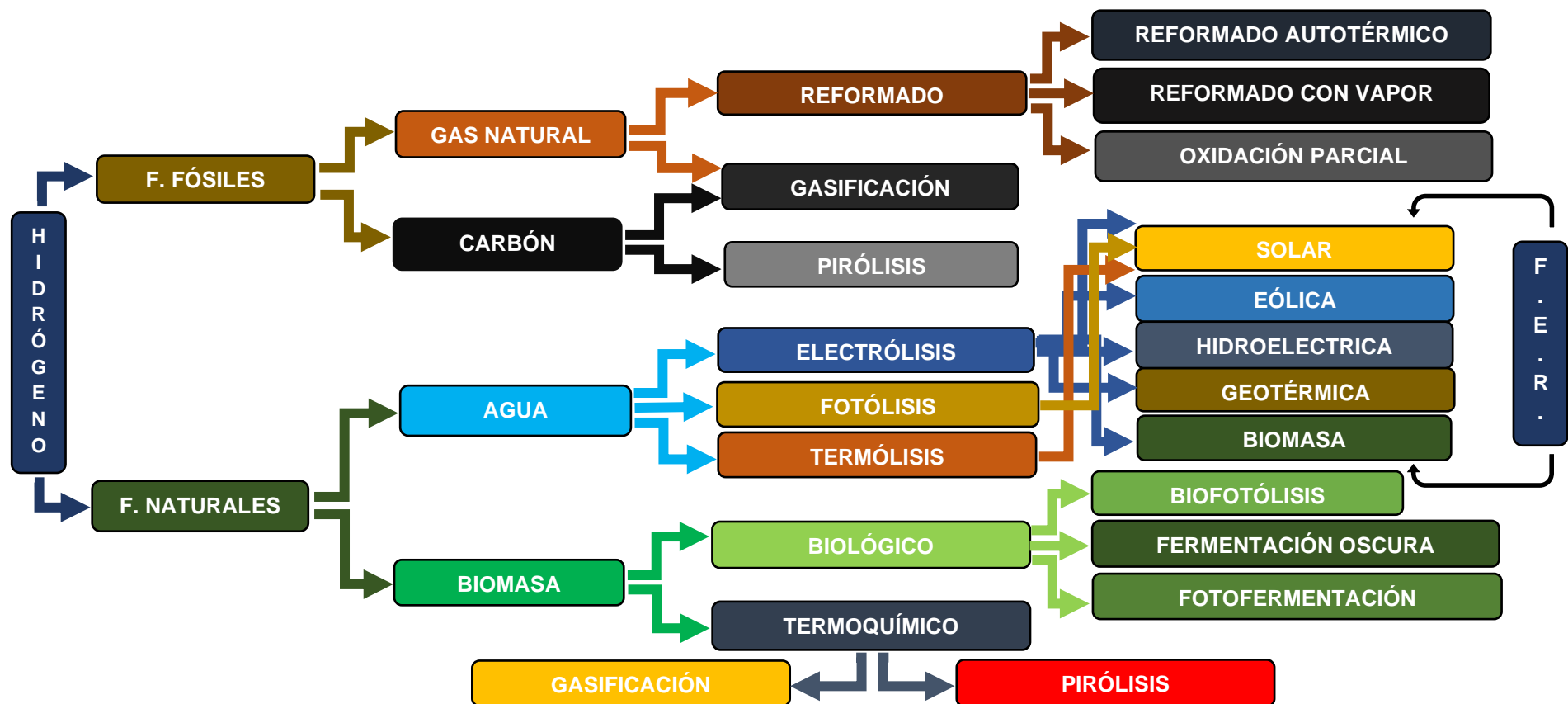


Figura 8. Resumen gráfico de los métodos de producción de hidrógeno (H_2).

Fuente: Cloete, Ruhnau y Hirth, (2021); Herencic, *et al.*, (2021); Kakoulaki (2021); Kannah, *et al.*, (2021); Koda, *et al.*, (2021); Muhammad, Mohd y Nasrudin, (2021); Pasquale, Hiete, y Sapio, (2021); Jiménez, (2020); Tenhumberg y Bükér (2020); Ustolin, Paltrinieri y Berto, (2020); Acar y Dincer, (2019); Fúnez y Reyes, (2019); Sánchez, (2019); Xu, *et al.*, (2019); Gondal, Masood y Khan, (2018); Saeedmanesh, Mac Kinnon y Brouwer, (2018); Suman, (2018); Vidal y Fontalvo, (2018); Nikolaidis y Poullikkas, (2017); Morales, *et al.*, (2017); Sgobbi, *et al.*, (2016) y Dutta, (2014).

Tabla 1. Investigaciones consultadas para el desarrollo del objetivo 1 y 2.

CÓDIGO	AUTOR(ES)/ AÑO DE PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
DOC – 013	Cloete, Ruhnau y Hirth, (2021)
DOC – 032	Herencic, <i>et al.</i> , (2021)
DOC – 004	Muhammad, Mohd y Rahim, (2021)
DOC – 043	Kamil, <i>et al.</i> , (2021)
DOC – 044	Kannah, (2021)
DOC – 042	Kakoulaki, (2021)
DOC – 045	Koda, <i>et al.</i> , (2021)
DOC – 058	Pasquale, Hiete, y Sapio, (2021)
DOC – 079	Ujwal, <i>et al.</i> , (2021)
DOC – 030	Grimm, Jong y Kramer, (2020)
DOC – 038	Jade, <i>et al.</i> , (2020)
DOC – 040	Jiménez, (2020)
DOC – 077	Tenhumberg y Bükér, (2020)
DOC – 022	Fúnez y Reyes, (2019)
DOC – 059	Puranjan, <i>et al.</i> , (2019)
DOC – 069	Sánchez, (2019)
DOC – 082	Wang, <i>et al.</i> , (2019)
DOC – 086	Xu, <i>et al.</i> , (2019)
DOC – 029	Gondal, Masood y Khan, (2018)
DOC – 068	Saeedmanesh, Mac Kinnon y Brouwer, (2018)
DOC – 076	Suman, (2018)
DOC – 081	Vidal y Fontalvo, (2018)

DOC – 053	Morales, <i>et al.</i> , (2017)
DOC – 056	Nikolaidis y Poulikkas, (2017)
DOC – 072	Sgobbi, <i>et al.</i> , (2016)
DOC – 020	Dutta, (2014)

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Resumen de los diferentes métodos de producción de hidrógeno (H₂).

FUENTE DE ORIGEN	METODO DE PRODUCCIÓN	EFICIENCIA GLOBAL MJ/kg de H ₂ (%)	COSTO \$/kg	FUENTE ENERGÉTICA	MATERIA PRIMA	CCS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
FÓSILES	Reformado con vapor	74–85	2.27	Combustibles fósiles estándar	Gas natural	SI	Infraestructura y tecnologías ampliamente desarrolladas.	Producción inestable de H ₂ y emisión de CO, CO ₂ .
	Oxidación parcial	60–75	1.48			SI		Cogeneración de coque de petróleo y aceites pesados.
	Reformado térmico automático	60–75	1.48			SI		Generación de CO ₂ como subproducto.
	Gasificación	60–75	1.48		Gas natural y carbón	SI		Elevados costos en cuanto a su operación, esto ligada a las temperaturas en las que se ejecuta.
	Pirólisis	35 – 50	2.05	Vapor generado internamente	Carbón	SI		Generación de CO ₂ como subproducto.

NATURALES	Fotólisis biológica	10–11	2.13	Solar	Algas + agua	NO	Consumo de CO ₂ durante la producción de H ₂ ; producción de O ₂ como subproducto.	Rendimientos limitados, sujetos al requerimiento de luz solar y la necesidad de grandes reactores, junto a sus costos de operación y materiales.
	Fermentación oscura	60–80	2.57	-	Residuos alimentario s o agrícolas.	NO	No requiere luz solar, es considerada CO ₂ -neutral, implica el tratamiento y aprovechamiento de residuos.	Rendimiento bajo en cuanto a su producción de H ₂ ; eficiencia ligada a la necesidad a reactores de grandes capacidades.
	Fotofermentación	0.1	2.83	Solar	Biomasa leñosa	NO	Permite el tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales, considerada CO ₂ neutral.	Eficiencia sumamente baja, costos de producción no competitivos; necesidad de luz solar, requerimiento de reactores de grandes capacidades.

	Gasificación	30–40	1.77– 2.05	Vapor generado internamente		NO	Materia prima económica y abundante; considerada CO ₂ neutro.	Producción fluctuante de H ₂ ; requerimientos de amplios volúmenes en cuanto a materia prima.
	Pirólisis	35–50	1.59– 1.70	Vapor generado internamente		NO	Materia prima abundante y económica; considerada CO ₂ neutral.	Intermitente producción de H ₂ ; requerimientos de amplios volúmenes de materia prima.
	Termólisis	20–45	7.98– 8.40	Solar /geotérmica	Agua	NO	Limpio y sostenible, subproducto del O ₂ , abundante materia prima.	Elevados costos de producción y de inversión inicial; se registran problemas corrosivos en sus elementos.
	Fotólisis	0.06	8–10	Solar		NO	Obtención de O ₂ como subproducto, materia prima abundante.	Eficiencia no competitiva, carente efectividad de los materiales fotocatalíticos; sujeto a la disponibilidad de luz solar.

	Electrólisis	60–80	10.30	Solar, eólica, hidráulica, geotérmica		NO	Nulas emisiones, infraestructura y tecnología establecida; O ₂ como subproducto.	Inconvenientes en su almacenamiento y transporte.
<p>Eficiencia estimada como la relación entre el VHL del hidrógeno ($120,07 \text{ MJ/kg}$) y el consumo de energía; cantidad de energía para requerida para producir 1 kg de H₂, mencionan Ustolin, Paltrinieri y Berto, (p. 7, 2020), junto a Nikolaidis y Poullikkas, (pp. 1 - 15, 2017).</p>								

Fuente: Cloete, Ruhnau y Hirth, (2021); Herencic, *et al.*, (2021); Koda, *et al.*, (2021); Muhammad, Mohd y Nasrudin, (2021); Kannah, *et al.*, (2021); Jiménez, (2020); Tenhumberg y Bükér, (2020); Ustolin, Paltrinieri y Berto, (2020); Acar y Dincer, (2019); Fúnez y Reyes, (2019); Xu, *et al.*, (2019); Gondal, Masood y Khan, (2018); Suman, (2018); Nikolaidis y Poullikkas, (2017); Sgobbi, *et al.*, (2016) y Dutta, (2014).

Haciendo referencia a lo plasmado en la **tabla 2** en base al análisis al cual fueron sometidos los escritos publicados por los autores contenidos en la **tabla 1**, se encontró lo siguiente:

La denominación del método de producción de H₂ más eficiente a partir de fuentes fósiles, recae en el reformado con vapor, cuya materia prima esencial es el gas natural, mismo que registró una eficiencia global entre el 74% - 85% y un costo de 2.27 \$/kg de H₂ producido, el cual se da paso en ausencia de O₂ y bajas temperaturas, en comparación a sus competidores, como la oxidación parcial; así mismo se le atribuyó un factor de emisión de 8.9 kg de CO₂/kg de H₂ de igual manera se halló que los reactores de membrana de paladio, ofrecen mejoras respecto a su temperatura de funcionamiento, debido a que estos operan a unos 450 °C – 550 °C, ello sin afectar la calidad del producto deseado, otorgando gran factibilidad a grandes cantidades de H₂ producidos.

Como método de producción de H₂, en lo que refiere a la oxidación parcial, en esta se encontró que se da paso en 2 tipos de procesos, no obstante, el método de oxidación parcial expresó una eficiencia global del 60% –75% y un costo de 1.48 \$/kg de H₂ obtenido; en cuanto al proceso catalítico, se detectó que este aplica con materias como el metano o nafta, entre otras, encontrándose registros de temperaturas de funcionamiento de 950 °C, a diferencia al no catalítico que tiene lugar a 1 150 °C – 1 315 °C, mismo que se aplica a hidrocarburos que van desde el metano, petróleo y carbón; tomando en cuenta lo mencionado, se observó que este método compite directamente con los métodos de la gasificación del carbón y el reformado autotérmico; quienes mantienen eficiencias y costos productivos similares, los cuales en base a los registros encontrados, se halló que las temperaturas de funcionamiento son de 800 °C a 1 000 °C en la gasificación del carbón y 700 °C en el reformado autotérmico respectivamente, siendo el factor de emisión de este primero, aún mayor que el segundo, con 29.33 kg de CO₂/kg de H₂ generado.

Mientras tanto en la pirólisis de hidrocarburos, se detectó que esta oferta la ventaja de un procedimiento sin emisiones, tenido al carbono como subproducto único, mismo precisa posteriores tratamientos; sin embargo, gran parte de los autores, catalogan a este como el menos eficiente, ya que en los registros de su eficiencia global, se encontró que esta está comprendida entre el 35% – 50% a un costo de 2.05 \$/kg de H₂ trabajado, rivalizando de esta forma en cuanto costos con el reformado con vapor, así mismo se halló que este método tiene lugar a una temperatura de hasta 980 °C, mas no se detectaron registros las estepas de eliminación de CO₂ junto a la de desplazamiento de vapor de agua, de igual manera, la fase que comprende el almacenamiento y la captura de carbono, se reemplazan por la gestión del carbono, lo cual según los escritos consultados hace de este método el más atractivo ante el reformado de gas natural, al obtener tanto hidrógeno como carbono de forma simultánea, debido a que esta necesita estar acoplada al secuestro de sus emisiones de CO₂, mencionaron algunos autores.

Los métodos presentados en esta primera parte, comúnmente resultaron ser más viables, en términos costos y operación, en el sentido que constituyen métodos estudiados y plenamente desarrollados para la generación de H₂ a partir de fuentes fósiles aportaron los autores, sumado a ello proporcionan una conversión de energía más eficiente, lo cual los hace más atractivos, ya que se efectúan con estructuras ya probadas, haciéndolos viables, mas no ambientales; sin embargo su observable falencia que se encontró tras el análisis de las investigaciones radicó en la en el precio y disponibilidad directa de los combustibles fósiles ya que estos son empleados como combustibles y materia prima para el proceso, esto sin considerar sus emisiones atmosféricas derivadas de estos. esto sin considerar el esfuerzo bilateral que representan, por un lado, se trabaja en las reducciones o captura de sus emisiones y por el otro en la obtención del H₂ de suma pureza; problemática la cual propició el sentido de innovación en investigadores, dirigiéndolos a escudriñar en métodos comparables con la actual perspectiva ambiental de la sociedad, observando que las tecnologías emergentes, son orientadas a la integración de las fuentes y energías renovables.

Ante ello, en base a los textos consultados, se halló, que la biomasa se perfila como una evidente opción alternativa de gran disponibilidad como fuente de extracción de H₂, estos recursos abarcan residuos de madera, basura urbana, desechos agrícolas, efluentes y residuos domésticos; se encontró que la pirólisis y la gasificación de biomasa, son de los métodos termoquímicos mas relevantes para su integración como fuente de producción de H₂, mismos que son capaces de ofrecer una eficiencia global registrada entre el 35% - 50%, a un coste de 1.77 - 2.05 \$/kg de H₂ y 1.59 – 1.70 \$/kg de H₂ respectivamente, cabe señalar que sus entre sus desventajas halladas de ambos métodos, tenemos la intermitencia en la producción de H₂, misma que está sujeta a la materia prima empleada y su calidad junto a ello se tiene la formación de alquitrán durante el proceso, el cual requiere de labores adicionales, mencionaron algunos autores; por su parte, en los métodos fermentativos, se encontró que estos conllevan la facilidad de tener emisiones de CO₂ neutras y hacen posible reciclaje de los residuos empleados; de los cuales se observó que la fermentación oscura, es considerada por la mayoría de los autores como la más eficiente en términos de conversión energética y costos respecto a su competidora, la fotofermentación, ya que la primera registró valores entre el 60% - 80% de eficiencia global, a un costo de 2.57 \$/kg de H₂ y esta última, mantiene una eficiencia global del 0.1% a un costo de 2.83 \$/kg de H₂; mientras que en la biofotólisis, autores señalaron que esta posee una cuantiosa ventaja en temas de descarbonización, ya que esta consume el CO₂ durante la producción de H₂ a partir de su fotosíntesis, por otra parte, entre sus desventajas más importantes se detectó que su baja eficiencia del 10% – 11% junto a su requerimiento de reactores y luz solar, hacen que en costos de producción este rivalice con el reformado de vapor ya que su coste es de 2.13 \$/kg de H₂.

En cuanto a la fermentación oscura, se evidenció que esta presenta parámetros de costos y eficiencia similares a los vistos en el reformado de vapor; autores mencionan que la generación a gran escala a partir de la biomasa, solo llegara a ser real mediante métodos termoquímicos como la gasificación y pirolisis, a su vez en cuanto a los métodos biológicos, gran parte de los autores recomendaron sea

ejecutado solo para producciones puntuales de H_2 , en base al centralizado tratamiento de residuos, debido a sus eficiencias y costes de inversión.

En lo que respecta a los métodos de separación división del agua, si de sostenibilidad se habla, estos fueron fácilmente reconocidos como sostenibles y ambientalmente viables por la mayoría de los autores, esto último ligado al la obtención de O_2 como subproducto directo único; sin embargo, se encontró su aceptación o categorización como método esta directamente influenciado por la naturaleza de la fuente de la cual se suministra la energía a utilizar en dichos métodos, de ser esto considerado, se estaría contribuyendo a la integración de las F.E.R., así pues se logró evidenciar que uno de los menos eficientes es la fotolisis, con solo el 0.06% de eficiencia global, mismo que registró un costo 8 - 10 $\$/kg$ de H_2 , haciendo que en la actualidad este método sea el menos rentable y eficiente, esto tomando en cuenta que según los textos procesados hallando que se requieren aproximadamente 40kWh de electricidad para generar 1 kg de H_2 ; por su lado a diferencia de la fotolisis, la electrolisis originada por las F.E.R. como solar, eólica, hidráulica, biomas u geotermia, registró una eficiencia global de entre 60 % – 80%, a un coste de 10 a 20 $\$/kg$ de H_2 , así pues gran parte autores señalaron que la electrólisis alcalina se percibe actualmente como la tecnología más rentable y sostenible para la producción de H_2 a bajas emisiones de carbono, cuyo valor agregado se conceptualiza en la adición de las fuentes energéticas renovables, en suma, se descubrió que recientemente se ejecutó una evaluación comparativa entre un sistema fotovoltaico conectado a un electrolizador tradicional y uno fotoelectroquímico, este primero, evidencio una eficiencia del 10.9% en la conversión de energía a H_2 a un costo total de 6.22 $\$/kg$ de H_2 ; el segundo sistema, manifestó una similar eficiencia, siendo esta alrededor del 10%, más por el contrario, el costo de producción se notó notoriamente elevado teniendo un costo de 8.43 $\$/kg$ de H_2 ; esto influenciado por la calidad de los materiales impuestos en el sistema, concretamente las células fotoelectroquímicas, mismas que resultan innovadoras pero no recomendables en materia de inversión según los autores implicados en dicha investigación.

De lo revelado por los autores contenidos en la **tabla 1**, se dedució a partir de la **tabla 2**, que la influencia directa en los costos de producción en cuanto a métodos cuyas materias primas no son renovables, vienen por parte de los impuestos al carbono; por lo tanto los métodos cuyas fuentes son renovables resultaron ser ambientalmente aceptables, sin embargo autores mencionaron que estos aún requieren el desarrollo de equipos de mayor eficiencia y menor costo, lo que junto a la participación de fuentes energéticas renovables harán que estos lleguen a ser rentables y competitivos a los actuales; particularmente se detectó que la obtención de H₂, propició un cambio de trayectoria tecnológica, aperturando una futura inserción en el sector eléctrico por parte de las F.E.R., incrementando la veracidad y confiabilidad de un futuro 100% renovable.

A continuación en la **figura 4**, se consideró mostrar los resultados obtenidos en cuanto las vías de producción de H₂ más destacadas utilizando F.E.R., tales como la energía solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica, acompañadas de la mayor opción tecnológica para su aprovechamiento, la cual resultó ser la electrolisis del agua, misma que se realiza mediante una variedad de electrolizadores que fueron descritos posteriormente a partir de la **tabla 4**, en donde se describió las principales especificaciones y características de estos; todo esto en base a los textos analizados pertenecientes a los autores contenidos en la **tabla 3**, encontrándose lo siguiente:

Tabla 3. Investigaciones consultadas para el desarrollo del objetivo 3.

CÓDIGO	AUTOR/ AÑO DE PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
DOC - 005	Almutairi, <i>et al.</i> , (2021)
DOC - 011	Chandrasekar, Flynn y Syron, (2021)
DOC - 015	Delpierre, <i>et al.</i> , (2021)
DOC - 017	Dinh, <i>et al.</i> , (2021)
DOC - 019	Durovic, Hnat y Bouzek, (2021)
DOC - 023	Gallardo, <i>et al.</i> , (2021)

DOC - 031	Guo y Sepanta, (2021)
DOC - 034	Herwartz, Pagenkof y Streuling, (2021)
DOC - 041	Jovan, Dolanc y Pregelj, (2021)
DOC - 043	Kamil, <i>et al.</i> , (2021)
DOC - 048	Mahmoud, <i>et al.</i> , (2021)
DOC - 051	Mikovits, <i>et al.</i> , (2021)
DOC - 060	Rabiee, Keane y Soroudi, (2021)
DOC - 061	Rabiee, Keane y Soroudi, (2021)
DOC - 073	Shihong, <i>et al.</i> , (2021)
DOC - 078	Torbjorn, Hajizadeh y Sartori, (2021)
DOC - 083	Wang, Zhang y Rezazadeh, (2021)
DOC - 084	Weimann, <i>et al.</i> , (2021)
DOC - 006	Allahvirdizadeh, (2020)
DOC - 049	McDonagh, (2020)
DOC - 035	Huang y Liu, (2020)
DOC - 037	Ishaq, Dincer, (2020)
DOC - 047	Liu, <i>et al.</i> , (2020)
DOC - 057	Pareek, <i>et al.</i> , (2020)
DOC - 075	Sui, <i>et al.</i> , (2020)
DOC - 077	Tenhumberg y B�ker, (2020)
DOC - 063	Razi y Dincer, (2020)
DOC - 002	Abu y Dincer, (2019)
DOC - 003	Acar y Dincer, (2019)
DOC - 021	Emam y Ozcan, (2019)

DOC - 022	Fúnez y Reyes, (2019)
DOC - 029	Gondal, Masood y Khan, (2018)
DOC - 070	Sapountzi, <i>et al.</i> , (2017)
DOC - 018	Douak y Settou, (2015)
DOC - 062	Rahmouni, <i>et al.</i> , (2014)

Fuente: elaboración propia.

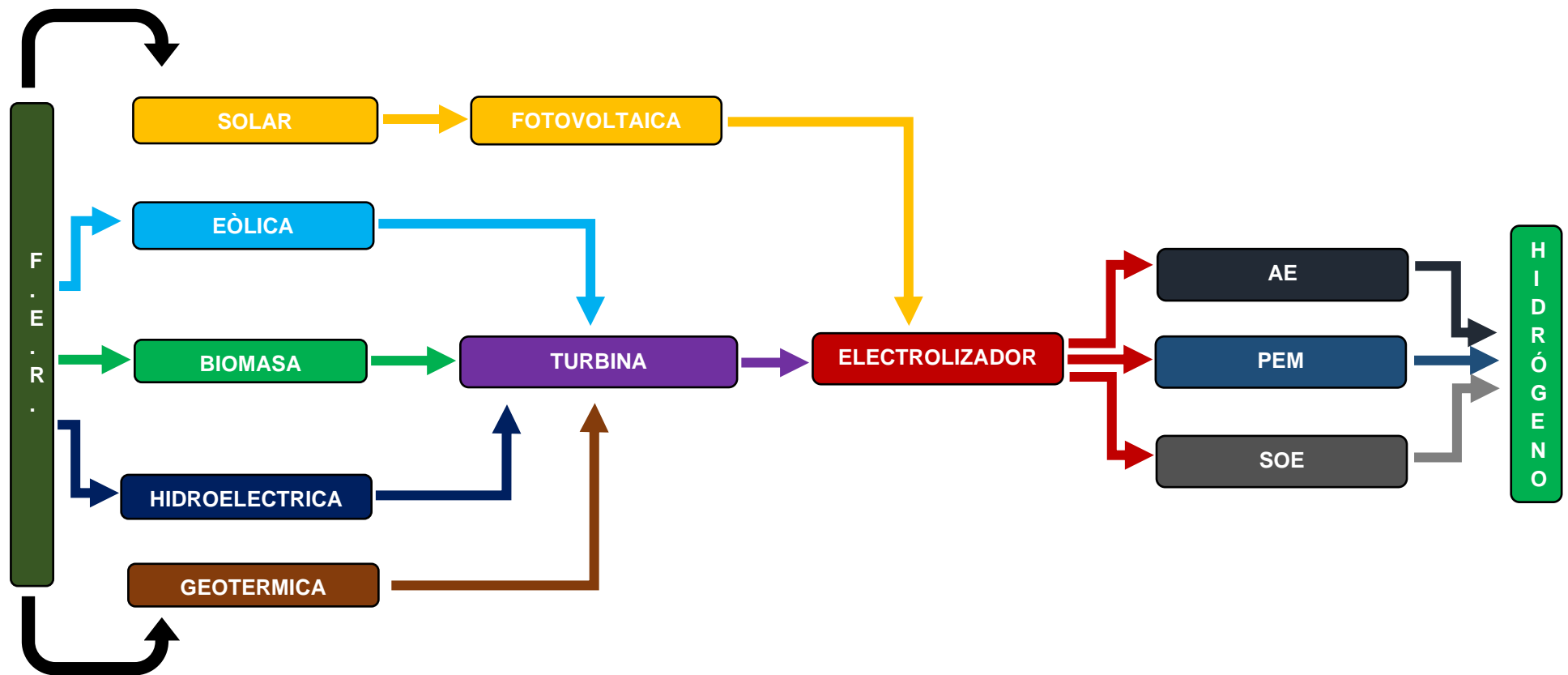


Figura 9. Producción de hidrógeno utilizando F.E.R. y electrolizadores.

Fuente: Durovic, Hnat y Bouzek, (2021); Kamil, *et al.*, (2021); Torbjorn, Hajizadeh y Sartori, (2021); Rabiee, Keane y Soroudi, (2021); Rabiee, Keane y Soroudi, (2021); Zhang, *et al.*, (2021); Zhang, Zheng y Yang, (2021); Abad, *et al.*, (2020); Tenhumberg y Bùker, (2020); Fúnez y Reyes, (2019); Sàncchez, (2019); Gondal, Masood y Khan, (2018); Morales, *et al.*, (2017) y Nikolaidis y Poullikkas, (2017)

Tabla 4. Características y especificaciones de las tecnologías de electrólisis.

ELECTROLIZADORES	PEM	ALCALINOS	SOE
PARÁMETROS			
Cátodo	Pt; Pt/C	Aleaciones de Ni	Nicermets
Reacción del cátodo	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	$H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + O^{2-}$
Ánodo	Pt; Ir; Ru	Ni	LSMYSZ; CaTiO ₃
Reacción del ánodo	$2H_2O \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$	$2OH^- \rightarrow H_2O + 0.5O_2 + 2e^-$	$O^{2-} \rightarrow 0.5O_2 + 2e^-$
Electrólito	Polímero (sólido)	NaOH/KOH (líquido)	Cerámica (sólido)
Portador de carga	H ⁺	OH ⁻	O ²⁻
Vida útil del sistema (años)	10 - 20	20 - 30	-
Vida útil de la pila (hrs)	< 40 000	< 90 000	< 40 000

Madurez	Comercial	Comercial	Laboratorio
Eficiencia (%)	67 - 84	62 - 82	90
Densidad de la corriente	1 – 2 A/cm ²	0.2 – 0.5 mA/cm ²	0.3 – 1 mA/cm ²
Tensión de la célula	1.8 - 2.2 V	1.8 - 2.4 V	0.95 - 1.3 V
Presión/temperatura de funcionamiento	15 - 30 bar / 50 °C a 90 °C	2 - 10 bar / 60°C a 90 °C (hasta 200°C)	<30 bar / 500 °C a 1000 °C
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> Membrana de costos elevados Materiales nobles. Funcionamiento a ambiente ácido. Durabilidad baja. 	<ul style="list-style-type: none"> Corriente de baja densidad. Corrosivo electrolito. Lento funcionamiento dinámico. Permeación de gas. 	<ul style="list-style-type: none"> Voluminoso diseño Inestabilidad en electrodos. Frágil cerámica. Sellado dificultoso.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Corriente de alta densidad. Diseño simple. Compacto sistema. Dinámico funcionamiento. Rápida respuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> Ampliamente conocido. Estabilidad a largo plazo. Amplio tamaño de pila. Costos de capital bajos. Materiales no nobles. 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia energética notoria. Costos de capital bajos. Materiales no nobles. Funcionamiento reversible. (pila de combustible).
<p>YSZ = Circonio estabilizado con itria.</p> <p>LSM = Manganato de lantano y estroncio.</p>			

Fuente:(Chandrasekar, Flynn y Syron, 2021); (Delpierre, *et al.*, 2021); (Durovic, Hnat y Bouzek, 2021); (Rabiee, Keane y Soroudi, 2021); (Shihong, *et al.*, 2021); (Emam y Ozcan, 2019); (Fúnez y Reyes, 2019) y (Sapountzi, *et al.*, 2017).

En relación a la temperatura en la que operan, se halló que la electrolisis se puede ejecutar bajas temperaturas, mediante electrolizadores de membrana de intercambio protónico (PEM) y alcalinos (AE) y en altas con los electrolizadores de óxido sólido SOE, que dichas tecnologías, han venido evolucionado en esta última década, su participación incrementara la cuota productiva del H₂ verde en una futura descarbonizada cadena energética a nivel mundial, señalaron parte de los autores consultados; los estudios sobre estas revelaron que en años posteriores serán plenamente competitivas, los autores instaron a entender a mayor profundidad su rendimiento y la evaluación de los parámetros que inciden en la obtención de H₂ de la gama de electrolizadores, lo que ayudara en una óptima inversión al punto de lograr su máximo aprovechamiento.

Utilizando un electrolito ácido, no líquido, se detectó que la electrolisis PEM, obtiene un H₂ con una pureza y volumen del 99.99%, la membrana de estos, facilita un compacto diseño de respuesta activa y dinámica a la variación de carga perfecto para la integración de las F.E.R. y su natural fluctuación, aunque en contraparte, algunos autores mencionaron que sus altos costos registrados en cuanto a materiales, hace que esta se encuentre frente a desafíos para su diversificación en el mercado a amplia escala en el cercano futuro, otra variable influyente en el sistema y su rendimiento, suele ser la densidad de corriente a la que operan estos electrolizadores.

De igual forma, se notó que los electrolizadores alcalinos, son ampliamente estudiados, pues en la mayoría de los documentos esta es catalogada como la más tecnología segura, confiable y de gran madurez, a un costo de 1000 \$/K_W a 5000 \$/K_W en su capital de inversión, esta llega a alcanzar una pureza del 99,9% en los volúmenes de H₂ derivados, no obstante, puede ser mejorada, con la integración de secadores de adsorción y convertidores catalíticos, campos que aún se encuentran en estudio, ello con la atención dirigida en la descarbonización de los sectores y las F.E.R., la electrolisis AE, es considerada por gran parte de los autores como una tecnología clave en la obtención de H₂.

Por último, en cuanto a los electrolizadores de óxido sólido mismos que operan en temperaturas mayores a los 500 °C, se encontró que estos ofrecen una mayor

eficiencia, especialmente en la interacción con fuentes de energía térmica, tal es el caso de la energía solar térmica y la energía geotérmica, sin embargo, la degradación y daño en sus componentes como sus electrodos, limitan su vida útil.

En base a lo encontrado, se observó que las tecnologías como la electrolisis de tipo PEM y AE junto a las fuentes energéticas renovables se proyectan como soluciones prometedoras a la producción de H_2 libre de CO_2 según los autores consultados, lo cual se plasmó a modo de síntesis en la **tabla 5**, misma que contiene las diferentes fuentes energéticas renovables contempladas para el presente estudio junto a sus rendimientos y costos de producción de H_2 por electrólisis según los tipos de electrolizadores anteriormente descritos.

Tabla 5. F.E.R. y la producción de hidrógeno por electrólisis.

FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE (F.E.R.)		RUTA DE PRODUCCIÓN	H ₂ CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN (TONELADAS / DÍA)	FACTOR DE CAPACIDAD DE LA PLANTA (%)	EFICIENCIA DE LA PLANTA (%)	H ₂ COSTO (\$/kg)	OBSERVACIONES
TIPO	RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO (%)						
SOLAR	60 - 70	PEM - 25% Solar PV - 75% RED	10	97	9.76	6.35	La eficiencia en cuanto a producción de H ₂ en que opera, limita su aplicabilidad para la producción de H ₂ a grandes escalas en un plazo corto, sumado a ello, su rentabilidad e intermitencia.
		PEM – PV	1 200	20	9.76	11.96	
		SOE - PV	62.95	28	20	9.86	
EÓLICA	60 - 80	AE	4	31	58	8.01	Amplio requerimiento de suelo, aproximadamente 100 veces superior al de una planta nuclear de la misma capacidad.
		PEM	1 200	28	52	5.97	
HIDRÁULICA	60 - 80	PEM	1 200	30	50	6.35	De igual aplicación a la energía oceánica u mareomotriz, hasta la fecha, se limitan a sistemas de electrolisis convencionales, impulsados por su electricidad; su

							aplicación es limitada y focalizada, según los recursos geográficos disponibles.
BIOMASA	20 - 58	PEM	1 200	100	-	3.7	La generación del alquitrán derivado del proceso, requiere la adopción de métodos adicionales para conservar la calidad del H ₂ obtenido, tales como: oxidación parcial, reformado con vapor y craqueo térmico; además de la posible adición de captura y el almacenamiento de carbono. Dilemas morales ante cultivos de alimentos o de energía. Complicada producción energética diaria en centrales eléctricas, requerimiento de grandes volúmenes de materia prima.
		AE	0.59	100	78	3.75	
		SOE	0.87	100	94	2.57	
GEOTERMICA	46	PEM	873.8	85	6.7	2.39	Limitada disponibilidad de recursos geográficos. Pocos estudios para su aprovechamiento energético eléctrico. Viabilidad escasa, ligada a la temperatura del recurso, a 150 °C, no se consideran explotables.
		SOE	86.4	80	-	2.13	
Rendimiento calculado a partir de la evaluación del desempeño, económico, técnico social, confiabilidad y ambiental, (Acar y Dincer, 2019).							

Fuente: (Liu, *et al.*, 2020); (Razi y Dincer, 2020); (Sui, *et al.*, 2020); (Tenhumberg y Bükler, 2020); (Abu y Dincer, 2019); (Acar y Dincer, 2019), (Emam y Ozcan, 2019); (Sánchez, 2019); (Sapountzi, *et al.*, 2017).

En los datos recopilados en base a los documentos seleccionados proporcionados por los autores contenidos en la **tabla 3**, se encontró lo siguiente:

En términos de desempeño ambiental, en lo que respecta a las emisiones de gas efecto invernadero (GEI) la energía eólica es la más privilegiada, debido a que esta según dichas investigaciones, elimina las emisiones de NO_x , SO_2 y CO_2 de las centrales eléctricas tradicionales; según lo señalado por Asociación Mundial de Energía Eólica, esta reduce radicalmente la dependencia a los combustibles y fuentes fósiles, en concordancia con esto, recientemente se calculó el potencial de calentamiento global de un sistema eólico, el cual alimenta energéticamente a un electrolizador PEM y a un AE, obteniendo como resultado que el potencial de calentamiento global en el electrolizador PEM es de $0.95 \text{ kg de } \text{CO}_{2\text{eq}} / \text{kg}^{-1} \text{ de } \text{H}_2$, y para el electrolizador AE es de $0.85 \text{ kg de } \text{CO}_{2\text{eq}} / \text{kg}^{-1} \text{ de } \text{H}_2$. En un reciente estudio hallado el cual fue ejecutado en el transporte ferroviario de Alemania, en donde se evaluó la posibilidad de la interconectividad del transporte ferroviario y la producción de energía eólica junto a la de H_2 , encontrando que 10.1 millones de trenes podrían subsidiar aproximadamente 9.5 millones de litros de diesel, al cambiar su combustible de operación, derivando así un costo de $6.40 \text{ €} / \text{kg}$ de H_2 producido.

En lo que corresponde al rendimiento en producción de H_2 , por turbinas eólicas; se evidenció que un electrolizador PEM es capaz de producir $5 \text{ mol} / \text{h}$ de H_2 a una eficiencia del 83.3% y una tensión de 1.74 V. a un requerimiento energético de 512.6 W, la eficiencia y el voltaje del electrolizador fueron de 83.3% y 1.74 V, respectivamente, mismos que eran suministrado por una turbina eólica de 10 kW; en tal contexto, la eficiencia del proceso fue del 74.93%; en otro estudio que se ejecutó en Pakistán, se estimó que la huella de carbono de la turbina Gamesa G80 en comparación de una central eléctrica de gas natural y petróleo, cuyo resultado reveló que esta contribuye a la reducción de aproximadamente 1 518.41 y 2 102.99 toneladas de emisiones de CO_2 en ambos casos respectivamente, con una

producción anual de H₂ de 122.89 toneladas al año a un costo estimado de 3.887 \$ /kg de H₂.

Una de las opciones prometedoras para la descarbonización, seguridad energética junto a la obtención de H₂, según lo presentado por los autores, son los parques eólicos offshore quienes permiten ampliar y destrabar el potencial total de la energía eólica, quienes en un estudio hallado, se consideró de esta manera un hipotético caso, de parques eólicos offshore de 101.3 MW, compuesto por 16 turbinas de 6.3 MW, junto electrolizadores PEM, cuyo consumo de energía fue de 51.84 kWh /kg de H₂ producido; observándose que este resultaría rentable en el año 2030 considerando un coste de producción de 5 € /kg de H₂, por lo cual, se consideró por parte de los investigadores el ser justificable el incentivar la producción de H₂ eólico offshore, considerando una pérdida eléctrica de tan solo el 1%.

Por el contrario, se halló que la biomasa contiene naturalmente grandes cantidades de H₂, por lo que algunos investigadores la señalaron como una fuente sostenible de producción energética y de H₂, misma que cuenta con un potencial anual de generación de 6.6 millones de toneladas de H₂, a pesar de ello, resulta ser desafiante para la comunidad científica el desarrollar tecnologías de mayor efectividad y de menos coste económico, de ser esto factible, se elevaría la eficiencia en la conversión y reduciría los impactos ambientales derivados de sus métodos, aunque se encontró registros de la generación de electricidad obtenida por la combustión o gasificación biomasa en acción conjunta con turbinas vapor o gas de forma comercial, un claro ejemplo fue el de Estados Unidos, que en el 2018 el 1.4% del suministro energético fue cubierto bajo esta modalidad; de este modo, el uso energético de la biomasa para la obtención de H₂ mediante la electrolisis a temperaturas bajas es una área totalmente novedosa y atractiva a la investigación en tiempos actuales señalaron gran parte de los autores.

La visión de un mundo libre de CO₂ y ambientalmente sostenible basado en la aceptación del H₂, motivó a los investigadores en pro del esfuerzo en la elaboración de tecnologías de recolección de energía solar más eficientes, en cuanto a la obtención de H₂ basada en energía solar, se descubrió que mantienen significativas

ventajas, ya que estos procesos ofrecen un impacto negativo poco perceptible y un menor uso de suelo, lo cual proporciona un H₂ bajo en carbono a costos relativamente accesibles, considerándose de esta manera por la mayoría de los autores como la opción energética más viable y prometedora para la producción de H₂ de hoy en día; bajo criterios de sostenibilidad, producción y eficiencia, en la obtención de H₂, mediante energía solar, los métodos que operan a altas temperaturas, registraron altos valores en rendimientos y eficiencia, sin embargo, parte de los autores consideran a estos como ambientalmente negativos, por lo que se requieren una mayor investigación en cuanto a la obtención de H₂ por electrolisis fotovoltaica, con la finalidad de optimizar costos y controlar parámetros como el costo de adquisición, instalación y mantenimiento de células junto al electrolizador, mismos que influyen de forma directa sobre el costo del H₂ extraído acotaron.

Para aumentar la competitividad de los sistemas energéticos solares tradicionales en lo que comprende la producción de H₂, algunos autores, recomendaron trabajar en su viabilidad económica junto a su integración y aceptación en los sectores energéticos contemporáneos; ya que la electricidad fotovoltaica es considerada por la mayoría de los autores como una energía de gran calidad y de pertinente aplicación para la obtención de H₂ mediante la electrólisis de agua, encontrando que la electrólisis AE fotovoltaica, el método más conveniente en costos respecto a la electrolisis PEM fotovoltaica; alcanzando costos de 2.20 US \$ /kg de H₂, la cual se proyecta a un costo de y 1.67 US \$ /kg de H₂ para el 2030, aunque los costos asociados a este último se están rentabilizando paulatinamente.

De igual importancia, se detectó en parte de los manuscritos analizados que las tecnologías de producción de H₂ impulsadas por energía geotérmica, representan una alternativa llamativamente novedosa, especialmente por las emisiones mínimas de CO₂ que esta ofrece, 0.04 toneladas de CO₂ /MWh, en comparación con las centrales eléctricas tradicionales; siendo capaz de generar 22 kg/h de H₂, a un costo calculado de 8.24 \$ /kg de H₂, esto evidenció que en el proceso de división del agua mediante electrolizadores, esta demuestra un gran potencial para la obtención de hidrógeno geotérmico, más sin embargo, se halló que el negativo

impacto causado por la adopción de la energía geotérmica, se enmarca en la latente posibilidad de contaminación de fuentes hídricas subterráneas, por lo que cuando se evaluaron todos los criterios de desempeño ambiental, la energía geotérmica obtiene bajas calificaciones en las dimensiones social y técnica.

A pesar de lo revelado, en cuanto a la energía geotérmica, una parte de los autores la consideraron como una F.E.R. sumamente confiable, debido a que no registra intermitencias ni bajas duraciones en su suministro energético aprovechable; por otro lado, su principal limitante que se encontró fue la restauración del recurso, ya que la velocidad natural de restauración del calor no es igual a la que se extrae; se hallaron registros que Filipinas y Estados Unidos de América tienen una notable disponibilidad de generación de energía geotérmica; aunque actualmente en el sector energético, el aprovechamiento de los recursos geotérmicos no es dominante, esta tiene un amplio potencial para convertirse en un actor notorio en la futura estrategia energética, con un potencial explotable casi a nivel mundial bajo un diseño pertinente y una gestión responsable, acotaron algunos autores.

Otra alternativa energética renovable y estable, es la energía hidroeléctrica, en la cual se observó que con el 80% de eficiencia energética en la producción de H_2 esta se postula como la más eficiente, sin embargo, detectó que su rendimiento se ve influenciado directamente por la sequía e hidro alimentación de los recursos aprovechables, lo que repercute en una interanual variabilidad, por otra parte, se requieren de más estudios sobre los impactos ecológicos generados por la infraestructura necesaria para su aprovechamiento; autores señalaron que una central hidroeléctrica, es capaz de explotar su excedente de energía no utilizada, con el objetivo de producir electricidad adicional para producir H_2 , lo que resultaría en una producción regular de H_2 de hasta 30 kg/h . Si bien es cierto la energía hidroeléctrica se ve influenciada por la geografía, la cual limita su utilidad en gran parte del mundo, considerando los documentos hallados, se encontró que esta no sufre de intermitencias ni se condiciona al almacenamiento energético, lo que sí es vital en F.E.R. como la solar u eólica, no obstante, en cuanto a estas, sus recursos aprovechables son más accesibles en todas partes del mundo, razón por la que ambas fueron consideradas como alternativas energéticas más realistas a los combustibles fósiles a nivel mundial por parte de la mayoría de los autores

consultados; es fundamental reconocer que en base a los registros, se evidenció que aproximadamente el 16% de la electricidad mundial procede de la energía hidroeléctrica, el 4% de la energía eólica, el 2% de la energía solar, el 1.9% de la energía de biocombustibles y el 0.33% de la energía geotérmica.

En una innovadora revisión hallada, en la que se estudió el impacto medioambiental de la electrólisis del agua acopladas a las fuentes de energía renovable (F.E.R.), se demostró que el potencial de calentamiento global (PCG) se reduce aproximadamente en un 90%, además se observó que el H₂ obtenido a partir de las F.E.R. paulatinamente cobrará una notable relevancia en la descarbonización de las industrias y otros sectores; no obstante, una fracción de los autores, señalan que es preciso tener en cuenta que al añadir un mayor número de electrolizadores a un sistema eléctrico de bajo impacto en carbono, aumentará exponencialmente la necesidad de electricidad adicional, lo que posiblemente repercutirá en una producción de H₂ variable, a menos que se añadan otras para proporcionar la estabilidad requerida, cabe agregar que algunos resultados encontrados en donde se integraron F.E.R. electrolizadores y baterías, estos mostraron ser sistemas altamente complementarios, ya que la generación de H₂ se da en los picos energéticos y la segunda se alimenta de las salidas energéticas relativamente estatales; sin embargo, se encontró que una novedosa opción manifestada por los investigadores ante la problemática inherente de las F.E.R. son los sistemas energéticos híbridos.

Respecto a esto, se halló que en Irán, quien cuenta con una radiación solar de 386.2 W/m^2 y velocidad de viento promedio de 10.82 m/s ; el aerogenerador modelo Bergey BWC Excel 10 GT producido una media mensual de 2.4 – 4.1 kW y el módulo PV TP660P-240 generó un promedio anual de 86.04 W, los cuales acoplados a un electrolizador PEM de 9.9 KW fueron capaces de producir 221.3 g/h de H₂; por otro lado, se detectó en base a los manuscritos analizados que la hibridación de la energía solar térmica y turbinas de gas alimentadas con biomasa, en acción conjunta con un electrolizador PEM, es capaz de contrarrestar sus individuales falencias en la obtención de H₂, los resultados mostraron que dicho mecanismo es capaz de incrementar en un 24.1%, la generación energética, lo que

contribuiría en a la reducción de en un 22.7% de las emisiones de CO₂, en cuanto a la combinación de sistemas solares-geotérmicos, se encontraron registros de una producción de H₂ entre el 0.115 kg/h a 561.6 kg/h, con eficiencias energéticas oscilan entre de 5.67% para la solar y 7.49% para la geotérmica, a una generación de 0.005 MW a 4.631 MW de electricidad respectivamente, a un costo de 4.7 \$/kg.

Ante el creciente calentamiento global consecuencia del significativo aumento de los gases de efecto invernadero asociados a la demanda eléctrica interna y nuestras actuales conductas de desarrollo; ante ello, con la intención de fundamentar la sostenibilidad que nos ofrece el H₂, se encontró a partir de las investigaciones cuyos autores se plasmaron en la **tabla 6** lo siguiente:

Tabla 6. Investigaciones consultadas para el desarrollo del objetivo 4.

CÓDIGO	AUTOR/ AÑO DE PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
DOC - 043	Kamil, <i>et al.</i> , 2021
DOC - 060	Rabiee, Keane y Soroudi, 2021
DOC - 061	Rabiee, Keane y Soroudi, 2021
DOC - 078	Torbjorn, Hajizadeh y Sartori, 2021
DOC - 090	Zhang, Zheng y Yang, 2021
DOC - 089	Zhang, <i>et al.</i> , 2021
DOC - 001	Abad, <i>et al.</i> , 2020
DOC - 050	Mehjerdi y Hemmati, 2020
DOC - 014	Daraei, Campana y Thorin, 2020
DOC - 063	Razi y Dincer, 2020
DOC - 091	Zhou, <i>et al.</i> , 2020
DOC - 002	Abu y Dincer, (2019)
DOC - 003	Acar y Dincer, (2019)

DOC - 069	Sánchez, 2019
DOC - 029	Gondal, Masood y Khan, 2018
DOC - 053	Morales, <i>et al.</i> , 2017
DOC - 018	Douak y Settou, 2015

Fuente: elaboración propia.

Las fuentes energéticas renovables, hoy son percibidas por muchos investigadores como sustitutos limpios a considerar en estrategias para las décadas posteriores, manifestaron gran parte de los autores consultados, más su intermitencia, así como a los problemas transporte y de almacenamiento son parte de los mayores obstáculos a los cuales se enfrentan; la mayoría de autores señalaron que es más que probable que el H₂ reemplace a los combustibles fósiles en el futuro cercano, ello ligado a los factores ambientales, políticos y financieros; por lo que es imperativo se realicen esfuerzos a fin de mejorar e incrementar la obtención de H₂ a partir de fuentes renovables, además se visualizó, que esta segunda década ha sido decisiva en cuanto al desarrollo de tecnologías para la obtención de H₂ verde, haciendo creíble la integración de este en la cartera energética mundial al 2050 al menos en un 40%; lo que hace probable que se alcance un mundo energético descarbonizado, previsto en el Acuerdo de París.

En la última década se registró un aumento del 1.7% anual en el consumo de energía mundial; proyecciones, estiman que esto se incrementara hasta más de 22 TW al 2030 al agotamiento de los recursos fósiles, diversas entidades de investigación se han encaminado al desarrollo de sistemas en pro del aprovechamiento responsable de las fuentes renovables para la generación de combustibles y energía dicho esto, entre la gama de fuentes de energía renovable, la opción más convincente que se encontró, es la energía solar; en contraste a otras fuentes competidoras, pues esta resultó ser vista por casi la totalidad de los autores como la opción más prometedora debido a su potencial y disponibilidad para producir energía, sin embargo, es preciso abordar varios desafíos para utilizar esta fuente de energía verde; el explotar a cabalidad la energía fotovoltaica y eólica, es una problemática clave sumado a esto, se notó que es crucial la evaluación y

análisis del desempeño integral de estos sistemas, ello repercutirá en la reducción de la dependencia a la red eléctrica en favor de un sistema energético integrado.

La crisis energética y la polución ambiental, son latentes problemas, que limitan la sostenibilidad del desarrollo de la sociedad actual, por lo mismo, las tecnologías de energía renovable recibieron una notable atención en los últimos 10 años, particularmente aquellas que se enfocan al tratamiento de residuos y recuperación de energía señalaron gran parte de los autores, sin mayor duda, esto trajo y llevará a grandes beneficios, sociales, ambientales y económicos, si se ejecuta al máximo el aprovechamiento de los recursos renovables, los costos de operación y producción serían más accesibles, asegurando una futura participación y competencia en el mercado energético.

Según los escritos procesados, se prevé que la energía solar y eólica aportaran entre el 23% y el 42% al suministro mundial energético para el 2040, ante ello, se halló que la Agencia Internacional de la Energía (AIE), manifestó que más del 50% de la generación debe provenir de energías renovables para el 2030 según la Unión Europea (UE), lo cual tendrá que incrementarse para el 2050 en un 80%; cabe resaltar que los estudios enfocados a las energías renovables junto a los métodos de producción de H₂ actualmente son escasos; esto se debe a que en la práctica, la energía saliente de las F.E.R. se aprovecha para la obtención de hidrógeno, luego este se vuelve a energizar para generar energía eléctrica, este mecanismo, es capaz de eliminar la intermitencia natural de las F.E.R., mencionaron algunos autores; en ejemplo a lo mencionado son los registros encontrados que hacen referencia a Australia y Alemania, en donde existen instalaciones a gran escala tal es el caso de Energiepark Mainz en Alemania y en Australia con el Centro Sir Samuel Griffith, así como prototipos a mediana y pequeña escala destinados a la investigación, a pesar de esto, aun no son una solución generalizada ante los sistemas de energía tradicional.

Cabe señalar que en base a lo hallado, se observó que países como España, Alemania, Inglaterra, Alemania, Estados Unidos, Francia, Dinamarca, Japón, Rusia, entre otros, se han centrado en la investigación de los múltiples beneficios que otorgan las F.E.R. bajo las perspectivas ambiental, económico, social; por lo cual la nueva era energética es inminente, la transición hacia el uso de las F.E.R.

es inevitable; el equilibrio entre la demanda y la oferta es fundamental en la flexibilidad de los sistemas emergentes, según una fracción de los autores consultados, la integración de los diferentes recursos y tecnologías energéticas convencionales y renovables son el nuevo enfoque para garantizar una mayor flexibilidad en el sistema energético actual.

En cuanto a la adopción y aceptación del H₂, en los manuscritos, se encontró que este con trae beneficios, sin embargo, también presenta problemas para su energético, tal es el caso como su almacenamiento, distribución e inserción al mercado público, respecto a lo primero, aun se considera fuente de debate, no solo para la comunidad científica, si no también para los productores, esto debido a sus propiedades como elemento; en lo que refiere a su distribución, parte de los autores enfatizaron en la viabilidad de que este sea implantado en las redes existentes de gas natural, sin embargo, en particulares investigaciones, se halló que esto a pesar de ser posible, debe ser sumamente estudiado, dado que las características del H₂, son notoriamente diferentes al gas natural; en cuanto a la integración del H₂ verde al mercado, según los autores y la evidencia encontrada en los estudios analizados, la mejor opción respecto a esto sería el parque automotor, en el cual, este mostraría sus cuantiosos beneficios no solo económicos, si no también ambientales e incluso políticos.

Ante las ventajas y desafíos que presenta el H₂ verde, gran parte de los autores manifestaron que las organizaciones y gobiernos, están fijando metas y ejecutando acciones para contrarrestar estos inconvenientes, a fin de incorporarlas en su mis energético, resultados que pronto se han de observar, añaden. Gran parte de las iniciativas referidas al H₂ verde, se encontraron en Europa, el cual viene aperturando el futuro mercado del H₂ verde, los responsables políticos nacionales e internacionales y las organizaciones de normalización, empiezan a debatir decisiones y normas nacionales e internacionales en cuanto al marco legal de la cadena productiva y de suministro del H₂ verde.

La actual coyuntura, no solo presento una oportunidad para el H₂ verde a nivel mundial, sino también un importante reto a la investigación, ya que está a impuesto radicales cambios a la forma tradicional en la que suele desenvolverse, puesto que

como investigadores, nos hemos visto desafiados a adoptar nuevas metodologías con el fin de desarrollar diversos materiales investigativos, encontrando cobijo en el análisis documental de la literatura, lo cual cuenta con algunas dificultades para su desarrollo debido a que se encuentra sujeta a la calidad en la procedencia y contenido de la información seleccionada más que de los datos encontrados, sin embargo el tratamiento al que se ven expuestos los datos es fundamental en esta modalidad de investigación, no obstante, este debe ser conocido por los autores a fin de poder identificar los criterios u parámetros que esta demanda, haciendo vital el manuscrito expuesto por Yépez, *et al.*, (2021) en la ejecución del presente estudio, lo que permitió en base a los textos consultados evidenciar y determinar que el hidrógeno solo es sostenible si se extrae de fuentes naturales en acción conjunta con las F.E.R., lo cual coincidió con más del 70% de los autores consultados quienes en sus respectivas publicaciones contemplaron criterios como performance ambiental, desempeño técnico y costes de producción; finalmente, es preciso señalar que la información expuesta mantuvo criterios que avalan su calidad y utilidad, buscando ser punto de partida en próximos estudios al mostrar novedosos horizontes de sumo interés que valen ser investigados individualmente para que paulatinamente estos sean parte de nuestra realidad, contribuyendo así en la toma de decisiones ya que durante la fase de búsqueda no se encontraron artículos o tesis en las bases de datos consultadas investigaciones peruanas que exploren más allá de estudios prácticos de laboratorio como diseño u construcción de pilas de combustible y electrolizadores experimentales a pequeña escala.

V. CONCLUSIONES

Se analizaron satisfactoriamente la diversidad de métodos de extracción de hidrógeno a partir de fuentes naturales y fósiles más importantes en la última década, encontrando así que los métodos extractivos direccionados a fuentes fósiles, mantienen una notable aceptación, esto se debe a sus costos producción junto a su eficiente conversión energética; sin embargo, se ven severamente influenciados de forma directa al precio y disponibilidad de sus materias primas y las problemáticas ambientales que estos mantienen; lo cual ha otorgado la mayor oportunidad al sentido innovador de la comunidad científica, hallando un sustento sostenible en el aprovechamientos de las fuentes de naturales (agua/biomasa) y la integración de las fuentes energéticas renovables.

Se comparó la eficiencia y los costos de producción de los métodos de extracción de hidrógeno a partir de fuentes naturales (agua/biomasa) más relevantes en la última década; observándose que, en cuanto a la biomasa, la pirólisis y la gasificación de biomasa, son de los métodos termoquímicos más relevantes de hoy en día, quienes son capaces de ofrecer una eficiencia global del 35% - 50%, a un coste de $1.77 - 2.05 \text{ \$ / kg}$ de H_2 y $1.59 - 1.70 \text{ \$ / kg}$ de H_2 respectivamente, parte de los autores consultados, señalaron que en un futuro próximo estas se perfilaran como las opciones más rentables para la producción a gran escala de H_2 en base a la biomasa. Por su parte, los métodos biológicos, conllevan a la facilidad de tener emisiones de CO_2 relativamente bajas, siendo la fermentación oscura el método más recomendable para la obtención de H_2 , registrando valores entre el 60% - 80% de eficiencia global, a un costo de $2.57 \text{ \$ / kg}$ de H_2 ; mientras que en la biofotólisis es capaz de consumirla a partir de su fotosíntesis, importante ventaja en materia de descarbonización, sin embargo, su baja eficiencia del 10% - 11% junto a su requerimiento de reactores y luz solar, hacen que en costos de producción este rivalice con el reformado de vapor ya que su coste es de $2.13 \text{ \$ / kg}$ de H_2 , afectando directamente su viabilidad; sin embargo, algunos autores, afirman que los métodos biológicos, solo son recomendables para producciones puntuales de H_2 y tratamiento de residuos, debido a sus eficiencias y costes de inversión.

En cuanto a los métodos de separación división del agua, el método menos eficiente es la foto electrolisis, con solo el 0.06% de eficiencia global, a un costo registrado de $8 - 10 \text{ \$ / kg}$ de H_2 , en comparación a electrolisis originada por las F.E.R., la cual expresa una eficiencia global de entre 60 % – 80%, a un coste de 10 a $20 \text{ \$ / kg}$ de H_2 , dentro de las tecnologías disponible de electrólisis, los autores consultados manifestaron que los electrolizadores PEM y AE, se perciben actualmente como las tecnologías más rentables y sostenibles para la producción de H_2 a bajas emisiones de carbono, cuyo valor agregado se conceptualiza en la adición de las fuentes energéticas renovables.

Al evaluar la producción de hidrógeno a partir de las F.E.R. en la última década, en base a los documentos consultados, entre la gama de fuentes de energía renovable, la opción más realista, convincente, y recomendada para la producción de H_2 , por los autores, es la energía solar; la cual en contraste a otras fuentes competidoras, resultó ser vista por casi la totalidad de los autores como la opción más prometedora, esto debido a su potencial y disponibilidad para producir energía; no obstante, se detectó que su naturaleza fluctuante incide de manera importante en sus costos de producción de H_2 , ello sin contar los costos de las tecnologías disponibles para su aprovechamiento, ya que las tecnologías fotovoltaicas anualmente se vienen rentabilizando; así pues en base a lo analizado, la participación de estos sistemas junto a la integración de las tecnologías electrolíticas, harán que en un futuro próximo, esta fuente registre costos de producción de H_2 considerablemente competitivos; por su parte, la energía hidroeléctrica según algunos autores, es la más eficiente y favorable, bajo sus respectivas condiciones; limitándose como fuente energética a producciones focalizadas, así mismo cabe añadir que se encontró que a nivel mundial hoy en día aproximadamente el 16% de la electricidad mundial procede de la energía hidroeléctrica, el 4% de la energía eólica, el 2% de la energía solar, el 1.9% de la energía de biocombustibles y el 0.33% de la energía geotérmica.

Por último, se fundamentó la sostenibilidad presente y futura que nos ofrece el hidrógeno, tomando en cuenta los acontecimientos más relevantes de la última década en el ámbito internacional, en base a los documentos procesados,

hallando que en la pasada década se registró un aumento del 1.7% anual en el consumo de energía mundial; estimándose proyecciones de un incremento al 2030 superior a 22 TW y que el reemplazo a los combustibles fósiles en el futuro cercano por el H₂ es más que evidente, ello ligado a los factores ambientales, políticos y financieros, esto traerá grandes beneficios, sociales, ambientales y económicos, si se ejecuta bajo el máximo el aprovechamiento de los recursos renovables, asegurando así su futura participación y competencia en el mercado energético para el 2030 en un 50% de la energía mundial, mismo que debe provenir de energías renovables según la Unión Europea, lo que se incrementará en un 80% para el 2050, tomando en cuenta que la energía solar y eólica aportaran entre el 23% y el 42% al suministro mundial energético para el 2040.

Por lo mencionado con anterioridad, en base a las fuentes y documentos seleccionados para la presente revisión, se determina en consistencia con los estudios analizados, tomando en cuenta los acontecimientos más relevantes de la última década en el ámbito internacional que el H₂ proveniente de fuentes naturales en acción conjunta con las fuentes energéticas renovables, es capaz de conceder la ansiada sostenibilidad a mediano y largo plazo, esto bajo los criterios de performance ambiental, desempeño técnico y costes de producción abordados por los autores; sin embargo, aún se requiere de un mayor desarrollo en tecnologías de transformación energética de mayor eficiencia y rentabilidad, acontecimientos que se vienen dando desde la década pasada, haciendo inevitable el cercano cambio del combustible fósil al H₂ verde.

VI.RECOMENDACIONES

Se recomienda ejecutar un mapeo consciente y exhaustivo de las fuentes energéticas renovables explotables a lo amplio de nuestro país, así como el análisis de su viabilidad, impacto ambiental y capital de inversión que conlleva su utilidad.

Se recomienda evaluar la posibilidad de producción de H₂ en las centrales hidroeléctricas, geotérmicas, especialmente en los parques eólicos y fotovoltaicos actualmente operativos en nuestro país.

Se recomienda ahondar en el uso del H₂ como vector energético y su interacción con las fuentes energéticas renovables, evaluando los beneficios y sus desafíos presentados en el documento en contraste a la realidad peruana (almacenamiento, distribución e inserción en el mercado público).

Se recomienda la elaboración a escala de laboratorio de un mini sistema de electrolisis del agua, alimentado por alguna de las fuentes energéticas renovables, con la finalidad de registrar el comportamiento de dicho sistema, para comparar eficiencias y estimar costos de operación, mantenimiento y producción de H₂.

Se recomienda una mayor investigación en cuanto a la fotofermentación, la cual a pesar de ser la menos eficiente, permite el tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales, un beneficio atractivo y sumamente aprovechable.

Se recomienda el uso de modelos matemáticos para la evaluación, estimación y proyección de la producción de H₂ por energía renovable suministrada empleando la data real de la producción anual de las fuentes energéticas renovables de nuestro país.

Se recomienda el estudio de los beneficios y desafíos de la adopción de las fuentes energéticas renovables y el H₂ procedente de estas en el sistema energético peruano.

REFERENCIAS

ABAD, Anthony y DODDS, Paul. Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. *Energy Policy* [en línea]. Vol. 138, marzo, 2020 [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520300586>

ISSN: 0301-4215.

ABU, Azzam y DINCER, Ibrahim. Sustainability assessment of energy systems: A novel integrated model. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 212, marzo 2019. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2021].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618337983>

ISSN: 0959-6526.

ACAR, Canan y DINCER, Ibrahim. Review and evaluation of hydrogen production options for better environment. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 218, mayo 2019 [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021].

Disponible

en:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85062144890&citeCnt=21&noHighlight=false&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=1>

ISSN: 9596-526.

ALMUTAIRI, Khalid [et al]. Technical, economic, carbon footprint assessment, and prioritizing stations for hydrogen production using wind energy: A case study. *Energy Strategy Reviews* [en línea]. Vol. 36, julio 2021. [Fecha de consulta: 5 de octubre de 2021].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21000705>

ISSN: 2211-467X.

ALLAHVIRDIZADEH, Payam. A review on geothermal wells: Well integrity issues. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 275, 2020. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2021].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620340543>

ISSN: 0959-6526.

ARMIJO, Julien y PHILIBERT, Cédric. Flexible production of green hydrogen and ammonia from variable solar and wind energy: Case study of Chile and Argentina. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 45, n.^a 3, enero 2020. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021].

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919342089> ISSN:

0360-3199.

AYODELE, Temitope y MUNDA, Josiah, Potential and economic viability of green hydrogen production by water electrolysis using wind energy resources in South Afric. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 44, n.^a 33, julio 2019 [Fecha de consulta: 25 de abril de 2021].

Disponible

en:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85066463668&origin=resultslist&sort=r-f&src=s&mltEid=2-s2.0-85066492064&mltType=ref&mltAll=t&imp=t&sid=9e15a6d691c22ab0f709740582ebf1ca&sot=mlt&sdt=mlt&sessionSearchId=9e15a6d691c22ab0f709740582ebf1ca&relpos=9&citeCnt=28>

ISSN: 3603-199.

BAYKARA, Sema. Hydrogen: A brief overview on its sources, production and environmental impact. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 43, n,^a 23, junio, 2018. [Fecha de consulta: 11 de abril de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319918304002>

ISSN: 0360-3199.

CÁRDENAS, Luisa. Aspectos en la Selección de Proveedores Marítimos en las Importaciones de la Empresa Perú Line Logistics, 2018. Tesis (Licenciada en Negocios Internacionales). Lima: Universidad Cèsar Vallejo, 2018.

Disponible en:
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33802/C%C3%A1rdenas_JLC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CHANDRASEKAR, Aruna, FLYNN, Damian y SYRON, Eoin. Operational challenges for low and high temperature electrolyzers exploiting curtailed wind energy for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 46, n,^a 57, agosto 2021. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920349004>

ISSN: 0360-3199.

CHIGUALA, Miguel y VEGA, Charlotte. Revisión sistemática de los métodos de aprovechamiento aplicados en el subproducto piel y escamas del pescado. Tesis (Ingeniero Ambiental). Trujillo: Universidad César Vallejo, 2020.

Disponible en:
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62866/Chiguala_DM_A-Vega_PCD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CLOETE, Schalk, RUHNAU, Oliver y HIRTH, BLion. On capital utilization in the hydrogen economy: The quest to minimize idle capacity in renewables rich energy

systems. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 46, enero 2021. [Fecha de consulta: 21 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920336673>

ISSN: 0360-3199.

DARAEI, Mahsa, CAMPANA, Pietro y THORIN, Eva. Power-to-hydrogen storage integrated with rooftop photovoltaic systems and combined heat and power plants. *Applied Energy* [en línea]. Vol. 276, octubre 2020. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920310114>

ISSN: 0306-2619.

DELPIERRE, Mathieu [et al]. Assessing the environmental impacts of wind-based hydrogen production in the Netherlands using ex-ante LCA and scenarios análisis. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 299, mayo 2021. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621010854>

ISSN: 0959-6526.

DICLE, Çelik y MELTEM, Yildiz. Investigation of hydrogen production methods in accordance with green chemistry principles. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 42, n.º 36, marzo 2017. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319917310492> ISSN:
0360-3199.

DINH, Van [et al]. Development of a viability assessment model for hydrogen production from dedicated offshore wind farms. *International Journal of Hydrogen*

Energy [en línea]. Vol. 46, n,^a 48, julio 2021. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920316438>

ISSN: 0360-3199.

DOUAK, Mohamed y SETTOU, Nouredine. Estimation of hydrogen production using wind energy in Algeria. *Energy Procedia* [en línea]. Vol. 74, agosto 2015. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215015970>

ISSN: 1876-6102.

DUROVIC, Martin, HNAT, Jaromír y BOUZEK, Karel. Electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction in alkaline and neutral media. A comparative review. *Journal of Power Sources* [en línea]. Vol. 493, mayo 2021. [Fecha de consulta: 30 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321002494>

ISSN: 0378-7753.

DUTTA, Suman. A review on production, storage of hydrogen and its utilization as an energy resource. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* [en línea]. Vol. 20, n,^a 4, julio 2014. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X13003481>

ISSN: 1226-086X.

EMAM, Rami y OZCAN, Hasan. Comprehensive review on the techno-economics of sustainable large-scale clean hydrogen production. *Journal of Cleaner Production*

[en línea]. Vol. 220, n,^a 20, mayo 2019. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619303361>

ISSN: 0959-6526.

FÚNEZ, Dres y REYES, Lorenzo. El hidrógeno como vector energético pieza clave en la descontaminación de la economía Chilena [en línea]. 1.a ed. Chile., 2019 [Fecha de consulta: 20 de abril de 2021].

Disponible en: <https://repositorio.uautonoma.cl/bitstream/handle/20.500.12728/3191/Hidrogeno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ISBN: 978-956-8454-45-6.

GALLARDO, Felipe [et al]. A Techno-Economic Analysis of solar hydrogen production by electrolysis in the north of Chile and the case of exportation from Atacama Desert to Japan. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 46, n,^a 26, abril 2021. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920325842>

ISSN: 0360-3199.

GHAZVINI, Mahyar [et al]. Geothermal energy use in hydrogen production: A review. *International Journal of Energy Research* [en línea]. Vol. 43, n, ^a14, noviembre 2019 [Fecha de consulta: 14 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85070689635&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=26&citeCnt=21&searchTerm=>

ISSN: 0363-907X.

GIMÉNEZ, Juan. La hora del hidrógeno verde. *Gas Actual* [en línea]. n, ^a 153, octubre -diciembre, 2019 [Fecha de consulta: 17 de abril de 2021].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7337483>

ISSN: 9950-0892.

GIMÉNEZ, Juan. Europa coloca el hidrógeno en el eje de una “recuperación verde” *Gas Actual* [en línea]. n, ^o 156, Julio - septiembre, 2020 [Fecha de consulta: 19 de abril de 2021].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7577798>

ISSN: 9950-0892.

GIMÉNEZ, Juan. La hoja de ruta que impulsará el hidrógeno renovable en España. *Gas Actual* [en línea]. n, ^o 157, octubre - diciembre, 2020 [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7714427>

ISSN 9950-0892.

GIMÉNEZ, Juan. El sector gasista impulsa una reconstrucción “verde”. *Gas Actual* [en línea]. n, ^o 155, abril - junio, 2020 [Fecha de consulta: 20 de abril de 2021].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7529220>

ISSN: 9950-0892.

GONDAL, Irfan, MASOOD, Syed y KHAN, Rafiullah. Green hydrogen production potential for developing a hydrogen economy in Pakistan. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 43, n, ^a 12, marzo 2018 [Fecha de consulta: 30 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85042415448&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=edf94a598a6f37289db07bfd75239737&sot=b&sdt=b&sl=52&s=TITL E-ABS->

[KEY%28green+hydrogen+energy+vector+a+review%29&relpos=6&citeCnt=42&searchTerm=](#)

ISSN: 3603-199.

GRIMM, Alexa, JONG, Wouter y KRAMER, Gert. Renewable hydrogen production: A technoeconomic comparison of photoelectrochemical cells and photovoltaic-electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 45, n,^a 43, septiembre 2020. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920322291>

ISSN: 0360-3199.

GUO, Xiaokai y SEPANTA, Mehdi. Evaluation of a new combined energy system performance to produce electricity and hydrogen with energy storage option. *Energy Reports* [en línea]. Vol. 7, noviembre 2021. [Fecha de consulta: 5 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721001955>

ISSN: 2352-4847.

HERENČIĆ, Lin [et al]. Techno-economic and environmental assessment of energy vectors in decarbonization of energy islands. *Energy Conversion and Management* [en línea]. Vol. 236, n,^a 114064, mayo 2021 [Fecha de consulta: 19 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85103111666&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=9fcf88e23327e51b2d015157e266aa9d&sot=b&sdt=b&sl=58&s=TITLE-ABS-KEY%28Hydrogen+Production+from+Renewable+Energies%29&relpos=49&citeCnt=0&searchTerm=>

ISSN: 1968-904.

HERNANDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María. metodología de la investigación. [en línea]. 6.ª ed. México: Interamericana Editores, S.A. DE C.V., 2014 [Fecha de consulta: 22 de abril de 2021].

Disponible en: <https://academia.utp.edu.co/grupobasicoclinicayaplicadas/files/2013/06/Metodolog%C3%ADa-de-la-Investigaci%C3%B3n.pdf>

ISBN: 978-1-4562-2396-0.

HERWARTZ, Sebastian, PAGENKOF, Johannes y STREULING, Christoph. Sector coupling potential of wind-based hydrogen production and fuel cell train operation in regional rail transport in Berlin and Brandenburg. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 46, n.º 57, agosto 2021. [Fecha de consulta: 5 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920344931>

ISSN: 0360-3199.

HUANG, Yuansheng y LIU, Shijian. Efficiency evaluation of a sustainable hydrogen production scheme based on super efficiency SBM model. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 256, mayo 2020. [Fecha de consulta: 7 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620304947>

ISSN: 0959-6526.

IQBAL, Wasim [et al]. Assessment of wind energy potential for the production of renewable hydrogen in Sindh Province of Pakistan. *Processes* [en línea]. Vol. 7, n.º 4, abril 2019, [Fecha de consulta: 22 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85066492064&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0->

[85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef
e4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=34&citeCnt=36&searchTerm=](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619336066)

ISSN: 2227-9717.

ISHAQ, H. y DINCER, Ibrahim. A comparative evaluation of OTEC, solar and wind energy based systems for clean hydrogen production. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 246, febrero 2020. [Fecha de consulta: 5 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619336066>

ISSN: 0959-6526.

JADE, Lui [et al]. A critical review on the principles, applications, and challenges of waste-to-hydrogen technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Vol. 134, diciembre 2020. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120306535>

ISSN: 1364-0321.

JAHANGIRI, Mehdi [et al]. Techno-econo-environmental optimal operation of grid-wind-solar electricity generation with hydrogen storage system for domestic scale, case study in Chad. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 44, n,^a 54, noviembre 2019 [Fecha de consulta: 21 de abril de 2021].

Disponible en: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-
85073063949&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-
85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef
e4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=24&citeCnt=13&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85073063949&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef
e4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=24&citeCnt=13&searchTerm=)

ISSN: 3603-199.

JIMÉNEZ, Fredy. Evaluación Técnica Y Económica Del Uso De Hidrógeno Verde En Aplicaciones Para La Industria Y Desplazamiento De Combustible Fósil. Tesis (Ingeniero Civil Eléctrico), Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2020.

Disponible en:
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/175586/Evaluaci%C3%B3n-t%C3%A9cnica-y-econ%C3%B3mica-del-uso-de-hidr%C3%B3geno-verde-en-aplicaciones-para-la-industria.pdf?sequence=1>

JOVAN, David, DOLANC, Gregor y PREGELJ, Bostjan. Cogeneration of green hydrogen in a cascade hydropower plant. *Energy Conversion and Management: X* [en línea]. Vol. 10, junio 2021. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174521000064>

ISSN: 2590-1745.

KAKOULAKI, Georgia [et al]. Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management* [en línea]. Vol. 2020, octubre 2020 [Fecha de consulta: 24 de abril de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890420311766>

ISSN: 0196-8904.

KAMIL, Czelej [et al]. Sustainable hydrogen production by plasmonic thermophotocatalysis. *Catalysis Today* [en línea]. Vol. 380, noviembre 2021. [Fecha de consulta: 28 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920586121000808>

ISSN: 0920-5861.

KANNAH, Yukesh [et al]. Techno-economic assessment of various hydrogen production methods – A review. *Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 319, enero 2021. [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852420314498>

ISSN: 0960-8524.

KODA, Monzure [et al]. Green hydrogen for industrial sector decarbonization: Costs and impacts on hydrogen economy in qatar. *Computers & Chemical Engineering* [en línea]. Vol. 145, febrero, 2021 [Fecha de consulta: 16 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S009813542030836X>

ISSN: 0098-1354.

LIU, Jingyi [et al]. Managerial policy and economic analysis of wind-generated renewable hydrogen for light-duty vehicles: Green solution of energy crises. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. Vol. 28, n,^a 9, marzo 2021 [Fecha de consulta: 19 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=citedby&eid=2-s2.0-85093949195&citeCnt=42&noHighlight=false&sort=plf-f&src=s&sid=edf94a598a6f37289db07bfd75239737&sot=b&sdt=b&sl=52&s=TITLE-ABS-KEY%28green+hydrogen+energy+vector+a+review%29&relpos=1> ISSN: 9441-344.

LIU, Wei [et al]. Overview of Biomass Conversion to Electricity and Hydrogen and Recent Developments in Low-Temperature Electrochemical Approaches. *Engineering* [en línea]. Vol. 6, n,^a 12, noviembre 2020. [Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809920303039>

ISSN: 2095-8099.

MAHMOUD, Montaser [et al]. A review of geothermal energy-driven hydrogen production systems. *Thermal Science and Engineering Progress* [en línea]. Vol. 22, mayo 2021. [Fecha de consulta: 14 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904921000160>

ISSN: 2451-9049.

MCDONAGH, Shane [et al]. Hydrogen from offshore wind: Investor perspective on the profitability of a hybrid system including for curtailment. *Applied Energy* [en línea]. Vol. 265, mayo 2020. [Fecha de consulta: 5 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920302440>

ISSN: 0306-2619.

MEHJERDI, Hasan y HEMMATI, Reza. Wind-hydrogen storage in distribution network expansion planning considering investment deferral and uncertainty. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* [en línea]. Vol. 39, junio 2020. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138820301624>

ISSN: 2213-1388.

MIKOVITS, Christian [et al]. Stronger together: Multi-annual variability of hydrogen production supported by wind power in Sweden. *Applied Energy* [en línea]. Vol. 282, enero 2021. [Fecha de consulta: 12 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920315087>

ISSN: 0306-2619.

MILANI, Dia, KIANI, Ali y MCNAUGHTON, Robbie. Renewable-powered hydrogen economy from Australia's perspective. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 45, n.^a 46, 21 septiembre 2020 [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85089248763&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9efe4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=11&citeCnt=6&searchTerm=>

ISSN: 3603-199.

MORALES, Alejandra [et al]. Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedor en la transición energética de México. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* [en línea]. Vol. 25, n.^a 70, enero-abril, 2017. [Fecha de consulta: 19 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/674/67451351012.pdf>

ISSN: 1657-6527.

MUHAMMAD, Ahmad, MOHD, Ali Y NASRUDIN, Rahim. Hydrogen energy vision 2060: Hydrogen as energy Carrier in Malaysian primary energy mix – Developing P2G case. *Energy Strategy Reviews* [en línea]. Vol. 35, mayo 2021. [Fecha de consulta: 10 de agosto de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21000183>

ISSN: 2211-467X.

MUHAMMED, Aydin [et al]. A comparative review on clean hydrogen production from wastewaters. *Journal of Environmental Management* [en línea]. Vol. 279, febrero 2020. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720317187>

ISSN: 0301-4797.

NICITA, A. [et al]. Green hydrogen as feedstock: Financial analysis of a photovoltaic-powered electrolysis plant. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 45, n.^a 20, abril 2020 [Fecha de consulta: 29 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036031992030625X> ISSN: 0360-3199.

NIKOLAIDIS, Pavlos y POULLIKKAS, Andreas. A comparative overview of hydrogen production processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]. Vol. 67, enero 2017. [Fecha de consulta: 18 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116305366>

ISSN: 1364-0321.

PAREEK, Alka [et al]. Insights into renewable hydrogen energy: Recent advances and prospects. *Materials Science for Energy Technologies* [en línea]. Vol. 3, 2020. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258929912030001X>

ISSN: 2589-2991.

PASQUALE, Marcello, HIETE, Michael y SAPIO, Alessandro. Hydrogen economy and Sustainable Development Goals (SDGs): Review and policy insights. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* [en línea]. Marzo – abril, 2021. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452223621000626>

ISSN: 2452-2236.

PURANJAN, Mishra [et al]. Outlook of fermentative hydrogen production techniques: An overview of dark, photo and integrated dark-photo fermentative approach to biomass. *Energy Strategy Reviews* [en línea]. Vol. 24, abril 2019. [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X1930001X>

ISSN: 2211-467X.

RABIEE, Abbas, KEANE, Andrew y SOROUDI, Alireza. Technical barriers for harnessing the green hydrogen: A power system perspective. *Renewable Energy* [en línea]. Vol. 163, enero, 2021 [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148120316177> ISSN:
0960-1481.

RABIEE, Abbas, KEANE, Andrew y SOROUDI, Alireza. Green hydrogen: A new flexibility source for security constrained scheduling of power systems with renewable energies. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 46, n.º 37, mayo 2021. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921009915>
ISSN: 0360-3199.

RAHMOUNI, Soumia [et al]. A technical, economic and environmental análisis of combining geothermal energy with carbon sequestration for hydrogen production. *Energy Procedia* [en línea]. Vol. 50, 2014. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214007681>
ISSN: 1876-6102.

RAZI, Faran y DINCER, Ibrahim. A critical evaluation of potential routes of solar hydrogen production for sustainable development. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 264, agosto 2020. [Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620316292>
ISSN: 0959-6526.

REZAEI, Mostafa [et al]. Energy supply for water electrolysis systems using wind and solar energy to produce hydrogen: a case study of Iran. *Frontiers in Energy* [en línea]. Vol.13, n,^a 3, septiembre 2019 [Fecha de consulta: 27 de abril de 2021].

Disponible

en:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85068818437&citeCnt=36&noHighlight=false&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=1>

ISSN: 2095-1701.

REZAEI, Mostafa [et al]. Wind and solar energy utilization for seawater desalination and hydrogen production in the coastal areas of southern Iran. *Journal of Engineering, Design and Technology* [en línea]. Vol. 18, n,^a 6, mayo 2020 [Fecha de consulta: 14 de abril de 2021].

Disponible

en:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85085129126&citeCnt=36&noHighlight=false&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=1>

ISSN: 1726-0531.

REZAEI, Mostafa, MOSTAFAEIPOUR, Ali y JAHANGIRI; Mehdi. Economic assessment of hydrogen production from sea water using wind energy: A case study. *Wind Engineering* [en línea]. agosto, 2020 [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021].

Disponible

en:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85089004088&citeCnt=36&noHighlight=false&sort=plf-f&cite=2-s2.0->

[85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef e4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=0](https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=citedby&eid=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef e4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=0)

ISSN: 0309-524X.

REZAEI, Mostafa, KHALILPOUR, Kaveh y JAHANGIRI, Mehdi. Multi-criteria location identification for wind/solar based hydrogen generation: The case of capital cities of a developing country. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 45, n.º 58, noviembre, 2020 [Fecha de consulta: 17 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=citedby&eid=2-s2.0-85092667632&citeCnt=36&noHighlight=false&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef e4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=0>

ISSN: 3603-199.

SAEEDMANESH, Alireza, MAC KINNON, Michael y BROUWER, Jacob. Hydrogen is essential for sustainability. *Current Opinion in Electrochemistry* [en línea]. Vol. 12, diciembre 2018 [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85057368991&origin=resultlist&sort=r-f&src=s&mltEid=2-s2.0-85066492064&mltType=ref&mltAll=t&imp=t&sid=9e15a6d691c22ab0f709740582ebf1ca&sot=mlt&sdt=mlt&sessionSearchId=9e15a6d691c22ab0f709740582ebf1ca&relpos=60&citeCnt=23>

ISSN: 2451-9103.

SÁNCHEZ, Katherine. Energía Renovable: Hidrógeno como Vector Energético. *Especialización en Gerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible Empresarial* [en línea]. 2019 [Fecha de consulta: 12 de abril de 2021].

Disponible en: https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/681/ENERGIA%20RENOVABLE_HIDR%C3%93GENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SAPOUNTZI, Foteini [et al]. Electrocatalysts for the generation of hydrogen, oxygen and synthesis gas. *Progress in Energy and Combustion Science* [en línea]. Vol. 58, enero 2017. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128516300260>

ISSN: 0360-1285.

SAZALI, Norazlianie. Emerging technologies by hydrogen: A review. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 45, n,^a 38, julio 2020 [Fecha de consulta: 14 de abril de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920317493> ISSN:

0360-3199.

SGOBBI, Alessandra [et al]. How far away is hydrogen? Its role in the medium and long-term decarbonisation of the European energy system. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 41, enero 2016. [Fecha de consulta: 14 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319915301889>

ISSN: 0360-3199.

SHIHONG, Cen [et al]. Solar energy-based hydrogen production and post-firing in a biomass fueled gas turbine for power generation enhancement and carbon dioxide emission reduction. *Energy Conversion and Management* [en línea]. Vol. 233, abril 2021. [Fecha de consulta: 22 de septiembre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890421001175>

ISSN: 0196-8904.

SINIGAGLIA, Tiago [et al]. Production, storage, fuel stations of hydrogen and its utilization in automotive applications-a review. *International Journal of Hydrogen*

Energy [en línea]. Vol. 42, n,^a 39, septiembre 2017 [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?origin=recordpage&zone=relatedDocuments&eid=2-s2.0-85029665107&citeCnt=21&noHighlight=false&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=2>

ISSN: 3603-199.

SUI, Jiyuan [et al]. Efficient hydrogen production from solar energy and fossil fuel via water electrolysis and methane-steam-reforming hybridization. *Applied Energy* [en línea]. Vol. 276, octubre 2020. [Fecha de consulta: 30 de septiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920309211>

ISSN: 0306-2619.

SUMAN, Siddharth. Hybrid nuclear-renewable energy systems: A review. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 181, abril 2018. [Fecha de consulta: 14 de agosto de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618302993>

ISSN: 0959-6526.

TENHUMBERG, Nils y BÜKER, Karsten. Ecological and Economic Evaluation of Hydrogen Production by Different Water Electrolysis Technologies. *Chemie-Ingenieur-Technik* [en línea]. Vol. 92, n,^o 10, octubre 2020 [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85089403929&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=455265490d2f138d2576bb60451560bc&sot=b&sdt=>

[cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct&sl=19&s=KEY%28green+hydrogen%29&relpos=123&citeCnt=0&searchTerm=](#)

ISSN: 0009-286X.

TORBJORN, Eriksen, HAJIZADEH, Amin y SARTORI, Sabrina. Hydrogen-based systems for integration of renewable energy in power systems: Achievements and perspectives. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 46, n,^a 63, septiembre 2021. [Fecha de consulta: 30 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921025064>

ISSN: 0360-3199.

UJWAL, Zore [et al]. A review on recent advances in hydrogen energy, fuel cell, biofuel and fuel refining via ultrasound process intensification. *Ultrasonics Sonochemistry* [en línea]. Vol. 73, mayo 2021. [Fecha de consulta: 28 de agosto de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135041772100078X>

ISSN: 1350-4177.

USTOLIN, Federico, PALTRINIERI, Nicola y BERTO, Filippo. Loss of integrity of hydrogen technologies: A critical review. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea]. Vol. 45, n,^a 43, septiembre 2020 [Fecha de consulta: 14 de abril de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319920321583>

ISSN: 0360-3199.

VIDAL, Edgar y FONTALVO, Carlos. Alternativa para la generación de gas natural sintético a partir de una fuente de energía renovable mediante tecnología “Power to Gas” en Colombia. *Revista Fuentes: El Reventón Energético* [en línea]. Vol. 16, n,^o. 1, 2018 [Fecha de consulta: 18 de abril de 2021].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6601402>

ISSN: 2451-9103.

WANG, Mengjiao [et al]. Review of renewable energy-based hydrogen production processes for sustainable energy innovation. *Global Energy Interconnection* [en línea]. Vol. 2, n.^a 5, octubre 2019. [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096511719301100>

ISSN: 2096-5117.

WANG, Zhanlei, ZHANG, Xiaoqiang y REZAZADEH, Ali. Hydrogen fuel and electricity generation from a new hybrid energy system based on wind and solar energies and alkaline fuel cell. *Energy Reports* [en línea]. Vol. 7, noviembre 2021. [Fecha de consulta: 14 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721002821>

ISSN: 2352-4847.

WEIMANN, Lukas [et al]. Optimal hydrogen production in a wind-dominated zero-emission energy system. *Advances in Applied Energy* [en línea]. Vol. 3, agosto 2021. [Fecha de consulta: 14 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792421000251>

ISSN: 2666-7924.

XU, Li [et al]. Evaluating renewable energy sources for implementing the hydrogen economy in Pakistan: a two-stage fuzzy MCDM approach. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. Vol. 26, n.^a 32, noviembre 2019 [Fecha de consulta: 21 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85073957260&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0->

[85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=25&citeCnt=10&searchTerm=](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=25&citeCnt=10&searchTerm=)

ISSN: 9441-344.

XU, Li [et al]. Economic viability and environmental efficiency analysis of hydrogen production processes for the decarbonization of energy systems. *Processes* [en línea]. Vol. 7, n,^a 494, agosto 2019 . [Fecha de consulta: 20 de abril de 2021].

Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85073977106&origin=resultlist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-85042415448&src=s&nlo=&nlr=&nls=&imp=t&sid=67c51c7254a851f4c81c19ad9ef4d42&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=31&citeCnt=17&searchTerm=>

ISSN: 2227-9717.

YALLI, Renzo. Propuesta Metodológica para el Desarrollo del Aprendizaje Significativo de las Técnicas de Animación en los Estudiantes de Arte y Diseño Empresarial de la Usil. Tesis (Docencia en Educación Superior). Lima: Universidad de San Ignacio de Loyola, 2019.

Disponible en: http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/9433/1/2019_Yalli-Galvez.pdf

YÉPEZ, Juan [et al]. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología* [en línea]. Vol. 74, n,^a 9, septiembre 2021. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300893221002748>

ISSN: 0300-8932.

ZHANG, Bing [et al]. Progress and prospects of hydrogen production: Opportunities and challenges. *Journal of Electronic Science and Technology* [en línea]. Vol. 19, n,^a 2, junio 2021. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021].

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674862X2100001X>

ISSN: 1674-862X.

ZHANG, Jum, ZHENG, Jili y YANG, Wei. Green supercapacitor assisted photocatalytic fuel cell system for sustainable hydrogen production. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. Vol. 403, enero 2021 [Fecha de consulta: 17 de abril de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894720324967>

ISSN: 1385-8947.

ZHOU, Jianli [et al]. Proposal and comprehensive analysis of gas-wind-photovoltaichydrogen integrated energy system considering multi-participant interest preference. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Vol. 265, abril 2020. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2021].

Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620317261>

ISSN: 0959-6526.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de categorización apriorística.

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Determinar la sostenibilidad presente y futura que nos ofrece el hidrógeno, tomando en cuenta los acontecimientos más relevantes de la última década en el ámbito internacional.	Analizar los diferentes métodos de extracción de hidrógeno a partir de fuentes naturales y fósiles de la última década.	¿Qué tipo de métodos de extracción existen en la última década según la naturaleza de la fuente (Natural/fósil)?	Métodos de extracción de hidrogeno.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Métodos aplicados a fuentes Fósiles. ○ Métodos aplicados a fuentes naturales. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Artículos científicos/libros/tesis. ○ Artículos de prioridad Q1 -Q2 -Q3. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Boletines, foros, conferencias, blogs, etc. ○ Artículos Q4.
	Comparar la eficiencia y costos de producción de los métodos de extracción de hidrógeno a partir de fuentes naturales (agua/biomasa) más relevantes en la última década.	¿Cuál es el método de producción de hidrogeno más relevante y eficiente para su aplicación en la última década?	Métodos de producción de hidrógeno aplicados a fuentes naturales	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ventajas. ○ Desventajas. ○ Eficiencias. ○ Costos de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Artículos de Revistas Indexadas. ○ Aportes importantes 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Artículos de revistas no Indexadas. ○ Aportes no necesarios

	<p>Evaluar la Producción de hidrógeno a partir de fuentes energéticas renovables en la última década.</p>	<p>¿Cuál es la importancia de la producción de hidrogeno a partir de fuentes energéticas renovables?</p>	<p>Viabilidad/sostenibilidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hidrógeno vs F.E.R. ○ Costes/beneficios. ○ Impacto ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Artículos de los últimos 7 años. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Artículos publicados antes del 2014.
	<p>Fundamentar la sostenibilidad presente y futura que nos ofrece el hidrógeno, tomando en cuenta los acontecimientos más relevantes de la última década en el ámbito internacional.</p>	<p>¿Será el hidrógeno sostenible a mediano y largo plazo?</p>	<p>Disponibilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Avances tecnológicos ○ Teorías. ○ Impacto ambiental. 		

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Instrumento de registro de datos.

FICHA DE REGISTRO DE DATOS			
PALABRA CLAVE		IDIOMA	
PLATAFORMA DE BUSQUEDA			
LINK DE ACCESO			

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Instrumento de recolección de datos.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
PLATAFORMA DE BUSQUEDA	
LINK DE ACCESO	
OBJETIVOS	
CONCLUSIONES	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. Instrumento de análisis de contenido (ficha matriz).

CODIGO	FUENTE	AUTORES	AÑO	TITULO	IDIOMA	TIPO	NOMBRE	CUARTIL	ISSN	VOL. Nº	FECHA DE PUBLICACIÓN	FECHA DE CONSULTA
DOC-001	Sciencedirect	ABAD, Anthony y DODDS, Paul.	2020	Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges.	Ingles	Revista	Energy Policy	Q1	0301-4215.	Vol. 138, marzo.	2020	12 de abril de 2021
DOC-002	Sciencedirect	ABUL, Azam y DINCER, Ibrahim.	2019	Sustainability assessment of energy systems: A novel integrated model.	Ingles	Revista	Journal of Cleaner Production	Q1	0959-6526.	Vol. 212, marzo 2019	2019	30 de septiembre de 2021
DOC-003	Scopus	ACAR, Canan y DINCER, Ibrahim	2019	Review and evaluation of hydrogen production options for better environment.	Ingles	Revista	Journal of Cleaner Production	Q1	0959-6526.	Vol. 218, mayo 2019	2019	15 de abril de 2021
DOC-004	Scopus	Muhammad, Ahmed, Mehdi, Ali y RAHIM Na	2023	Hydrogen energy vision OKK: Hydrogen as energy carrier in Malaysian primary energy mix – Developing P2G case.	Ingles	Revista	Energy Strategy Reviews	Q1	2211-467x	Vol. 25, n.º 110049, mayo 2021	2021	15 de abril de 2021
DOC-005	Sciencedirect	ALMUTAIRI, Khalid, et al.	2023	Technical, economic, carbon footprint assessment, and prioritizing strategies for hydrogen production using wind energy: A case study.	Ingles	Revista	Energy Strategy Reviews	Q1	2211-467x.	Vol. 36, julio 2021	2021	6 de octubre de 2021
DOC-006	Sciencedirect	ALLAHWIRZADEH, Payam.	2020	A review on geothermal wells: Well integrity issues.	Ingles	Revista	Journal of Cleaner Production	Q1	0959-6526.	Vol. 275, 2020	2020	12 de octubre de 2021
DOC-007	Sciencedirect	ARNOLD, Julien y PHILBERT, Cedric.	2020	Storable production of green hydrogen and ammonia from variable solar and wind energy: Case study of Chile and Argentina.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 45, n.º 8, enero 2020	2020	12 de abril de 2021
DOC-008	Scopus	AYODELE, Temitope y MUNDU, Josiah.	2019	Potential and economic viability of green hydrogen production by water electrolysis using wind energy resources in South Africa.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	3603-199.	Vol. 44, n.º 33, julio 2019	2019	25 de abril de 2021
DOC-009	Sciencedirect	BAWKARA, Serma.	2018	Hydrogen: A brief overview on its sources, production and environmental impact.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 43, n.º 23, junio 2018	2018	11 de abril de 2021
DOC-010	Repositorio	CARENAS, Luis	2018	Aspectos en la Selección de Proveedores Marítimos en las Importaciones de la Empresa Peru Lima Logística, 2018	Español	Teis	Universidad Cesar Vallejo	Q1	0360-3199.	Vol. 46, n.º 57, agosto 2021	2021	14 de abril de 2021
DOC-011	Sciencedirect	CHANDRASEKAR, Aruna, FLYNN, Damian y SYRON, Eoin.	2020	Operational challenges for low and high temperature electrolyzers exploiting curtailed wind energy for hydrogen production.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 46, n.º 57, agosto 2021	2021	22 de septiembre de 2021
DOC-012	Repositorio	CHIGUALA, Miguel y VEGA, Charlotte.	2020	Revisión sistemática de los métodos de aprovechamiento aplicados en el subproducto piel y escamas del pescado.	Español	Teis	Universidad Cesar Vallejo	-	-	-	-	14 de abril de 2021
DOC-013	Sciencedirect	CLÖTTE, Schalk, RÜHMAL, Oliver y THORN, Bloun.	2023	On capital utilization in the hydrogen economy: The quest to minimize idle capacity in renewables rich energy systems.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 46, enero 2021	2021	21 de agosto de 2021
DOC-014	Sciencedirect	DARAI, Maha, CAMPANA, Pietro y THORN, Eva.	2020	A review on hydrogen storage integrated with redox/photolytic systems and combined heat and power plants.	Ingles	Revista	Applied Energy	Q1	0306-2619.	Vol. 270, octubre 2020	2020	16 de octubre de 2021
DOC-015	Sciencedirect	DEPERRE, Mathieu, et al.	2023	Assessing the environmental impacts of wind-based hydrogen production in the Netherlands using ex-ante LCA and scenarios analysis.	Ingles	Revista	Journal of Cleaner Production	Q1	0959-6526.	Vol. 299, mayo 2021	2021	22 de septiembre de 2021
DOC-016	Sciencedirect	DICLE, Celik y MELTEM, Yildiz.	2021	Investigation of hydrogen production methods in accordance with green chemistry principles.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 42, n.º 36, marzo 2017	2017	15 de abril de 2021
DOC-017	Sciencedirect	DINA, Yan, et al.	2022	Development of a viability assessment model for hydrogen production from dedicated offshore wind farms.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 46, n.º 48, julio 2021	2021	10 de octubre de 2021
DOC-018	Sciencedirect	DOLAL, Mohamed y SETTOU, Nouredine.	2019	Estimation of hydrogen production using wind energy in Algeria.	Ingles	Revista	Energy Procedia	-	1876-6102.	Vol. 78, agosto 2019	2019	30 de septiembre de 2021
DOC-019	Sciencedirect	DURKOVI, Martin, HMAT, Jaromir y BOUZEK, Karel.	2021	Electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction in alkaline and neutral media: A comparative review.	Ingles	Revista	Journal of Power Sources	Q1	0378-7733.	Vol. 493, mayo 2021	2021	30 de agosto de 2021
DOC-020	Scopus	DUTTA, Suman.	2014	A review on production, storage of hydrogen and its utilization as an energy resource.	Ingles	Revista	Journal of Materials and Engineering Chemistry	Q1	1226-0808.	Vol. 20, n.º 4, julio 2014	2014	30 de agosto de 2021
DOC-021	Scopus	FKAM, Bami y OZZAN, Hasan.	2019	Comprehensive review on the techno-economic of sustainable scale clean hydrogen production.	Ingles	Revista	Journal of Cleaner Production	Q1	0959-6526.	Vol. 220, n.º 20, mayo 2019	2019	22 de septiembre de 2021
DOC-022	Libro	FUNEZ, Dres y REYES, Lorenzo.	2018	El hidrógeno como vector energético pieza clave en la descarbonización de la economía Chilena	Español	Libro	-	-	956-8454-4	1.a ed. Chile., 2019	2019	20 de abril de 2021
DOC-023	Sciencedirect	GALLARDO, Felipe, et al.	2021	A Techno-Economic Analysis of solar hydrogen production by electrolysis in the north of Chile and the case of exportation from Atacama Desert to Japan.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 46, n.º 76, abril 2021	2021	10 de octubre de 2021
DOC-024	Scopus	GHANMI, Mehrez, et al.	2019	Geothermal energy use in hydrogen production: A review.	Ingles	Revista	International Journal of Energy Research	Q1	0883-907X.	Vol. 43, n.º 14, noviembre 2019	2019	14 de abril de 2021
DOC-025	Dialnet	GIMÉNEZ, Juan	2019	La hora del hidrógeno verde.	Español	Revista en línea	Gas Actual	-	9950-0802.	n.º 153, octubre-diciembre, 2019	2019	17 de abril de 2021
DOC-026	Dialnet	GIMÉNEZ, Juan	2019	Europa coloca el hidrógeno en el eje de una "recuperación verde"	Español	Revista en línea	Gas Actual	-	9950-0802.	n.º 156, julio-septiembre 2020	2020	19 de abril de 2021
DOC-027	Dialnet	GIMÉNEZ, Juan	2019	La hoja de ruta que impulsará el hidrógeno renovable en España.	Español	Revista en línea	Gas Actual	-	9950-0802.	n.º 157, octubre-diciembre, 2020	2020	12 de abril de 2021
DOC-028	Scopus	GONZALEZ, Juan	2019	Sector gasista impulsa una recuperación "verde"	Español	Revista en línea	Gas Actual	-	9950-0802.	n.º 155, abril-junio, 2020	2020	20 de abril de 2021
DOC-029	Scopus	GONDAL, Irfan, MASOOD, Syed y KHAN, Rafiqullah.	2019	Green hydrogen production potential for developing a hydrogen economy in Pakistan.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	3603-199.	Vol. 43, n.º 12, marzo 2018	2018	30 de abril de 2021
DOC-030	Sciencedirect	GRIMM, Alexa, JONG, Wouter y KRAMER, Gert.	2020	Renewable hydrogen production: A techno-economic comparison of photoelectrochemical cells and 62 photoelectrolysis.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 45, n.º 43, septiembre 2020	2020	20 de agosto de 2021
DOC-031	Sciencedirect	HERNANDEZ, SARA, SANCHEZ, Mendi.	2021	Evaluation of a combined hydrogen system: electrolysis and hydrogen with energy storage option.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 45, n.º 42, agosto 2020	2020	14 de octubre de 2021
DOC-032	Scopus	HERNANDEZ, Lin, et al.	2023	Techno-economic and environmental assessment of energy vectors in decarbonization of energy islands.	Ingles	Revista	Energy Conversion and Management	Q1	1969-904.	Vol. 236, n.º 114064, mayo 2021	2021	19 de abril de 2021
DOC-033	Libro	HERNANDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, María.	2014	Metodología de la investigación.	Español	Libro	-	-	114562-2386	6.ª ed. México: Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2014	2014	22 de abril de 2021
DOC-034	Sciencedirect	HERNANDEZ, Sebastian, PÁGINO, Johannes y STRELLING, Christoph.	2021	Sector coupling potential of wind-based hydrogen production and fuel cell train operation in regional rail transport in Berlin and Brandenburg.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 46, n.º 57, agosto 2021	2021	6 de octubre de 2021
DOC-035	Sciencedirect	HUANG, Yuhong et al.	2020	Efficiency evaluation of a sustainable hydrogen production scheme based on the SPM model.	Ingles	Revista	Journal of Cleaner Production	Q1	0959-6526.	Vol. 246, mayo 2020	2020	16 de octubre de 2021
DOC-036	Sciencedirect	IGBAL, Wasim, et al.	2020	Assessment of wind energy potential for the production of renewable hydrogen in Sindh Province of Pakistan.	Ingles	Revista	Processes	Q2	2227-9717.	Vol. 7, n.º 4, abril 2019	2019	22 de abril de 2021
DOC-037	Sciencedirect	ISHAO, H. y DINCER, Ibrahim.	2020	A comparative evaluation of OTEC, solar and wind energy based systems for clean hydrogen production.	Ingles	Revista	Journal of Cleaner Production	Q1	0959-6526.	Vol. 246, febrero 2020	2020	5 de octubre de 2021
DOC-038	Sciencedirect	JACI, A. et al.	2020	A critical review on the progress, applications and Sustainable Energy Reviews.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 45, n.º 42, agosto 2020	2020	14 de octubre de 2021
DOC-039	Scopus	JAHANGIRI, Mehdi, et al.	2019	Techno-economic environmental optimal operation of grid wind-solar electricity generation with hydrogen storage system for domestic scale, case study in Chad.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	3603-199.	Vol. 44, n.º 14, noviembre 2019	2019	21 de abril de 2021
DOC-040	Repositorio	JARIM, Fredy.	2020	Evaluación Técnica y Económica Del Uso De Hidrógeno Verde En Aplicaciones Para La Industria Y Desplazamiento De Combustible Fósil.	Español	Teis	Universidad de Chile	-	-	-	-	8 de octubre de 2021
DOC-041	Sciencedirect	JONAK, David, JOLIANC, Grzegorz y PREGUL, Bożena.	2021	Generalized use of green hydrogen in a cascade hydrogen power plant.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	2500-1248.	Vol. 46, n.º 8, junio 2021	2021	15 de octubre de 2021
DOC-042	Sciencedirect	KADOLAKI, Georgia, et al.	2020	Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables.	Ingles	Revista	Energy Conversion and Management	Q1	0196-8904.	Vol. 2020, octubre 2020	2020	24 de abril de 2021
DOC-043	Sciencedirect	KAMIL, Cezayir, et al.	2023	Sustainable hydrogen production by plasmonic thermophotocatalysis.	Ingles	Revista	Catalysis Today	Q1	0920-5861.	Vol. 380, noviembre 2021	2021	28 de agosto de 2021
DOC-044	Sciencedirect	KANNAN, Yusef, et al.	2021	Techno-economic assessment of various hydrogen production methods – A review.	Ingles	Revista	Bioresour Technology	Q1	0960-8524.	Vol. 310, enero 2021	2021	30 de agosto de 2021
DOC-045	Sciencedirect	KOBA, Motomu, et al.	2021	Hydrogen for industrial sector decarbonization: Costs and impacts on hydrogen economy in Qatar.	Ingles	Revista	Computers & Chemical Engineering	Q1	0099-1354.	Vol. 145, febrero 2021	2021	19 de abril de 2021
DOC-046	Scopus	LIU, Jingyi, et al.	2021	Managerial policy and economic analysis of wind generated renewable hydrogen for light-duty vehicles: Green solution of energy crises.	Ingles	Revista	Environmental Science and Pollution Research	Q2	1441-344.	Vol. 28, n.º 9, marzo 2021	2021	19 de abril de 2021
DOC-047	Sciencedirect	LIU, Wei, et al.	2020	Overview of Biomass Conversion to Electricity and Hydrogen and Recent Developments in Low-Temperature Electrochemical Approaches.	Ingles	Revista	Applied Energy	Q2	2095-8099.	Vol. 6, n.º 12, noviembre 2020	2020	28 de septiembre de 2021
DOC-048	Sciencedirect	MAHMUD, Mostafa, et al.	2021	A review of geothermal energy driven hydrogen production systems.	Ingles	Revista	Thermal Science and Engineering Progress	Q1	2454-9098.	Vol. 23, mayo 2020	2020	5 de octubre de 2021
DOC-049	Sciencedirect	MC DONAGH, Shane, et al.	2020	Hydrogen from offshore wind: Investor perspective on the profitability of a hybrid system including for curtailment.	Ingles	Revista	Applied Energy	Q1	0306-2619.	Vol. 264, agosto 2020	2020	10 de septiembre de 2021
DOC-050	Sciencedirect	METHERI, Hassan y HEMATI, Reza.	2020	Wind-hydrogen fusion in distribution network expansion planning considering investment deferral and uncertainty.	Ingles	Revista	Sustainable Energy Technologies and Assessments	Q1	2213-1388.	Vol. 39, junio 2020	2020	16 de octubre de 2021
DOC-051	Sciencedirect	MONTYIS, Christian, et al.	2022	Stronger together: Multi-annual variability of hydrogen production supported by wind power in Sweden.	Ingles	Revista	Applied Energy	Q1	0306-2619.	Vol. 282, enero 2021	2021	12 de octubre de 2021
DOC-052	Scopus	MILANI, Dia, KHAN, Ali y MC NAUGHTON, Robbie.	2020	Renewable powered hydrogen economy from Australia's perspective.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	3603-199.	Vol. 45, n.º 46, 21 septiembre 2020	2020	12 de abril de 2021
DOC-053	Redalyc	MORALES, Alejandra, et al.	2021	Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedora en la transición energética de México.	Español	Revista en línea	Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal	-	1651-6527.	Vol. 25, n.º 70, enero abril 2017	2017	19 de octubre de 2021
DOC-054	Sciencedirect	MUHAMMAD, Aydin, et al.	2020	A comparative review on clean hydrogen production from wastewaters.	Ingles	Revista	Journal of Environmental Management	Q1	0304-4777.	Vol. 270, febrero 2020	2020	16 de octubre de 2021
DOC-055	Sciencedirect	NICITA, A., et al.	2020	Green hydrogen as feedstock: Financial analysis of a photovoltaic-powered electrolysis plant.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 45, n.º 42, agosto 2020	2020	20 de abril de 2021
DOC-056	Sciencedirect	NIKOLAIDIS, Pavlos y POLILIKAS, Andreas.	2017	A comparative overview of hydrogen production processes.	Ingles	Revista	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Q1	1364-0111.	Vol. 67, enero 2017	2017	30 de agosto de 2021
DOC-057	Sciencedirect	PAREEK, Alka, et al.	2020	Insights into renewable hydrogen energy: Recent advances and prospects.	Ingles	Revista	Materials Science for Energy Technologies	-	2589-2991.	Vol. 3, marzo 2020	2020	10 de octubre de 2021
DOC-058	Sciencedirect	PASQUALE, Marcello, HITE, Michele y SAPO, Alessandro.	2022	Hydrogen economy and Sustainable Development Goals (SDG): Review and policy insights.	Ingles	Revista	Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry	Q1	2452-2236.	Mayo – abril, 2021	2021	25 de abril de 2021
DOC-059	Sciencedirect	PURANAN, Mishra, et al.	2019	Outlook of fermentative hydrogen production techniques: An overview of dark, photo and integrated dark-photo fermentative approach to biomass.	Ingles	Revista	Energy Strategy Reviews	Q1	2211-467x.	Vol. 24, abril 2019	2019	22 de agosto de 2021
DOC-060	Sciencedirect	RABIEE, Abbas, KEANE, Andrew y SOROUDI, Alireza.	2023	Technical barriers for harnessing the green hydrogen: A power system perspective.	Ingles	Revista	Renewable Energy	Q1	0960-1481.	Vol. 161, enero, 2021	2021	10 de mayo de 2021
DOC-061	Sciencedirect	RABIEE, Abbas, KEANE, Andrew y SOROUDI, Alireza.	2023	Green hydrogen: A new flexibility source for security constrained scheduling of power systems with 70 renewable energies.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 46, n.º 47, mayo 2021	2021	10 de septiembre de 2021
DOC-062	Sciencedirect	RAMMO, Liina, et al.	2014	A technical, economic and environmental analysis of combining geothermal energy with carbon sequestration for hydrogen production.	Ingles	Revista	Energy Procedia	Q1	1876-6102.	Vol. 50, 2014	2014	10 de octubre de 2021
DOC-063	Sciencedirect	RAZI, Faran y DINCER, Ibrahim.	2020	A critical evaluation of potential roles of solar hydrogen production for sustainable development.	Ingles	Revista	Journal of Cleaner Production	Q1	0959-6526.	Vol. 264, agosto 2020	2020	28 de septiembre de 2021
DOC-064	Scopus	REZAEI, Mostafa, et al.	2019	Energy supply for water electrolysis systems using wind and solar energy to produce hydrogen: a case study of Iran.	Ingles	Revista	Frontiers in Energy	Q2	2095-1701.	Vol. 13, n.º 3, septiembre 2019	2019	27 de abril de 2021
DOC-065	Scopus	REZAEI, Mostafa, MOUSTAFAEIPOUR, Ali y JAHANGIRI, Mehdi.	2020	Wind and solar energy utilization for seawater desalination and hydrogen production in the coastal areas of southern Iran.	Ingles	Revista	Journal of Engineering, Design and Technology	Q1	1728-0531.	Vol. 18, n.º 8, mayo 2020	2020	14 de abril de 2021
DOC-066	Scopus	REZAEI, Mostafa, MOUSTAFAEIPOUR, Ali y JAHANGIRI, Mehdi.	2020	Economic assessment of hydrogen production from sea water using wind energy: A case study.	Ingles	Revista	Wind Engineering	Q1	0309-2420.	agosto, 2020	2020	12 de abril de 2021
DOC-067	Scopus	REZAEI, Mostafa, KHALILOPOUR, Kaveh y JAHANGIRI, Mehdi.	2020	Multi-criteria location identification for wind/solar-based hydrogen generation: The case of capital cities of a developing country.	Ingles	Revista	International Journal of Hydrogen Energy	Q1	0360-3199.	Vol. 45, n.º 38, noviembre, 2020	2020	17 de abril de 2021
DOC-068	Scopus	SAIEDMANESH, Alireza, MAC KINNON, Michael y BROUWER, Jacob.	2019	Hydrogen is essential for sustainability.	Ingles	Revista	Current Opinion in Electrochemistry	Q1	2451-9103.	Vol. 12, diciembre 2019	2019	10 de mayo de 2021
DOC-069	Repositorio	SÁNCHEZ, Katherine.	2019	Energía Renovable: Hidrógeno como Vector Energético.	Español	Revista en línea	Especialización en Gerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible Empresarial	-	-	-	-	12 de abril de 2021
DOC-070	Sciencedirect	SAPOURTZI, Fotini, et al.	2017	Electrocatalysts for the generation of hydrogen, oxygen and synthesis gas.	Ingles	Revista	Progress in Energy and Combustion Science	Q1	0360-1285.	Vol. 58, enero 2017	2017	22 de septiembre de 2021
DOC-071	Sciencedirect	SAZALI, Norazlina.	2020	Emerging technologies by hydrogen: A review.	Ingles							