



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**Prospectivas del hidrógeno verde en la locomoción peruana,
enfoque de numes mediano y largo plazo**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Riojas Flores, Cristhyan Richy (orcid.org/0000-0002-4841-3280)

Pazos Holguin, Fernando Arturo (orcid.org/0000-0001-5234-2967)

ASESOR:

Mg. Salazar Mendoza, Aníbal Jesus (orcid.org/0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión y Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios por estar presente en cada momento especial de mi vida, a mi familia por ser mi fuente de energía para afrontar los retos.

A las personas que contribuyeron en mi formación profesional mediante el amor hacia mi trabajo y la ingeniería.

Riojas Flores, Cristhyan Richy.

Dedico a Dios por ser mi guía en el camino, a mi familia por ser el motor de la realización de mis sueños y por darme la oportunidad de ser un profesional con este proyecto y a todas aquellas personas que me acompañaron en la realización de este sueño.

Pazos Holguín, Fernando Arturo.

Agradecimiento

Gracias a dios por la vida y familia tan hermosa que me ha dado padre Fernando y mi madre Mirtha a mis hermanas Flor, Carla y Tania por su apoyo, en cada paso dado en este transcurso de mi vida, hago presente mi afecto hacia ustedes.

No es fácil el camino de la formación educativa por este motivo mi agradecimiento profundo a la universidad Cesar Vallejo, en especial a los docentes e ingenieros que aportan con sus conocimientos.

Pazos Holguín, Fernando Arturo.

Primero a Dios, porque siempre me acompaña en todo momento de mi vida, a mis Padres que me apoyaron para culminar el presente trabajo, mi abuela Julia Carrasco Tineo que desde el cielo bendice cada logro y meta obtenido; a mi esposa Yessica Ventura CH, con nuestra hija Janisa.

A la Universidad Cesar Vallejo (UCV), a todos mis docentes, por ayudarme siempre a dar lo mejor de mí. Y a la vez agradecer al Ingeniero Dr. Salazar Mendoza Aníbal Jesús por su asesoría.

Riojas Flores, Cristhyan Richy.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vi
Resumen.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población, muestra y muestreo.....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5. Procedimientos	13
3.6. Método de análisis de datos.....	13
3.7. Aspectos éticos	13
IV. RESULTADOS.....	15
V. DISCUSIONES	72
VI. CONCLUSIONES	76
VII. RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS	83

Índice de figuras

Figura 1. Demanda global de energía suministrada con hidrogeno PWH.....	16
Figura 2. Ruta para el aprovechamiento energético del H ₂	18
Figura 3. Costo de Producción de Hidrogeno (USD/Kg)	19
Figura 4. Barco Suizo Frontier para transporte exclusivo de H ₂	21
Figura 5. Etapas del proceso de reformado	24
Figura 6. Proceso de producción de hidrogeno con carbon	25
Figura 7. Producción de hidrogeno por electrolisis.....	25
Figura 8. Producción de hidrógeno por electrolisis.....	27
Figura 9. Proceso de fabricación de hidrogeno verde a partir del ERNC	28
Figura 10. Utilización del hidrogeno verde en locomoción terrestre	28
Figura 11. Comparación de costos y flexibilidad de operación.....	30
Figura 12. Procedencia de recurso según tupo hidrogeno verde y azul.....	31
Figura 13. Producción de hidrogeno verde	31
Figura 14. Esquema del Sistema de Electrolisis PEM.....	33
Figura 15. Esquema del funcionamiento de una célula de electrolisis alcalina	34
Figura 16. Funcionamiento de una Celda de Electrolisis de Oxido Solido	35
Figura 17. Métodos de Almacenamiento de Hidrogeno	37
Figura 18. Diagrama de Micro red con almacenamiento simple de Hidrogeno	38
Figura 19. Esquema de un sistema de Electrolisis tipo PEM	38
Figura 20. Capacidad de desalación mundial según método y energía	39
Figura 21. Capacidad de desalación mundial según método y energía	39
Figura 22. Diagrama esquemático de la Unidad MSF	40
Figura 23. Diagrama esquemático de la Unidad MED	41
Figura 24. Diagrama esquemático de las unidades VC (MVC y TVC)	42
Figura 25. Diagrama esquemático del Sistema.....	43
Figura 26. Esquema de Producción PV de H ₂ , con acoplamiento DC.....	46
Figura 27. Planta de Hidrogeno Verde	47
Figura 28. Hidrógeno Producido en forma Mensual	50
Figura 29. Tanques de baja Presión	52
Figura 30. Compresor de alta Presión.....	52
Figura 31. Evolución de la Matriz Energética en el Perú.....	55
Figura 32. Evolución de los precios de carbono durante crisis de EU 2008.....	56
Figura 33. La Era de los Energéticos Gaseosos	57
Figura 34. Comportamiento Promedio de la TIR de Proyectos Eólicos.....	60
Figura 35. Comportamiento del TIR de los proyectos Solares	61
Figura 36. Comparación del ciclo de Vida entre li S y las battery Packs de NCM	64
Figura 37. Índice SAIDI para varios países europeos	68
Figura 38. Valores Relativos de Viento y Agua típicos.....	69

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Propiedades fisicoquímicas del hidrógeno.</i>	9
Tabla 2. <i>Códigos de ética - UCV.</i>	14
Tabla 3. <i>Tecnologías de Producción de H₂ a partir de E.R.</i>	17
Tabla 4. <i>Métodos de almacenamiento de H₂</i>	17
Tabla 5. <i>Métodos de almacenamiento de H₂</i>	19
Tabla 6. <i>Estimación de costos para la producción de hidrogeno verde</i>	19
Tabla 7. <i>Prospectiva de generación renovable de República Dominicana</i>	20
Tabla 8. <i>Costo de flete en barco</i>	22
Tabla 9. <i>Estimación de costos de los procesos para producción.</i>	22
Tabla 10. <i>Dinamismo de países dentro de producción de hidrogeno verde</i>	29
Tabla 11. <i>Dinamismo de países dentro de producción de hidrogeno verde</i>	32
Tabla 12. <i>Principales fabricantes y rendimiento.</i>	36
Tabla 13. <i>Información Técnica del Electrolizador Seleccionado</i>	48
Tabla 14. <i>Información Técnica del Electrolizador Seleccionado</i>	49
Tabla 15. <i>Cantidad de Tanques a Baja Presión.</i>	51
Tabla 16. <i>Cantidad de Tanques a Baja Presión.</i>	51
Tabla 17. <i>Covarianza y Coeficiente de Correlación</i>	56
Tabla 18. <i>Costos de Inversión de ERNC</i>	57
Tabla 19. <i>Costos de Conexión de ERNC.</i>	58
Tabla 20. <i>Costos de Operación (CAPEX), de las ERNC</i>	58
Tabla 21. <i>Resumen de análisis de Rentabilidad de ERNC.</i>	59
Tabla 22. <i>Sub Tablero de Control de Criterios Ambientales</i>	62
Tabla 23. <i>Comparativa Cualitativa entre baterías de Li ion y Li S.</i>	63
Tabla 24. <i>Sub Tablero de Control Criterios de Planificación Energética.</i>	64
Tabla 25. <i>Tablero de Control Criterios de Visión Económica.</i>	69
Tabla 26. <i>Sub Tablero de Control Criterios de Visión Económica</i>	71
Tabla 27. <i>Tablero de Control Total Integrado</i>	71

Resumen

En este trabajo de investigación, se analiza la importancia del Hidrogeno verde en lo referente a su producción a partir de energías renovables no convencionales, su transporte por medio terrestre en camiones con gas comprimido o gas criogénico, o a través de gaseoductos emplazados a partir de la infraestructura del gas natural, para su almacenamiento utilizando tecnología de punto y para su exportación, desde la perspectiva que el Perú se convierta en un hub de exportación.

En cuanto a las tecnologías de producción estas cada vez tienen un menor costo operativo (OPEX) y un menor costo de inversión (CAPEX), gracias a la fuerte inversión que se realiza en post de su mejora tecnológica, se analiza los nuevos procedimientos tecnológicos, tales como Electrolisis con la metodología de la tecnología PEM (Con uso mínimo de Iridio y Escandio) , la tecnología de electrolisis con tecnología Alcalina, la cual se realiza con el uso de agua desalinizada, con la tecnología de óxido sólido para la electrolisis, se analizará toda la oferta actual analizando marcas, fabricantes, condiciones tecnológicas y comerciales de venta, métodos del almacenamiento y sobre todo criterios de interacción de oferta y demanda, análisis de tecnologías innovadoras de producción como las metodologías MSF, MED, MVC y TVC, se analizara un estudio estratégico de Fortalezas, debilidades , amenazas y oportunidades, en relación a la expansión de la red de trasmisión Peruana de 500 KV a 750 KV, el potencial de generación de ERNC en el Norte, Centro y Sur del País, las experiencias antiguas en Hidrolisis (Cachimayo – Valle sagrado de los Incas), bajo nivel de Capex disponible, inestabilidad económica del Perú, originada por la inestabilidad económica del Perú.

Por último, se armó un análisis integral tipo tablero de control, con criterios de calificación parciales e integrados de naturaleza y compromisos ambientales, Planificación de la Matriz energética peruana, Económica en cuanto a costos de generación, transporte y almacenamiento y la consideración del vector tecnológico del Hidrogeno Verde.

Palabras clave: Hidrógeno verde, generación, transporte, almacenamiento, tecnología.

Abstract

In this research work, we analyze the importance of green hydrogen in terms of its production from non-conventional renewable energies, its transport by land in trucks with compressed gas or cryogenic gas, or through pipelines located from the natural gas infrastructure, for storage using point technology and for export, from the perspective that Peru becomes an export hub.

As for the production technologies these increasingly have a lower operating cost (OPEX) and a lower investment cost (CAPEX) thanks to the strong investment that is made in post of its technological improvement, the new technological procedures are analyzed, such as Electrolysis with the methodology of the PEM Technology (with minimal use of Iridium and Scandium) electrolysis technology with Alkaline technology, which is made with the use of desalinated water, with solid oxide technology for electrolysis, all current supply will be analysed by analysing brands, manufacturers, technological and commercial conditions of sale, storage methods and above all criteria of interaction of supply and demand , analysis of innovative production technologies such as MSF, MED, MVC and TVC methodologies, will be analyzed a strategic study of Strengths, weaknesses, threats and opportunities, in relation to the expansion of the Peruvian transmission network from 500 KV to 750 KV, the generation potential of NERCs in the North, Central and South of the Country, the old experiences in Hydrolysis (Cachimayo - Sacred Valley of the Incas) low level of Capex available, economic instability of Peru, originated by the economic instability of Peru.

Finally, a comprehensive analysis was prepared such as a control panel, with partial and integrated criteria for qualification of environmental nature and environmental commitments, Planning of the Peruvian energy matrix, Economic in terms of generation costs, transport and storage and consideration of the technological vector of Green Hydrogen.

Keywords: Green hydrogen, generation, transport, storage, technology.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los problemas a nivel global que enfrenta el ser humano es la contaminación ambiental que viene afectando también a la fauna y flora, por ello es necesario adoptar decisiones estratégicas que busquen reducir las consecuencias de la actividad humana (Palacios y Moreno, (2022). Por ello, las Naciones Unidas (2020), sostiene que, el cambio climático es el mayor reto en esta era y se debe combatir mediante la adopción de un sistema energético con base en energía renovable que sea altamente eficaz, ya que el combustible fósil posee el 80% de la demanda actual de energía y es el responsable del 33% de emisiones globales de CO₂. Respecto a ello, existen diferentes salidas para combatir la contaminación ambiental, siendo una de las medidas las energías renovables como fuente de generación eléctrica. Así, por ejemplo, el hidrogeno verde es un vector energético producido mediante energías renovables con cero emisiones de agentes contaminantes, en consecuencia, contribuye en la descarbonización del planeta, siendo la forma de producción a través del electrolisis a partir del agua para la separación del oxígeno e hidrogeno (Repsol, 2020).

El futuro de la matriz energética es el hidrogeno verde, por ello en diferentes países se vienen implementando proyectos, siendo en la actualidad un total de 228 proyectos, de los cuales 126 son de Europa, 46 de Asia, 24 en Oceanía, 8 en África y 5 en Latinoamérica, pero es necesario el uso de energía renovable para su producción, algo que el Perú también cuenta a comparación de países de la región, a pesar de ello existen dos plantas de hidrogeno verde en el Perú que siguen operando desde 1965, sin embargo, ser un precursor y presentar un potencial no se encuentra dentro de los planes estratégicos del estado peruano hacia un futuro sostenible (Fernández, 2021).

La Asociación Peruana de Hidrógeno (2021) en su informe sostiene que, el Perú cuenta con abundantes recursos energéticos, como, por ejemplo, presenta un potencial hidroeléctrico 60,000 MW, potencial eólico de 22,432 MW, un potencial geotérmico superior a 3,000 MW y un potencial solar de 5.5 a 6.5 kW metro cuadrado en el sur peruano. Por lo expuesto, el sur y centro del país presenta un descomunal potencial energético en el que se podría instalar plantas productoras de hidrogeno verde para el abastecimiento interno y su exportación.

Como se ha mencionado, en el Perú se están realizando estudios para demostrar la viabilidad de producción de hidrogeno verde y el impacto de la transición energética, pues permite reducir los costos de la matriz energética, descarbonizar el consumo eléctrico de diferentes sectores y generar un valor agregado a la económica. En ese sentido, el presente estudio de investigación plantea evaluar mediante métodos empíricos y científicos la producción de hidrogeno verde para la industria locomotora peruana a mediano y largo plazo, dado que durante la revisión bibliográfica realizada no se encontró investigaciones sobre el tema.

Con lo expuesto, surge el siguiente problema general ¿Cuál es la prospectiva de hidrogeno verde en la locomoción peruana en un enfoque de numes mediano y largo plazo? Asimismo, se expone las preguntas específicas ¿Cuáles son las potencialidades, fortalezas y oportunidades de la generación de hidrogeno verde en la locomoción en un enfoque de numes mediano y largo plazo?, ¿Establecer la configuración y tecnología necesaria para producción de hidrogeno verde en la locomoción del Perú?, ¿Es viable técnica y económicamente la utilización del hidrogeno verde como parte de la Matriz Energética Peruana?

Por otro lado, se presentó como objetivo principal: Determinar el futuro del hidrogeno verde en la locomoción peruana a mediano y largo plazo. Así mismo, los objetivos específicos son: Determinar las potencialidades, fortalezas y oportunidades de la generación de hidrogeno verde en la locomoción en un enfoque de nemus mediano y largo plazo; Determinar la configuración y tecnología necesaria para la producción de hidrogeno verde en la locomoción del Perú; y Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de hidrogeno verde como parte de la Matriz Energética Peruana.

El objetivo propuesto conlleva a la necesidad de plantear hipótesis para responder al objetivo general que es: La evaluación del hidrogeno verde es viable en la locomoción peruana en una perspectiva nemus a mediano y largo plazo. Adicionalmente, las hipótesis específicas que son: La fortaleza, oportunidad y potencialidad del hidrogeno es viable para la locomoción peruana en un enfoque de numes mediano y largo plazo; La configuración y tecnología presentada es adecuada para la producción de hidrogeno verde en la locomoción del Perú en una perspectiva nemus mediano y largo plazo; y La evaluación técnica y

económica es viable para el uso de hidrogeno verde como parte de la Matriz Energética Peruana.

Con la siguiente justificación con criterios múltiples dentro de un análisis estratégico:

Justificación Técnica: La tecnología de producción de Hidrogeno existe desde finales del siglo XIX, a partir de la hidrolisis, en el devenir de los años, se han asentado otros medios, tales como la biotecnología y termoquímicos, se han ampliado sus fuentes energéticas, pasando por la Hidroelectricidad (Caso Cachimayo – Cuzco), Carbón (China y Alemania), hasta llegar a las energías renovables no convencionales, tales como la eólica, la solar térmica, la solar fotovoltaica, la undimotriz, la geotérmica entre otras En los modernos sistemas interconectados con generación distribuida el hidrógeno se ha convertido en una fuente de acumulación de energía, que compite con las baterías y que permite que los vehículos eléctricos, sean fuentes de almacenamiento de energía, para aprovechar bloques horarios de precios, periodos de no generación de energía y diferencias entre la oferta y la demanda eléctrica, se constituye por lo tanto en el primer impulsor de las energías renovables no convencionales.

Justificación Ambiental: La emisión de gases efecto invernadero, tales como el CO, CO₂, NO_x, SO_x, entre otros disminuye con la utilización del hidrogeno que, con el mecanismo de Pila de Combustible, solo produce como productos terminales de los procesos energéticos al agua, lo que reduce el calentamiento global el cual, de acuerdo a las últimas publicaciones científicas, sigue el camino de superar los 2.5°C, de aumento de la temperatura global del planeta pronosticada para el año 2100.

Justificación económica: El costo de los energéticos es otra de las grandes preocupaciones del mundo actual, la subida del Petróleo que en el año del 2008, llego a costar hasta US \$ 250 /Barril, que disminuyo a valores negativos al inicio de la pandemia del Covid 19, y que en la actualidad está a nivel de los US \$ 80.00, se han logrado importantes avances en ahorros por eficiencia energética en iluminación, fuerza motriz eléctrica, pero también en MCI , más eficiencia con el sistema de inyección electrónica, programación de motores, autos híbridos, autos eléctricos, pero con la utilización del hidrogeno se mejoraran estos indicadores, de eficiencia y por lo tanto será viable la inversión CAPEX, en financiar los cambios para la utilización del hidrogeno, así como los ahorros en

costos de operación y mantenimiento –OPEX , haciendo viables los indicadores B/C , VAN y TIR.

II. MARCO TEÓRICO

Para cimentar el estudio de índole teórico-práctico es necesario revisar investigaciones realizadas en otros países, pues no se ha publicado la implementación de una planta de hidrogeno, sino que se han presentado estudios analizando la perspectiva del hidrogeno como fuente de energía en un futuro, los cuales se presentan a continuación:

Peschel (2020) en su artículo denominado “Industrial Perspective on Hydrogen Purification, Compression, Storage, and Distribution” analiza la perspectiva industrial acerca de la distribución, almacenamiento, comprensión y purificación de hidrogeno, el cual se produce mediante electrolisis empleando energías renovables. El estudio evalúa el transporte de hidrógeno en remolques de transporte a fin de satisfacer la demanda actual. Los resultados muestran que, la comprensión por turbocompresores, térmicos, electroniquitos, de tornillo son tecnologías que se encuentran en constante crecimiento, por lo que se debe mejorar los esfuerzos en construir licuefactores de hidrogeno más grandes para una mejor eficiencia energética.

Laguipo, Forde y Carton (2020) en su trabajo titulado “Enabling the scale up of green hydrogen in Ireland by decarbonising the haulage sector” tuvo como objetivo analizar la ampliación de hidrogeno verde en Irlanda para contribuir en la descarbonización del sector transporte, dado que en países industriales es fundamental emplear grandes cantidades para aprovechar la demanda a corto plazo. El estudio mediante una encuesta evidencia la necesidad del mercado en adquirir el producto, por lo que plantea un modelo para gestionar proyectos, asimismo, evalúa la tendencia al aumento y los beneficios al realizar su aprovechamiento.

Julysses, Brent y Hinkley (2021) en su investigación “Assessment of the Potential for Green Hydrogen Fuelling of Very Heavy Vehicles in New Zealand” presenta como fin analizar la demanda de vehículos pesados mediante el uso de hidrógeno verde, para analizar la viabilidad de hidrógeno verde como combustible en vehículos de transporte. El estudio obtuvo como resultado que el sector de transporte es un mercado potencial para la conversión este tipo de combustible, pues los 9824 GWh que se estima como energía renovable es suficiente para su abastecimiento, asimismo, se indica que la demanda en este

país fue de 71 millones de kg o 8.5 P.J. A comparación con los 14.7 P.J. En la demanda con combustibles fósiles. Finalmente, el estudio mostró que la reducción del costo de electricidad mediante en la fase de producción permite obtener una mayor rentabilidad, lo que se traduce en una reducción de 10 a 20 años.

Yang, Yang, Daiyan y Amal (2022) en su trabajo “A green hydrogen credit framework for international green hydrogen trading towards a carbon neutral future” realiza un marco de crédito para proyectos y comercialización de hidrogeno a fin de generar un camino hacia el uso de energías cero emisiones de carbono. En el trabajo se analiza los costos de implementar plantas productoras de hidrogeno verde y los costos financieros que se adoptan, asimismo, se evalúa el comercio internacional. Los resultados muestran que, mediante un marco de crédito se logra un proyecto eficiente y viable que benéfica al mercado global.

Bragwat y Olczak (2020) en su trabajo denominado “Green hydrogen : bridging the energy transition in Africa and Europe” tuvo como fin evaluar la transición en Europa y África hacia el hidrogeno verde, dado que se requiere mejorarla calidad de vida mediante la descarbonización. El estudio plantea un enfoque de medidas que deben considerar las diferentes económicas para incluir el comercio y producción del hidrogeno verde, ya que trae beneficios sociales y económicos que satisfacen la necesidad de la industria.

Li, Farhad y Hesary (2022) en su estudio “The economic feasibility of green hydrogen and fuel cell electric vehicles for road transport in China” estudio la viabilidad económica de las energías renovables como fuente de energía para vehículos eléctricos. El estudio planteo un modelo denominado Well-to-Wheel para evaluar las emisiones de carbono de la cadena de suministro, un modelo para evaluar el costo total de propiedad y la comparación de diferentes sistemas de propulsión alternativos. En conclusión, se establece la relación de la competitividad del hidrogeno y políticas energéticas con base en vehículos eléctricos a base de energías renovables.

Jure y Dolanc (2020) en su artículo “Can Green Hydrogen Production Be Economically Viable under Current Market Conditions” evalua la vabilidad de producción del hidrogeno verde en condiciones actuales del mercado, para lo cual uso de caso de estudio una central hidroeléctrica eslovena. Los resultados

del estudio muestran que, puede presentar competitividad en diferentes sectores, como, por ejemplo, el transporte y la calefacción, y reducir el uso de energía fósil. Finalmente, se estima que la competitividad se relaciona al no agravarse el aumento de los impuestos.

Noussan, Raimondi y Scita (2021) en su estudio “The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition A Technological and Geopolitical Perspective” muestra una perspectiva geopolítica y tecnológica del hidrogeno azul y verde, el cual se impulsa mediante energías renovables. El estudio se enfoca en el diagnóstico de la cadena de suministro y la evaluación de pérdidas en diferentes países, así, por ejemplo, en Chile se tiene un potencial para producir hidrogeno verde de 25 millones de toneladas. Finalmente, el estudio establece una estrategia para que cada país impulse una industria exportadora encontrándose Chile y Argentina por parte de Latinoamérica. En conclusión, el estudio muestra las futuras estrategias relacionado a la implementación de un sistema energético que incluya transporte, almacenamiento y uso final para diversos sectores.

Sadik (2021) en su trabajo “Political Economy of Green Hydrogen Rollout: A Global Perspective” analiza la perspectiva global del hidrogeno verde dentro de la política y economía como parte del desarrollo y ventaja competitiva de Europa y África, para lo cual presenta una estrategia para el lanzamiento del hidrogeno como parte de la transición energética. Los resultados del estudio presentan un modelo de producción basado en energía renovable como fuente de alimentación y el establecimiento de políticas universales para su desarrollo, por otro lado, evaluar el transporte del hidrogeno mediante camiones en distancias cortas y el empleo de tuberías a grandes distancias. La conclusión, del estudio es que existen tres campos de inversión privada y pública que son el despliegue, la investigación y desarrollo y la inversión en infraestructura de hidrogeno.

Osman (2021) en su artículo “Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review” estudia la producción, almacenamiento, utilización e impacto del hidrogeno como un vector energético limpio, pues presenta poder calorífico inferior de 120 MJ/Kg a 298 °K y un poder calorífico superior (HHV) de 141.8 MJ/kg a 298 °K y presenta 2.8 veces más energía con un volumen de almacenamiento de 2.8, y otros datos teóricos que muestra su viabilidad, pero concluye mencionado que, en la actualidad se requiere aún más investigaciones teóricas y ensayos experimentales para la mejora del

almacenamiento a gran escala y mejorar las rutas de utilización para una producción sostenible.

En los conceptos teóricos, el hidrogeno es definido como un elemento químico, liviano, simple, extendible por toda la tierra, pero no es una fuente de energía, sino un portador de ella, pero para lograr el almacenamiento de energía en el hidrogeno se debe lograr su separación del oxígeno para obtener dihidrogeno molecular (H_2) mediante la electrolisis (Sundén, (2019). Asimismo, una ventaja fundamental del hidrogeno es su elevada densidad de energía específica que es tres veces mejor que la combustión de la gasolina por unidad de masa y es extraíble de una amplia gama de sustancias, como, por ejemplo, lodos de depurados, biocombustible, gas, petróleo y agua (Yue, et al., (2021). El hidrogeno como tal, según su composición se le define como un color específico, pero en un portador que presenta energía versátil y es incoloro, esto quiere decir que no posee colores, pero se pretende dar información acerca de cómo se ha producido y la fuente de energía empleada, asimismo, su utilización se debe a las enormes bondades que presenta, como, por ejemplo, el fácil almacenamiento y sus propiedades para aprovechar la electricidad.

La importancia del empleo del hidrogeno se debe a que es un vector de energía que almacena electricidad que proviene de energías renovables, esto quiere decir que las fuentes hidráulicas, eólicas, solares, entre otros son energías por excelencia que reducen la descarbonización, sin embargo, presenta fluctuación y son intermitentes, lo que no se puede controlar en gran medida su uso a diferencia del hidrogeno que puede ser almacenado como energía y libreado en caso sea necesario (María, (2022).

Para la producción de hidrogeno se emplea un electrolizador, el cual es un dispositivo empleado para la separación de moléculas de agua en átomos de hidrogeno y oxígeno, lo cual es posible mediante energía eléctrica para que se divida, siendo conocido el proceso como electrolisis que emplea un contenedor con minerales y sales, seguido de dos electrodos sumergidos en el agua, pero conectados a una fuente de alimentación DC, posterior a ello, la disociación es ocasionada al momento que los electrodos atraen para sí los iones de carga opuesta, y finalmente, se produce una reacción oxido-reducción a causa de la electricidad.

El hidrogeno posee propiedades fisicoquímicas excepcionales, como, es el caso de la elevada energía específica que hace posible al hidrogeno como una alternativa sustitución a los combustibles fósiles, por lo que es óptimo al presentar una reducida viscosidad, amplio rango de inflamabilidad, baja temperatura de inflamabilidad que lo hacen viable según sus propiedades para el almacenamiento. Por otro lado, existen otros factores que pueden aumentar su peligrosidad con el paso de su uso, por lo que en la siguiente tabla se presenta sus principales propiedades que son ampliamente reconocidas.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del hidrógeno.

Propiedades a [1bar, 20°C]	Hidrógeno	Metano	Metanol	Etanol	Propano	Gasolina
Masa molecular (kg/kmol)	2.016	16.043	32.04	46.06	44.1	107
Densidad (kg/m ³)	0.08375	0.6682	791	789	1865	75
Punto de ebullición (°C)	-252.8	-161.5	64	78.5	-42.1	27
Punto de destello (°C)	-253	-188	11	13	-104	-43
Límites de inflamabilidad en el aire (% volumen)	4.0-75.0	5.0-15.0	6.7-36	3.3-19	2.1-10.1	1-7.6
Temperatura de autoignición en el aire (°C)	585	540	385	423	490	230-480
Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	142	55.5	22.9	29.8	50.2	47.3
Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	120	50	20.1	27	46.3	44
Poder Calorífico Superior (MJ/l)	0.01189	0.03708	18.1139	23.5122	93.623	35.5223
Poder Calorífico Inferior (MJ/l)	0.01005	0.03341	15.8991	21.303	86.395	33.044

Fuente: Tomado de Abderezzak (2018)

De la tabla 1, se puede determinar que el hidrogeno como fuente de energía eléctrica es una alternativa óptima a diferencia de los combustibles fósiles, según sus propiedades fisicoquímicas. Respecto a su principal consumidor, resulta ser la industria el principal consumidor del hidrogeno, pues en ese sector aumenta la demanda constantemente en función a las diferentes aplicaciones.

Otro concepto importante a considerar, es la matriz energética que se define como un conjunto de recursos energéticos disponibles dentro de un territorio, por ende, la matriz energética representa la cantidad de energía disponible en una zona determinada, esto quiere decir que no es igual a la matriz eléctrica, pues la primera representa un conjunto de fuentes de energía disponibles, mientras que el segundo consiste en fuentes disponibles únicamente para la generación de electricidad (Tengfei, y otros). Sobre la matriz energética de Perú se compone

principalmente del 58.5% de gas natural, 11.4% de líquido gas natural, 10.7% de hidrogenaría, 8.5% petróleo crudo, 7.5% leña y 0.5% eólico y 2.6% entre otros (Asociación Peruana de Hidrógeno, 2021).

Posterior a la segunda guerra mundial el hidrogeno se empleó como fuente de combustible en vehículos de todo tipo, incluyendo también a las locomotoras y submarinos, pero sin éxito alguno, debido a que en ese entonces el auge del carbón y posterior del petróleo elimino toda posibilidad de su uso, siendo relegada a la industria química. Posterior a ello, el incremento de la necesidad de reducir el CO2 conllevó a considerarlo como una fuente confiable en la transición como medio de suministro a los medios de locomoción y muchas otras cosas. Si bien es cierto, el hidrogeno como opción a mediano y largo plazo es una opción, el Perú todavía no se encuentra preparado, dado a la inexistencia de infraestructura tecnológica que en la actualidad frena la importancia de vehículos eléctricos, aunado a ello la falta de un reglamento y la venta de aproximadamente 3,862 vehículos híbridos vendidos desde el 2012 desalientan las inversiones en nuestro país (Rojas, 2022).

Durante su empleo se realiza el almacenamiento a pequeña escala mediante tanques que comprime el hidrogeno a temperatura ambiente se establece 4 categorías, que son en los tanques de tipo I de 20 bar, en los tipos II y IV hasta 1,000 bar, por otra parte, los tanques a gran escala son empleados como almacenamiento de grandes cantidades de energía (IRENA, (2019).

En la actualidad, hablar de hidrogeno verde en el Perú es hablar acerca de una tecnológica que se viene desarrollando lentamente incluso en países desarrollados, sin embargo, el fin del presente estudio es presentar una postura acerca del planteamiento estratégico que pueda tomar las autoridades energéticas a fin de realizar una integración de energía renovable a gran escala, crear oportunidades de empleos, producción de energía limpia y sobre todo una descarbonización total de la industria a mediano y largo plazo, lo cual como se ha expuesto en las investigaciones previas se viene evaluando prospectivas en diferentes países.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

En un estudio de tipo básico, pues no resuelve un problema ni contribuye en su desarrollo, sino busca mejorar el sustento teórico sobre un tema en específico para que sea tomado de referencia por otras investigaciones con alcances descriptivos, exploratorios o hasta correlacionales (Arias, 2020). Según lo expuesto, el presente estudio presenta una prospectiva del hidrogeno verde como vector de energía renovable para el Perú bajo un enfoque numes mediano y largo plazo, por lo que puede servir como documento de consulta para futuras investigaciones relacionados en el presente campo.

El diseño es no experimental, según Hernández y Mendoza (2018) sostiene que, no se realiza la manipulación deliberada de la variable independiente para generar un efecto en la dependiente, es decir, no se sacó de contexto la variable dependiente. Por consiguiente, se plantea las prospectivas del hidrogeno verde en la locomoción peruana, sin embargo, no se genera ningún cambio en la realidad que pueda afectarla, es decir, no se realizó ninguna modificación.

El nivel del estudio es exploratorio, pues busca cimentar el conocimiento para descubrir, encausar o prefigurar un determinado tema, por ello Hernández y Mendoza (2018) aclara que, una investigación resulta ser exploratoria cuando se presenta mínimos antecedentes sobre un fenómeno o problema para el tema en cuestión, como, por ejemplo, en caso se requiera indagar sobre sustancias o drogas psicoactivas ilegales en cárceles y no se encuentra antecedentes iniciamos desde un enfoque exploratorio. Por lo expuesto, no se encontró antecedentes sobre la prospectiva del hidrogeno verde en la locomoción peruana, sino únicamente indicios a nivel internacional sobre el tema que se estudiando, por ello el nivel se sustenta como exploratorio al presentar como fin consolidar las bases para futuros estudios relacionados al hidrogeno verde a mediano y largo plazo.

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente:

Alternativas de locomoción en el Perú, sus vectores de innovación tecnológica y de cumplimiento de una política de seguridad energética, balanza comercial energética positiva.

Variable dependiente:

Prospectivas del hidrogeno verde, tanto para la locomoción, como para cualquier otro tipo de energético. La prospectiva es el proceso sistemático de analizar las condiciones del presente y sus posibilidades en un futuro de la evolución del hidrogeno verde para divisar las potencialidades emergentes y estrategias de investigación en las que se debe centrar los esfuerzos para obtener un alto grado de beneficios, esto quiere decir que se busca anticipar la evolución del hidrogeno verde en la locomoción peruana a mediano y largo plazo.

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Definida por Hernández y Mendoza (2018) como un conjunto finito o infinito de diferentes personas, actividades, acciones, que comparten características comunes que lo asocian a una unidad de estudio. En ese aspecto la población la conforma la información de la matriz energética presente en el territorio peruano.

Muestra

La muestra es definida como la porción representativa que comparte características similares y la siguen asociando como unidad de análisis (Ventura-León, (2017). Al respecto, en el presente estudio la muestra la conforma la información del hidrogeno verde, la cual forma parte dentro de la matriz energética del territorio peruano, por otro lado, por la recolección de información se orienta hacia un largo plazo de hasta 50 años.

3.3.2. Muestreo

El muestreo realizado es no probabilista por conveniencia, en vista de que no se generó el uso de una fórmula para determinar los participantes, sino a juicio del investigador quien considera pertinente cimentar las bases sobre el hidrogeno verde.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de información acerca del hidrogeno verde se requirió emplear técnicas e instrumentos, los cuales se detallaron a continuación:

Las técnicas empleadas fueron:

Análisis documental: Es una técnica que permite recolectar información acerca de acontecimientos o sucesos que han surgido y de los cuales existe un registro, lo que permite su revisión para contribuir en el estudio (Gallardo, 2017).

El instrumento para registrar la información fue el siguiente:

Ficha de recopilación de datos: Es un instrumento que permite almacenar la información de manera organizada y sistemática a fin de contribuir con los indicadores de la investigación, por otro lado, su empleo favorece en presentar un sustento para los resultados que se están presentando (Ñaupas et al., 2018).

En el presente estudio no se consideró la validez de los instrumentos, dado que se basó en un análisis documental de reportes, situaciones de otros países, por lo que se espera que el presente estudio sirva como base para la creación de instrumentos en el presente campo de estudios.

De igual manera, la confiabilidad no se analizó en el presente estudio, al ser de enfoque exploratorio y presentar un sustento teórico-práctico, pero sin un post test.

3.5. Procedimientos

Para la recopilación de información se realizó una revisión documental exhaustiva a fin de determinar las perspectivas del Hidrogeno Verde en la Locomoción Peruana a mediano y largo plazo, pues no se encontró información suficiente, lo que dificultó la investigación. En ese sentido, se tomó de referencia otras publicaciones para cimentar el conocimiento del área en estudio.

3.6. Método de análisis de datos

La información obtenida de los reportes de trabajo será procesada en Microsoft Excel a fin de comparar los valores obtenidos, pudiéndose determinar una tendencia cuantitativa. Además, se utilizará métodos deductivos, definiendo la prospectiva a mediano y largo plazo de la producción de hidrogeno verde.

3.7. Aspectos éticos

El presente estudio respeta lo establecido en el Código de Ética en Investigación de la Universidad César Vallejo, asimismo se busca en todo momento preservar la transparencia y objetividad durante el procesamiento e interpretación de los resultados que se exponen en el presente documento. Adicionalmente, se hace

uso adecuado de las fuentes extraídas de diversos autores respetando la norma ISO 690 y la originalidad del documento elaborado por los investigadores se respalda mediante el software antiplagio Turnitin que debe arrojar un porcentaje menor a lo exigido por la Universidad Cesar Vallejo.

Tabla 2. Códigos de ética - UCV

Códigos de Ética de la Universidad César Vallejo

<i>Artículo 3°</i>	“Respeto por las personas en su integridad y autonomía”
<i>Artículo 8°</i>	“Competencia profesional y científica”
<i>Artículo 10°</i>	“La investigación con seres humanos”
<i>Artículo 15°</i>	“De la política antiplagio”
<i>Artículo 16°</i>	“De los derechos del autor”
<i>Artículo 17°</i>	“Del investigador principal y personal investigador”

Fuente: Universidad César Vallejo

IV. RESULTADOS

4.1. Potencialidades, fortalezas y oportunidades de la generación de hidrogeno verde

Como decía el futurólogo, Julio Verne, creo que algún día el agua será carburante, que el hidrogeno y el oxígeno, que la constituyen, utilizados de manera individual o conjunta, nos darán una fuente inagotable de luz y fuerza, dado que las reservas de carbón se agotaran nos abasteceremos de energía gracias al agua, el agua será el carbón del futuro, podemos hablar de agentes impulsores del cada vez más renovado interés por el hidrogeno:

- Cada vez mayor impulsión del interés por el hidrogeno, sobre todo del hidrogeno verde, es decir el producido con energías renovables no convencionales
- Constante disminución de los costos de las energías renovables y las tecnologías del H₂, por extinción de las patentes y economías de escala en la producción
- Solo se presupuestan nueve años, adicionales de emisiones de carbono, para alcanzar el objetivo del 1.5 °C de incremento promedio de la temperatura del planeta
- Ya son sesenta y seis países, que han anunciado objetivos de emisiones netas cero para el año del 2050.
- La capacidad de electrolisis ha aumentado en cincuenta y cinco en el Periodo 2015 al 2025.

En cuanto a indicadores claros del creciente momento del hidrogeno, debemos de señalar:

- Impulso estratégico al largo plazo en la hoja de ruta del desarrollo nacional, manifestado que más del 70% del Producto Bruto Interno Mundial está relacionado a las hojas de ruta del hidrogeno de los países.
- Crecimiento de las alianzas y el impulso en la industria, expresado en que son ya noventa y dos los miembros del Consejo del Hidrogeno, frente a los solo trece miembros del año 2017.
- Diez millones de vehículos que funcionan accionados por pila de combustible para el año 2030, de acuerdo a lo anunciado en los diversos eventos energéticos internacionales.

- Más de treinta grandes inversiones anunciadas a nivel mundial desde el 2017 (Sectores de vehículos Pesados (carga de mercadería) y ferrocarriles)
- La descarbonización de la matriz energética, trae un mayor uso del hidrogeno, en cada vez mayor cantidad de aplicaciones:

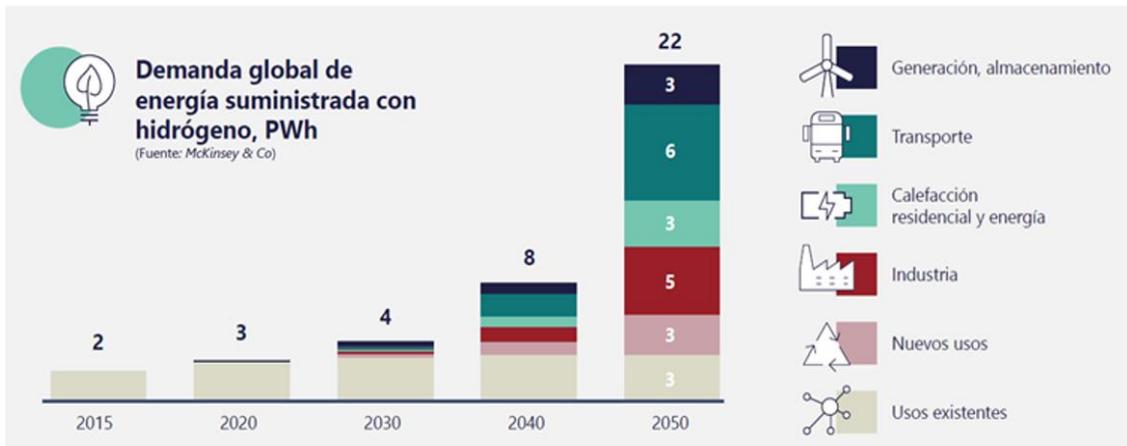


Figura 1. Demanda global de energía suministrada con hidrogeno PWH

Fuente: McKimsey & Co

En este sentido, la presencia de los sistemas SESH (Sistema Energético Solar Hidrogeno), junto al hecho de la presencia de grandes cantidades de ER en Latinoamérica, lo cual es una razón para profundizar el estudio de proyectos SESH en la región para cumplir con las necesidades de los diferentes sectores, en las que aun impera la pobreza energética al no tener la calidad de energía del medio urbana, es decir interrupciones y perturbaciones y también como una forma de combatir el calentamiento del planeta que se relaciona con el descontrolado uso de hidrocarburos, como, por ejemplo, en el sector de transporte masivo.

Fortalezas de hidrógeno verde

El presente análisis, se presente presentar el empleo de tecnologías que permite satisfacer las necesidades de la sociedad relacionado con el aire acondicionado, movilización, electrificación, iluminación, entre otros, pues una SESH en su fase de transformación busca la conversión de energía útil en una fuente primogénica en forma cinética química en la que el hidrogeno es un excelente portador. A continuación, en la siguiente tabla se muestra las tecnologías de producción de hidrogeno a partir de ciertas energías renovables:

Tabla 3. Tecnologías de Producción de H₂ a partir de E.R.

Tecnología	Materia prima	Eficiencia (%)	Desarrollo tecnológico
Gasificación	Biomasa	35 -50	Comercial
Fotólisis	Luz + agua	0.5	Largo plazo
Fermentación oscura	Biomasa + luz	0.1	Largo plazo
Foto fermentación	Biomasa + luz	0.1	Largo plazo
Electrólisis microbiana	Biomasa + electricidad	78	Largo plazo
Electrólisis alcalina	Agua + electricidad	50-60	Comercial
Electrólisis PEN	Agua + electricidad	55-70	Costo plazo
Electrólisis oxido sólido	Agua + electricidad + calor	40-60	Mediano plazo
Rompimiento termoquímico	Agua + calor	nd	Largo plazo
Rompimiento foto electroquímico	Agua + luz	12	Largo plazo

Fuente: Elaboración propia

El almacenamiento para garantizar su abastecimiento, del hidrogeno verde es también fundamental analizarlo, por lo cual se debe considerar métodos de almacenamiento según los procedimientos que se realizan, en ese sentido, a continuación, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 4. Métodos de almacenamiento de H₂

Proceso	Estado físico	Modo de almacenamiento	Aplicación
Comprensión	Gas	Cavernas, cilindros, tanques	Estacionamientos móviles
Licuefacción	Líquido	Depósitos criogénicos	Estacionarias móviles
Absorción	Gas	Hidruros metálicos y químicos	Móviles, portátiles
Absorción	Gas	Carbón activado, nano estructura de carbono	Móviles, portátiles
Comprensión	Gas	Microesferas de vidrio	Portátiles

Fuente: Elaboración propia

En los early markets (mercados tempranos) o mercados emergentes, son lugares propicios para el desarrollo de productos innovadores, como, por ejemplo, el hidrogeno verde, sin embargo, es conocido que la logística de estos países es un factor determinante de su competitividad, por lo que se presenta a continuación las rutas para el aprovechamiento energético del H₂:

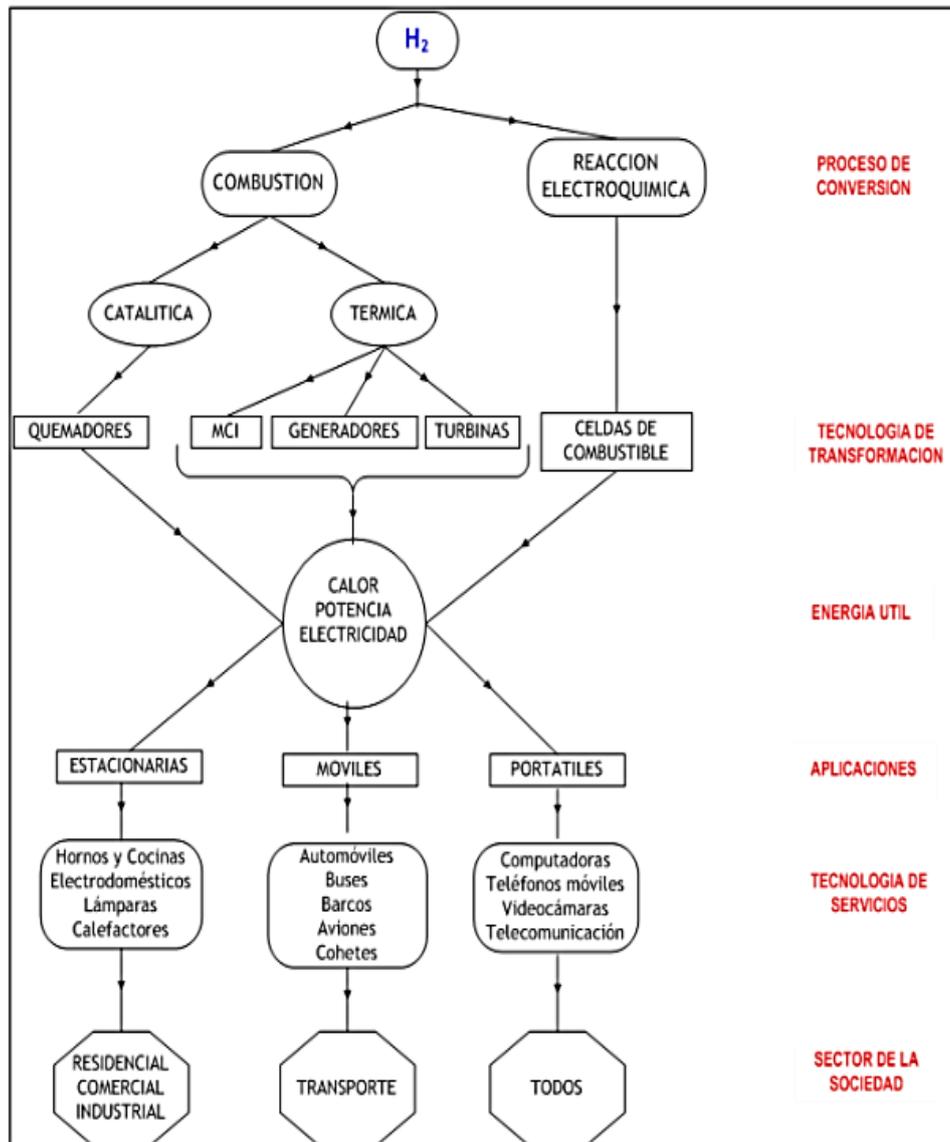


Figura 2. Ruta para el aprovechamiento energético del H₂

Fuente: Elaboración propia

Referente a otro punto dentro de la comercialización, también es necesario considerar los costos de las tecnologías para su producción, los cuales se expresan de la siguiente manera:

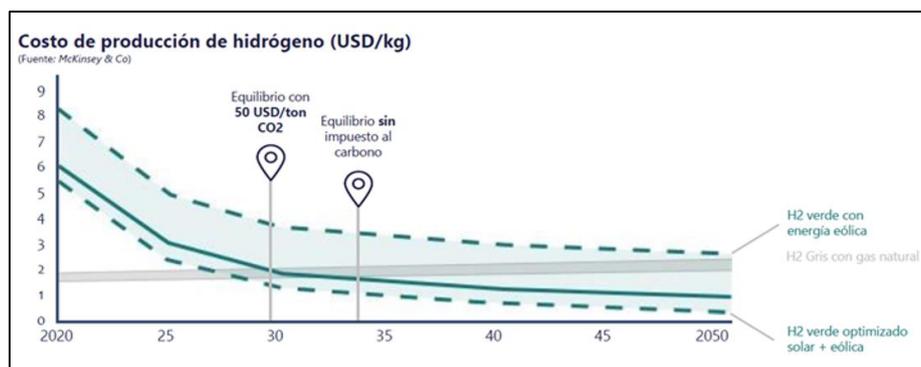


Figura 3. Costo de Producción de Hidrogeno (USD/Kg)

Fuente: Elaboración propia

En un país o región, los costos relacionados a los componentes son relevantes dentro de la toma de decisiones al momento de ejecutar una SESH, por ello se revisó las principales fuentes de energía con relación a los procesos necesarios para la producción de energía eléctrica con base en fuentes sustentables como se muestra a continuación:

Tabla 5. Métodos de almacenamiento de H₂

Fuente	Proceso	Costo (US\$ kg)
Gas natural	Reformado	2.33 -.3.17
Carbón	Gasificación	1.02-1.50
Solar F	Electrólisis	5.788-6.05
Solar térmica	Electrólisis	5.10-6.46
Eólica	Electrólisis	3.50-6.61
Biomasa	Gasificación	1.99-2.83
Biomasa	Pirólisis	1.47-2.57

Fuente: <https://synerhy.com/2022/02/metodos-de-almacenamiento-del-hidrogeno/>

Un análisis más profundo de los costos de producción del hidrogeno Verde, asociados a sus distintas características productivas, nos determinan que, en estudios prospectivos realizados en Latinoamérica, específicamente en Chile mencionan que, posee una capacidad nominal de 40 MW, por lo que para un aprovechamiento óptimo de su capacidad energética se determinó en la región de Magallanes un proyecto eólico que satisfaga la producción de hidrogeno verde y sea transportado hacia el terminal de Punta Arenas con el fin de lograr una exportación del producto. Lo expuesto, evidencia la necesidad de evaluar las variables máximas, mínimas y probables resultantes de los últimos años, por lo que en la siguiente tabla se muestra la estimación de costos en el país sureño:

Tabla 6. Estimación de costos para la producción de hidrogeno verde

Factor	2020	2025	2030
Potencia del electrolizador (MW)	40	40	40
Factor de planta del electrolizador	30-40-50%	30-40-50%	30-40-50%
Costo electricidad FV en-sitio (USD/MWh)	30-35-40%	25-30-40	20-25-30
Eficiencia proceso electrolisis	64-67-70%	60-71-74%	72-76-78%
Horas efectivas anuales(aproximado)	3.504	3.504	3.504

Consumo energético anual (MWh)	140.16	4204.160	140-160
Costo electricidad anual electrolizador (USD)	4.905.600	4204.800	3504
Producción de hidrogeno (kg H2)	2.820.036	2988-396	3.198.847
Costo de energía electrólisis (USD/kg h2)	1740	1407	1.095

Fuente: Análisis Prospectivo de Hidrógeno Verde de R.D.

El potencial exportador del país chileno hacia el 2025 es visto con aceptación por sus autoridades al presentar un mercado europeo que busca basar su económica mediante combustibles con 0 emisiones de CO2. Asimismo, se puede destacar que el costo del transporte representa únicamente un 2% del costo total de la cadena de valor, lo que le permite ser aún más competitivo.

Otro ejemplo, de una proyección hacia el uso de energías renovables es República Dominicana que presento una prospectiva hacia el año 2035 con el fin de ser competitivo en la generación de energía limpia. A continuación, se presenta la proyección de generación renovable según escenario de expansión para cumplir con los objetivos climáticos que se han propuesto:

Tabla 7. Prospectiva de generación renovable de República Dominicana

Factor	2025	2030	2035
Demanda (GWH)	218.29	266.32	32117
Participación energía renovable	33%	39%	35%
Generación energía renovable (TWH)	7.2	10.39	11.24
Participación ERNC	26%	31%	29%
Generación ERNC (THW)	5.68	8.26	9.31

Fuente: Informe de Análisis Prospectivo de Hidrógeno Verde de R.D.

Otro caso y no menos importante es de Bolivia que expuso un plan estratégico a mediano plazo para el aprovechamiento de su potencial energético y reducir los efectos del cambio climático mediante proyectos con base en hidrogeno verde. Otro punto a resaltar es que, las inversiones de hidrogeno verde a nivel mundial se han incrementado presentando cifras alentadoras hacia un futuro. Como se ha observado en los dos casos presentados existe una necesidad regional de impulsar la fuente de hidrogeno verde, por lo que el Perú no debe quedarse atrás en un plan estratégico que fomente la producción de hidrogeno verde.

Potencialidad para la exportación de hidrogeno verde

Los costos de exportación para el año 2025, solo representan únicamente el 5% del total de costos dentro de la cadena de valor, por lo que el país germánico se proyecta como el principal comprador de energías renovables y se puede exportar el producto en forma de amoniaco u otros derivados. Por lo expuesto, el transporte marítimo es la forma a mediano y largo plazo como el medio de transporte por excelencia, para ello se pretende contratar los servicios del barco Suizo Frontier que cuenta las condiciones necesarias para el traslado de hidrogeno de 1250 metros cúbicos, el cual debe ser enfriado a -253°C y estar comprimido a 1/800 en relación a su volumen gaseoso.



Figura 4. Barco Suizo Frontier para transporte exclusivo de H_2

Fuente: Tomado de Xataka (2019)

Ahora bien, los costos de transportes para el hidrogeno licuado (criogénico) es relevante considerar que los barcos para esta materia aún están esperando el incremento de la demanda. Otro escenario, son los cálculos acerca de un escenario en el que se transforme a metano, sin embargo, la reacción de Sebatier sostiene que, al capturar el CO_2 del aire y posteriormente almacenarlo en buques metaleros que no son convencionales ocasiona la emanación de CO_2 , por lo que no es una alternativa, en ese sentido, es fundamental cerrar acuerdos estratégicos para el aseguramiento de embarcaciones. Al respecto, en el Perú se cuenta con la empresa SIMA, la cual consta de la infraestructura suficiente y puede formar parte del plan estratégico nacional que permitirá no solamente la producción de combustible limpio, sino que también el despliegue de nuestra industria naval.

En el presente estudio se planteó estimar los costos de producción de hidrogeno desde el nuevo puerto de Chancay el cual se pronostica que será el centro de comercio latinoamericano hacia el continente asiático, específicamente a los puertos de Pyeongtaek-Dangjin (Corea del Sur) y Kobe (Japón) a una velocidad promedio de 18 nudos, siendo el costo de \$ 120.23 al día. Por otro lado, un viaje hacia el puerto de Rotterdam tarda 21.3 días, lo que tendría un costo de 2.5 millones con una carga final de 70.45 Tn de metano a una pérdida de 2.1%, lo cual tendría un costo de \$ 0.06 Kg hacia Corea del Sur y \$ 0.06 por Kg hacia Japón, esto representa que el costo pro flete es relativamente viable como se muestra a continuación:

Tabla 8. Costo de flete en barco

Destino	Duración (días)	Costo diario	Costo Viaje (USD)	Carga (ton)	Costo(\$/Kg)
Pyeongtaek-Dangjin	34.6	120.25	4160.1	69.5	0.06
Rotterdam	21.3	120.25	256.61	70.49	0.036
Kobe	34.9	120.24	4196.2	69.5	0.06

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra los costos en flete por barco hacia en continente asiático son adecuados. En síntesis, el transporte resulta viable hacia otros puertos, sin embargo, resulta costoso otra fuente de gastos que es la producción de hidrogeno verde empleando hidrolisis, por lo que en la siguiente tabla se estima los cotos para su producción teniendo en consideración un 10% en costo de hidrolisis, 50% de costo de la energía renovable, un 2% sobre la metanación y un 1% relacionado al transporte:

Tabla 9. Estimación de costos de los procesos para producción

Descripción	2020	2025	2030
Transporte (metano)	0.036	0.036	0.036
Transporte (1% electro)	0.017	0.014	0.011
Licuefacción	0.05	0.05	0.05
Metanación	0.035	0.025	0.022
Otros costos (personal, entre otros) 10% electrolisis	0.174	0.0141	0.011

CAPEX (USD/Kg)	1.149	0.964	0.88
Inversión global (50% adicional)(USD/MW)	54000	48000	42000

Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto las proyecciones de la tabla anterior se realizó para la región de Magallanes en Chile, el Perú cuenta con condiciones similares en costos, por lo que se puede tomar como referencia para los costos en la producción de hidrogeno y determinar que en la electrolisis y la electricidad son los factores predominantes en el costo de la producción. En el contexto nacional, tomando de referencia estudios previos se ha determinado que el territorio nacional presenta un inmenso potencial como productor de hidrogeno verde a mediano y largo plazo al presentar un LCOH (Levelized cost of Hydrogen) más competitivos de la región como se muestra a continuación:

- Entre 2.51 – 5.23 USD/Kg de H2 para el 2030
- Entre 1.78 – 2.48 USD/Kg de H2 en 2040
- Entre 1.13 – 1.61 USD/Kg de H2 en 2050

Por lo expuesto, una industria competitiva de hidrogeno verde promueve nuevos empleos vinculados a diferentes disciplinas, lo que permite una mejor competitividad nacional, esto quiere decir que entre el 2020-2030, 2030-2040 y 2040-2050 se genera como mínimo en promedio 22000, 87000 y 94000 puestos de trabajo respectivamente, las cifras presentadas se tomaron como referencia de la cuantificación del encadenamiento industrial y laboral de hidrogeno de instituciones gubernamentales de diversos países.

Oportunidad de la producción de hidrogeno verde

La producción de hidrogeno empleando la biomasa resulta ser competitiva al momento de desarrollar una SESH, pues los procesos del H₂ al partir de fuentes fósiles pueden presentar un alto costo, esto quiere decir que la biomasa también puede emplearse como elemento para la producción y ser competitivo, sin embargo, existen otras posibilidades de fuente de energía dentro la matriz energética que presenta una alta participación en actividades de I&D, por lo expuesto a continuación se detalla los principales procesos por lo que se produce hidrogeno verde a un mediano plazo para el Perú:

A partir del gas natural mediante el reformado con vapor, que consiste en el proceso de por medio el metano se trata térmicamente para ser mezclado posteriormente con alta temperatura de presión de vapor para obtener un hidrogeno con elementos adicionales, pero se puede establecer que un 48% es hidrogeno disponible en nuestro territorio, dado que presentamos grandes yacimientos de gases probados.

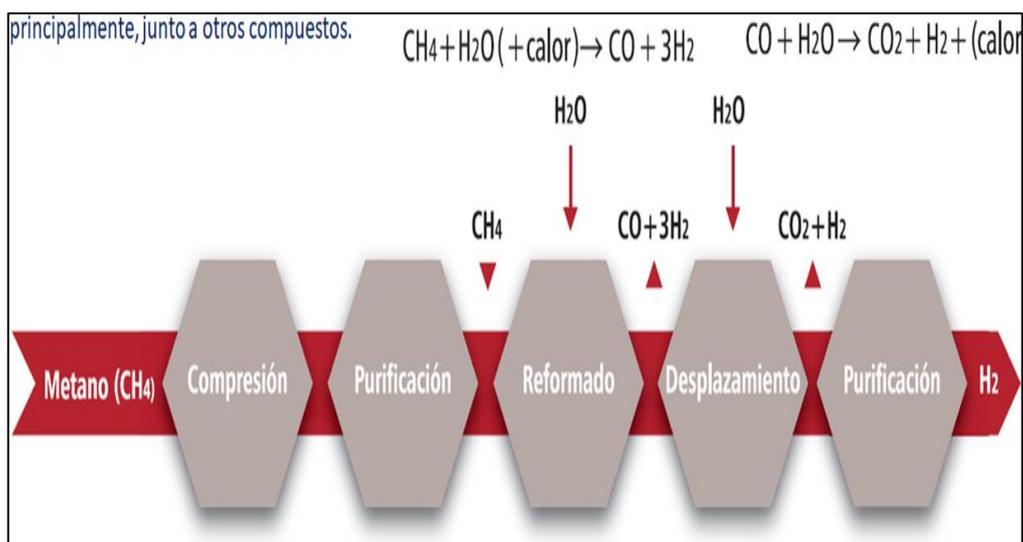


Figura 5. Etapas del proceso de reformado

Fuente: Tomado de G. Stiegel y M. Ramezan.

Otro responsable que genera oportunidad de hidrogeno verde resulta ser la gasificación que se obtiene a través del carbón, por lo que es un proceso que se empleó inicialmente para la obtención de hidrogeno. A continuación, se presenta el proceso de producción de hidrogeno por gasificación empleando carbón:

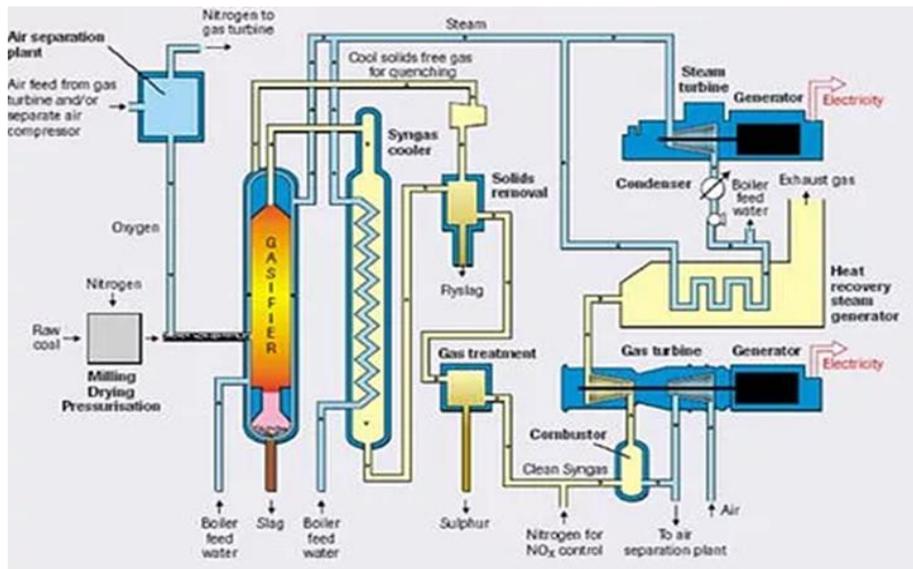


Figura 6. Proceso de producción de hidrogeno con carbon

Fuente: Tomado de G. Stiegel y M. Ramezan.

Por otro lado, se presenta al electrolisis como fuente de generadora de hidrogeno mediante la descomposición de la sustancia empleando la electricidad, esto quiere decir que se realiza una transformación química del agua.

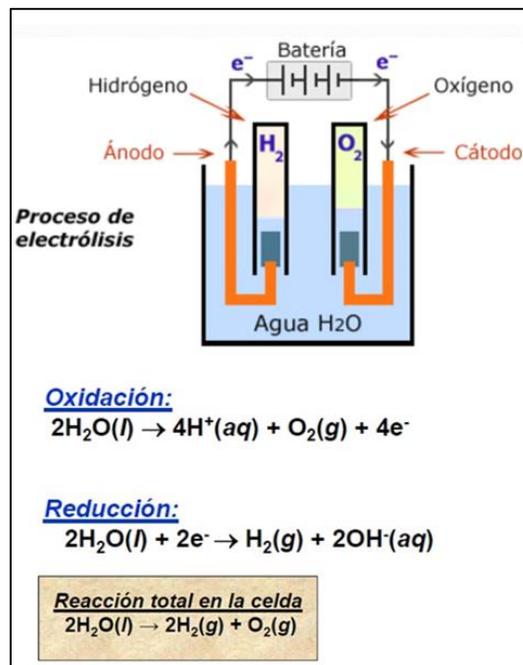


Figura 7. Producción de hidrogeno por electrolisis

Fuente: Tomado de G. Stiegel y M. Ramezan.

En el Perú y américa Latina, el hidrogeno verde sigue el proceso de producción detallado a continuación:

- Materia Prima: Principalmente el agua a través del electrolisis generando gas a gran escala.
- Energías Renovables: Energía eléctrica obtenida mediante las energías limpias se utiliza en la descomposición de la molécula del agua.
- Electrolisis: Sirve para separar por medio del de electrolisis.
- Almacenamiento: En lugares y recipientes especiales se almacena e gas del hidrogeno.

A continuación, se presenta una arquitectura para de materia prima, producción y el uso en aplicaciones industriales:

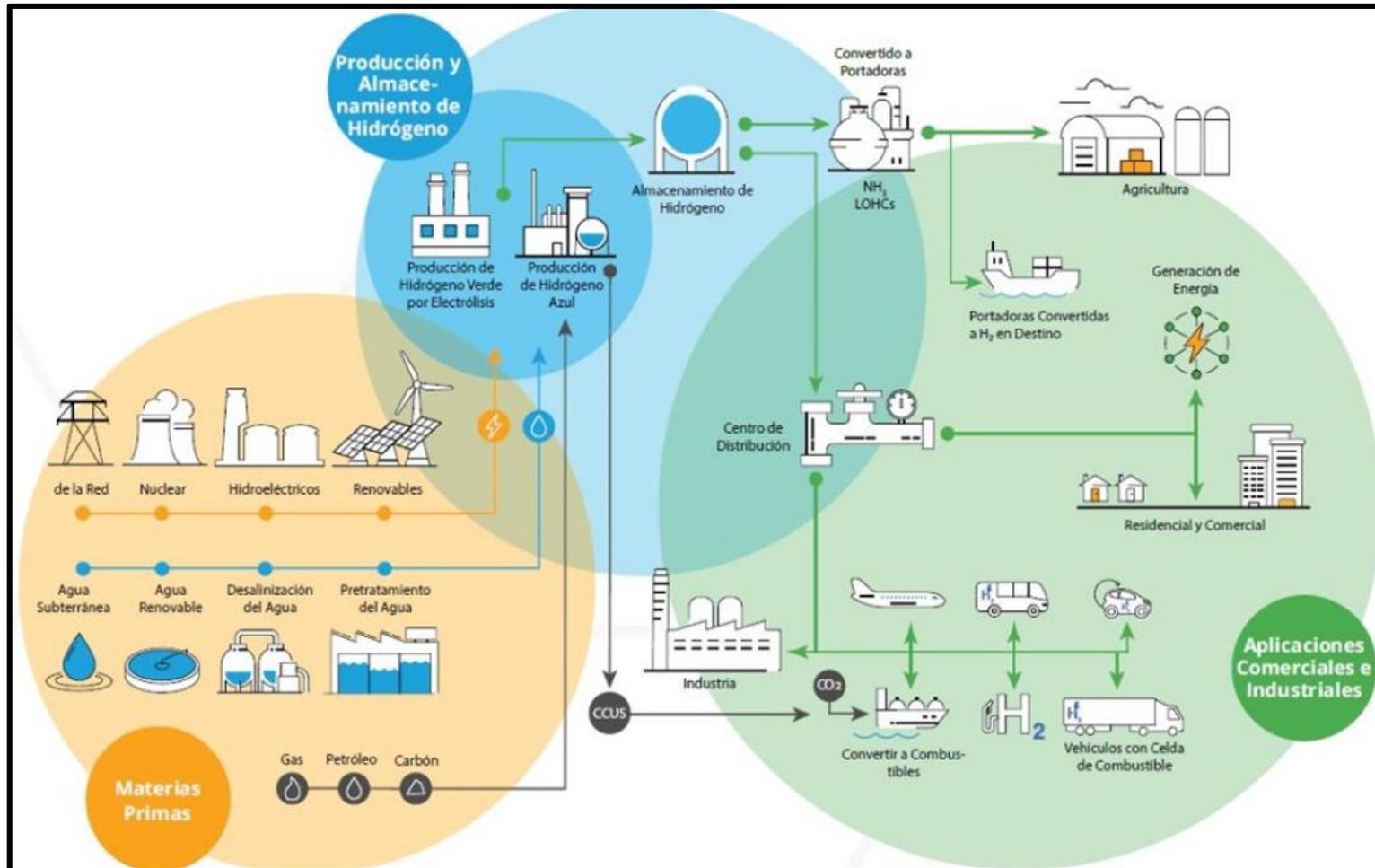


Figura 8. Producción de hidrógeno por electrólisis

Fuente: Materia prima, almacenamiento, transporte y aplicación del hidrógeno verde

Por otro lado, la principal fortaleza del hidrogeno verde es la producción con base a energía renovable, lo que influye en masificar su uso en el transporte terrestre, marítima y aérea.

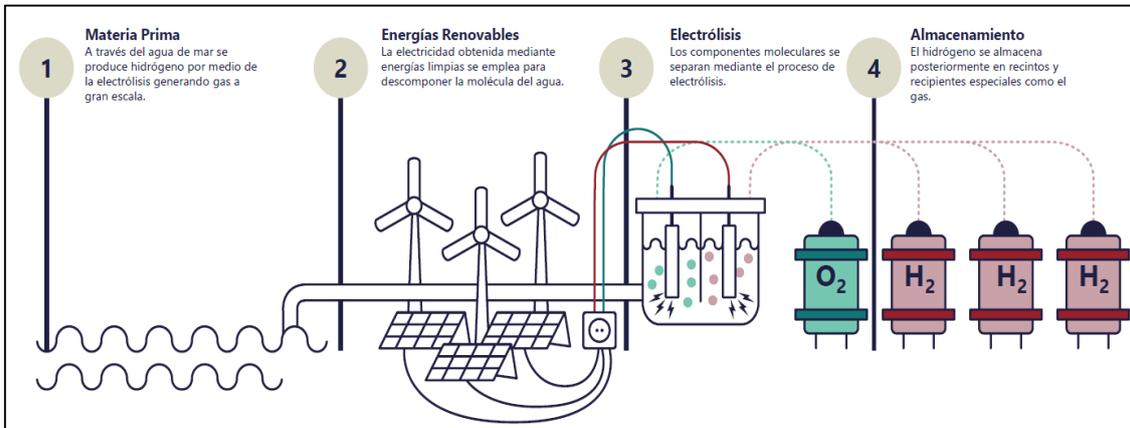


Figura 9. Proceso de fabricación de hidrogeno verde a partir del ERNC

Fuente: Tomado de Liceras (2020)

Utilización del hidrogeno verde en el Perú y en América Latina en locomoción, terrestre, marítima y aérea.

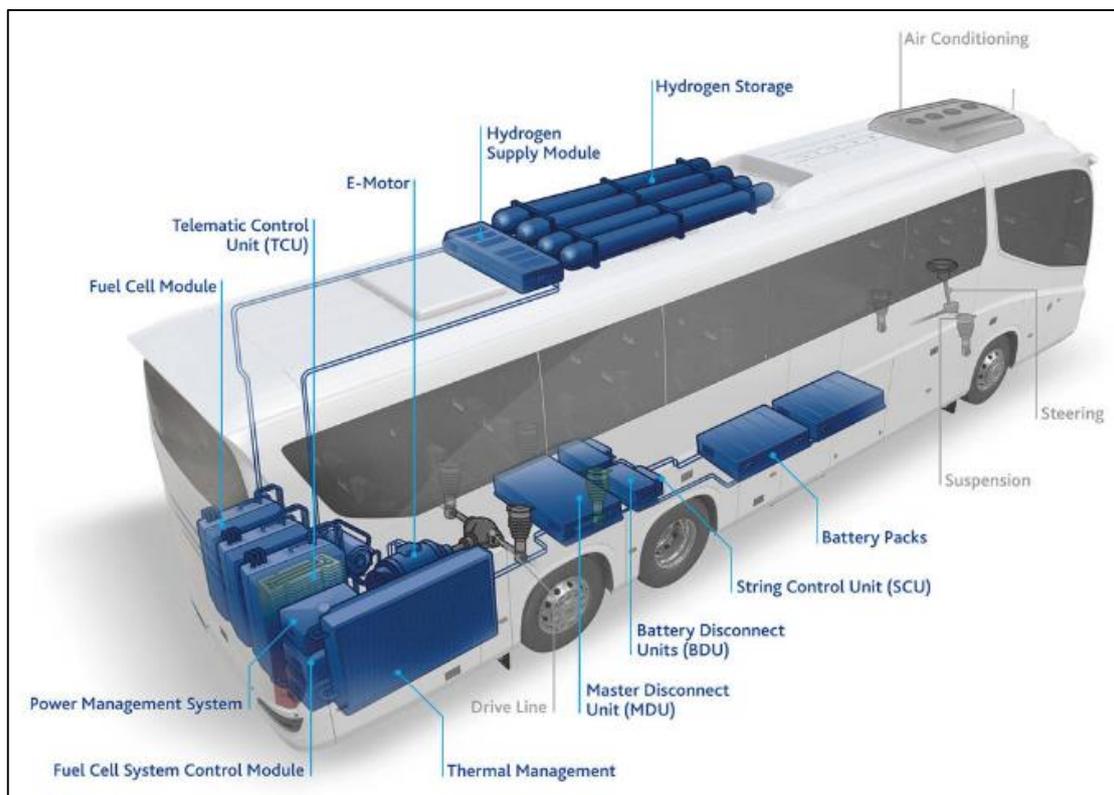


Figura 10. Utilización del hidrogeno verde en locomoción terrestre

Fuente: Tomado de Liceras (2020)

En la locomoción terrestre utilizando hidrogeno verde como combustible produce su propia electricidad, pues al reaccionar con el aire se produce electricidad que es almacenada en los depósitos, esto quiere decir que se genera electricidad de manera autónoma por 500 kilómetros antes de un reabastecimiento con hidrogeno, por lo expuesto un sistema hibrido facilita ser una solución más efectiva en los vehículos de transporte interprovincial y de carga. Lo mencionado, muestra que se está evaluando soluciones para la aplicación de hidrogeno verde en el transporte, lo cual resulta ser a un mediano plazo.

En el mercado del hidrogeno mundial, los países juegan distintos roles, que procederemos a describir en la tabla adjunta:

Tabla 10. *Dinamismo de países dentro de producción de hidrogeno verde*

Función	Recursos de energías renovables	Disponibilidad de agua dulce	Potencial de infraestructura	Ejemplos de países
Líderes de exportación	Muy altos	Alta	Alta	Australia, EE.UU., Marruecos, Noruega.
Productos con limitaciones de agua	Muy altos	Muy baja	Alta	Arabia Saudí y Chica
Grandes importadores	Bajos	Alta	Alta	Corea, Japón y parte de EE.UU.
Productores autosuficientes	Altos	Alta	Alta	Turquía, Tailandia y España
Productores con limitaciones de infraestructura	Altos	Media	Baja	Rusia, India, Perú y parte de Sudamérica.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las ventajas ambientales obtenidas por el hidrogeno verde, en el Perú y América Latina, es necesario mencionar que, si se considera un cambio progresivo y sostenible en el tiempo se logra apalea los efectos de la contaminación ambiental, por ello es una necesidad la formulación de un plan que garantice una transformación energética a largo plazo que permita la emisión de vapor de agua a diferencia de otros gases contaminantes usados como fuente de combustible. Por lo expuesto, el Perú debe librar una lucha más encrudecida, pues en la actualidad presenta un sobredimensionamiento en infraestructura en

instalaciones que producen energía eléctrica con combustibles fósiles, lo cual en materia de mantenimiento debe ser asumido por el estado peruano.

El uso de energías renovables y el uso del hidrogeno como vector energético permite cubrir la necesidad de la oferta y demanda de las actuales centrales eléctricas que posee el país, pues las actuales centrales eléctricas que se posee reflejan un aumento de costos de operaciones, por lo que a continuación se presenta una comparación entre costos y flexibilidad de operación:

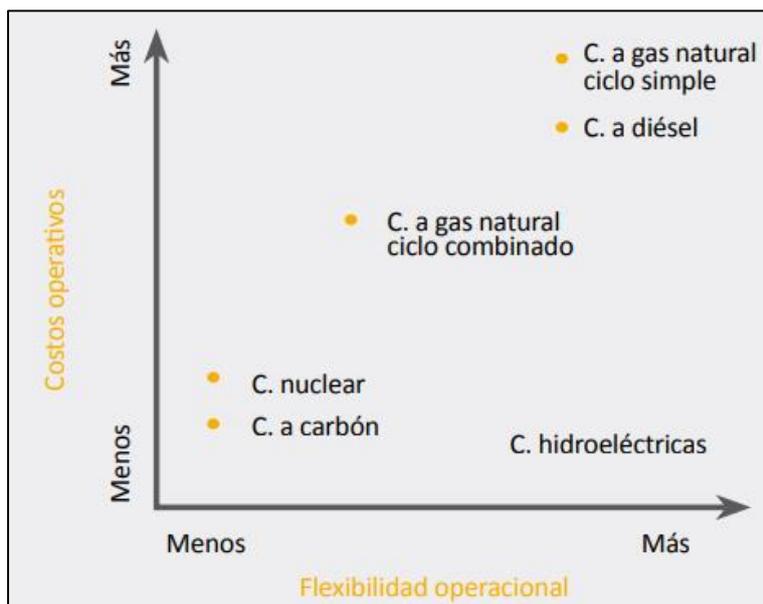


Figura 11. Comparación de costos y flexibilidad de operación

Fuente: Tomado de Osinergmin (2016)

Como indica la figura anterior el Perú requiere incluir magnificar la producción de energía renovable para convertirse en un referente en la región y exportarlo a diferentes partes de mundo, en donde se sorprende que se ponga en disposición para la compra de hidrogeno verde, en consecuencia, resulta vital realizar un debate u promoción que se debe realizar para la creación de plantas a mediano plazo y su producción a plazo largo.

El informe de IHS Market se manifestó que, el hidrogeno verde debe proyectarse para una producción de mediano plazo, pues en la actualidad solo se consume un 4% de su producción, pues los costos relacionados a producción, logística y demanda son reducidos, por lo que a continuación, se muestra el tipo de hidrogeno según la procedencia:

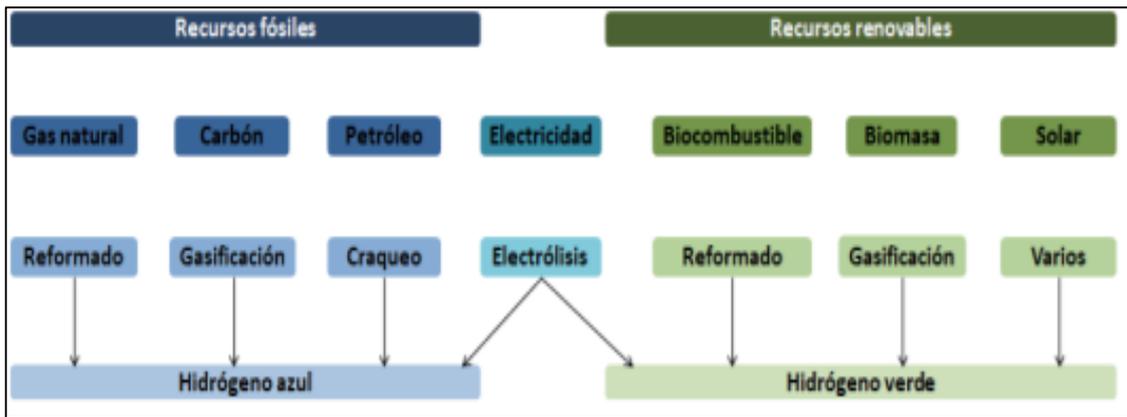


Figura 12. Procedencia de recurso según tipo hidrógeno verde y azul

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta el modelo de producción de hidrógeno:

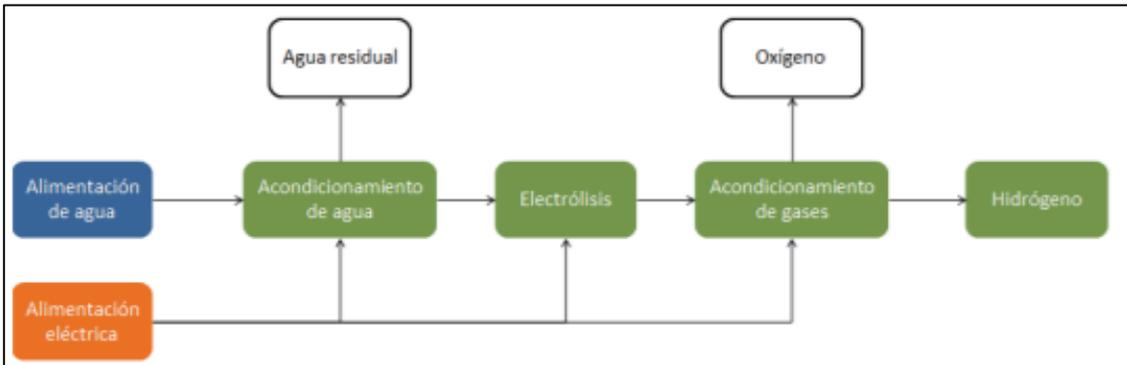


Figura 13. Producción de hidrógeno verde

Fuente: Elaboración Propia

La producción de hidrógeno verde se estima que presente un impacto significativo en su zona de influencia directa e indirecta, sin embargo, en las experiencias actuales de otros países se ha evidenciado una mejor calidad de vida.

Las experiencias nivel mundial nos dicen y destacan el leve impacto de las centrales productoras de hidrógeno en su zona de influencia directa y zona de influencia indirecta. El informe Indo (2020), desarrollado por el Ministerio de Energía chileno y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, pone a nuestra disposición un resumen de exitosas experiencias en Alemania, el país con el plan más ambicioso para el hidrógeno verde.

Pudiendo resumir en un análisis estratégico de Potencialidades en la siguiente matriz de doble entrada:

Tabla 11. *Dinamismo de países dentro de producción de hidrogeno verde*

FORTALEZAS	Posibilidad de desarrollar el almacenamiento de H ₂ , Verde, Incremento Mundial de demanda.	Minería de clase Mundial, Potencial de Generación de ERNC, en el Norte, Centro y Sur, Experiencia en Hidrolisis.	OPORTUNIDADES
DEBILIDADES	Ausencia de legislación de Generación Distribuida, inestabilidad para la inversión, cambio climático	SEIN de 500 KV a 750 KV, Bajos niveles de CAPEX, Costos de ERNC en disminución, nuevas tecnologías de generación.	AMENAZAS

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Configuración y evaluación de tecnologías necesaria para la producción de hidrogeno verde del Perú

Las principales técnicas de las potencialidades de producción del hidrogeno verde en el Perú actual y en el mediano plazo son:

La Tecnología-PEM, o tecnología de membrana de intercambio de protones se fundamente en tener como electrolito una membrana ligera de polímeros hermética a los gases (menor a 0,2 mms de espesor), esta a su vez es altamente acida porque se presenta H₂SO₃, gracias a la cual se obtiene la capacidad de conducción de protones, además los electrodos están fabricados generalmente de metales nobles como el platino o iridio. Las capacidades de los electrolizadores PEM están enfocados a la pequeña escala, las eficiencias comerciales están en el rango desde 48 % a 65 %, la cantidad máxima de hidrogeno capaz de procesar está en alrededor de los 30 Nm³ y a su vez para producirlo consume 174 Kw, pero debemos de tener en cuenta que el agua de

alimentación debe tener una conductibilidad inferior a 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, acto seguido se presenta el esquema de un electrolizador tipo PEM.

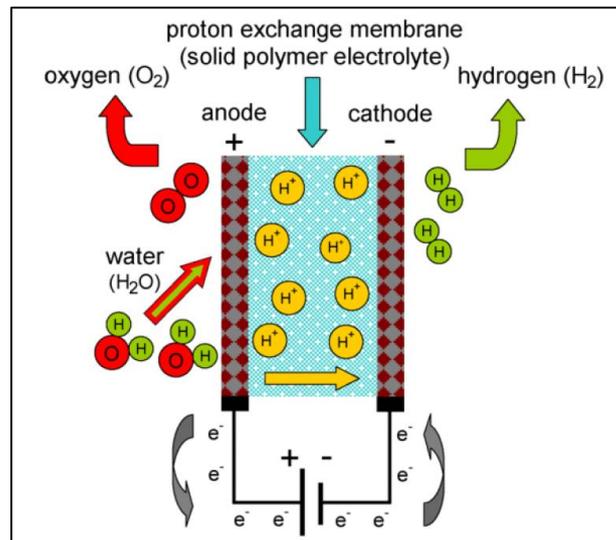
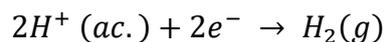
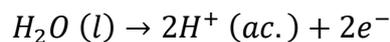


Figura 14. Esquema del Sistema de Electrolisis PEM

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 14 el agua se oxida en el ánodo produciendo oxígeno (O_2), electrones y protones los cuales circulan por la membrana, al llegar al cátodo ocurre una reducción en la cual se produce hidrogeno, los procesos químicos son los detallados:



Electrolizador Alcalino

Los electrolizadores alcalinos gracias a su confiabilidad y su vida útil económica, que llega hasta los 15 años, se han convertido en la tecnología más utilizada, el costo de inversión inicial CAPEX, está en el rango abierto entre los 1,000 a 5,000 US \$ /KW, lo cual depende de su capacidad de producción, la eficiencia total de esta tecnología se encuentra entre el 47 % y el 82 %

Los principales avances tecnológicos en los electrolizadores alcalinos los podemos resumir en cuatro principales puntos:

- Minimización del espacio entre los electrodos para reducir pérdidas óhmicas y así poder usar mayores densidades de corriente.

- La utilización de membranas confeccionadas a base de poliácido de antimonio impregnados con polímeros, un composites poroso compuesto por una matriz de polisulfona y ZrO_2 (Zirfon), además de separadores a base de polifenil sulfuro (Ryton).
- Electrolizadores alcalinos de alta temperatura, estos llegan hasta la temperatura de $150\text{ }^\circ\text{C}$, razón por la cual se realiza la electrolisis sobre el vapor de agua, estas temperaturas aumentan la conductibilidad del electrolito y mejoran las reacciones electroquímicas sobre los electrodos.

Acto seguido se muestra un esquema del funcionamiento de un electrolizador alcalino.

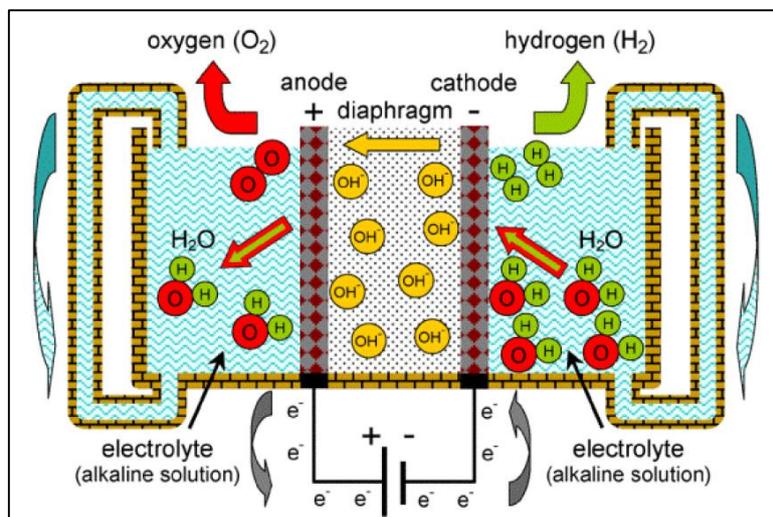
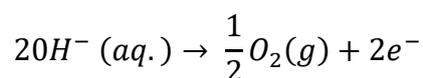
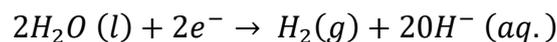


Figura 15. Esquema del funcionamiento de una célula de electrolisis alcalina

Fuente: Elaboración Propia

El gas hidrogeno desprendido en el cátodo dejan atrás moléculas de hidróxido que viaja a través del diafragma, al pasar por el campo eléctrico, los aniones de hidróxido se recombinan en la superficie del ánodo para formar el oxígeno, las reacciones químicas del electrolisis alcalina están dadas por las siguientes ecuaciones químicas:



Se llegan a fabricar unidades de electrólisis alcalina con capacidades de 500 a 700 Nm³, con consumos energéticos correspondientes de 2,150 a 3,534 Kw, además debemos de resaltar la densidad de corriente máxima de 0,4 A/cm², en cuanto al agua de alimentación, debe tener una conductibilidad inferior a 5 µS/cm. Electrolizador a alta temperatura, por último, en electrolizadores se tienen los de óxido sólido o de alta temperatura, estas funcionan normalmente entre los 600 °C y 900 °C, lo cual determina altas eficiencias en comparación a las anteriores tecnologías, la principal diferencia con las tecnologías anteriores es que el electrolito es un sólido, a continuación, se presente un esquema de funcionamiento.

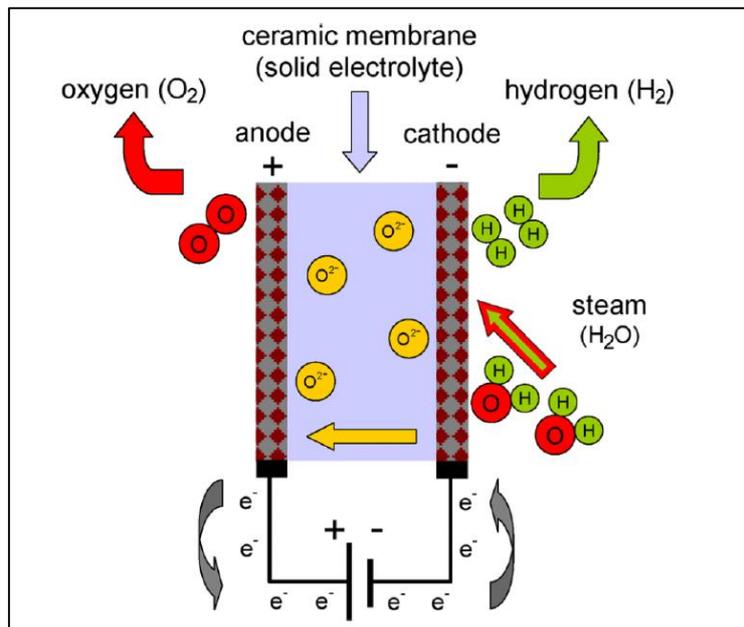
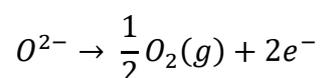
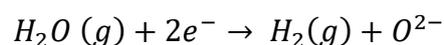


Figura 16. Funcionamiento de una Celda de Electrolisis de Oxido Solido

Fuente: Elaboración Propia

En este tipo de celda ocurre la electrolisis directamente sobre el vapor de agua, el cual en el cátodo genera el gas hidrogeno y a través de la membrana cerámica pasa el anión oxígeno, al llegar los aniones de oxígeno al ánodo se recombina en O₂, el proceso químico está dado por las siguientes relaciones químicas:



En la tabla siguiente se encuentra resumida la información más relevante de electrolizadores comerciales alcalinos y PEM:

Tabla 12. Principales fabricantes y rendimiento

Manufacturer	Technology (configuración)	Rated Production (Nm ³ /h)	Rated power (kW)	Specific Energy Consumption (kWh/Nm ³)	Efficiency (%)	Maximum pressure (bar)	Hydrogen purity (%)
AccaGen	Alcaline (bipolar)	1 - 100	6.7 - 487	6.7 - 4.87	52.8 - 72.7	10	99.9
Avalance	Alcaline (monopolar)	0.4-4.6	2-25	5.43 - 5	65.2-70.8	448	n.a
Claind	Alcaline (bipolar)	0.5 - 30	n.a	n.a	n.a	15	99.7
ELT	Alcaline (bipolar)	3 - 330	13.8 - 1518	4.6 - 4.3	76.9 - 82.3	atmospheric	99.8 - 99.9
ELT	Alcaline (bipolar)	100 - 760	465 - 3534	4.65 - 4.3	76.1 - 82.3	30	99.8 - 99.9
Erredue	Alcaline (bipolar)	0.6-21.3	3.6-108	6 - 5.1	59-69.8	2.5-4	99.3 - 99.8
Giner	PEM (bipolar)	3.7	20	5.4	65.5	85	n.a
Hydrogen technologies, división of statoil	Alcaline (bipolar)	10 - 500	43 - 2150	4.3	82.3	atmospheric	99.9
Hydrogenics	Alcaline (bipolar)	10 - 60	54 - 312	5.4 - 5.2	65.5 - 68.1	10	99.9
Hydrogenics	PEM (bipolar)	1	7.2	7.2	49.2	7.9	99.99
H2 Logic	Alcaline (bipolar)	0.66 - 42.62	3.6 - 213	5.45 - 5	64.9 - 70.8	4	99.3 - 99.8
Idroenergy	Alcaline (bipolar)	0.4 - 80	3 - 377	7.5 - 4.71	47.2 - 75.2	1.8-8	99.5
Industrie Haute	Alcaline (bipolar)	110 - 760	511.5 - 3534	4.65 - 4.3	76.1 - 82.3	32	99.8 - 99.9
Tecnologie Linde	Alcaline (bipolar)	5-250	n.a	n.a	n.a	25	99.9
PIEL, division of ILT technology	Alcaline (bipolar)	0.4 - 16	2.8-80	7-5	50.6 - 70.8	1.8 - 18	99.5
Proton OnSite	PEM (bipolar)	0.265 - 30	1.8 - 174	7.3 - 5.8	48.5 - 61	13.8 - 15	99.999
Sagim	Alcaline (bipolar)	1-5	5-25	5	70.8	10	99.9
Teledyne Energy	Alcaline (bipolar)	2.8 - 56	n.a	n.a	n.a	10	99.999
Treadwell coporation	PEM (bipolar)	1.2 - 10.2	n.a	n.a	n.a	75.7	n.a

Fuente: Elaboración Propia

La Unidad Nm³ (Normal metro cubico), se refiere a la cantidad de hidrogeno que ocupa 1 m³, cuando este se encuentra a 0°C y a una 1 atm.

Almacenamiento

En la actualidad los métodos de almacenamiento de hidrogeno más comunes son los denominados físicos, en los cuales se almacena el hidrogeno en forma

de gas o de líquido, es muy común que al almacenar el hidrogeno como gas se usen presiones entre los 350 – 700 bar, mientras que para almacenarlo como liquido se deba llegar a temperaturas de -252.8°C , sin embargó , no son los únicos métodos para almacenar, existen también los basados en materiales, los cuales retienen el hidrogeno en sus superficies (llamado adsorción) o dentro de ellos (llamado absorción).

A continuación, se presenta un esquema con los actuales métodos de almacenamiento de hidrogeno:

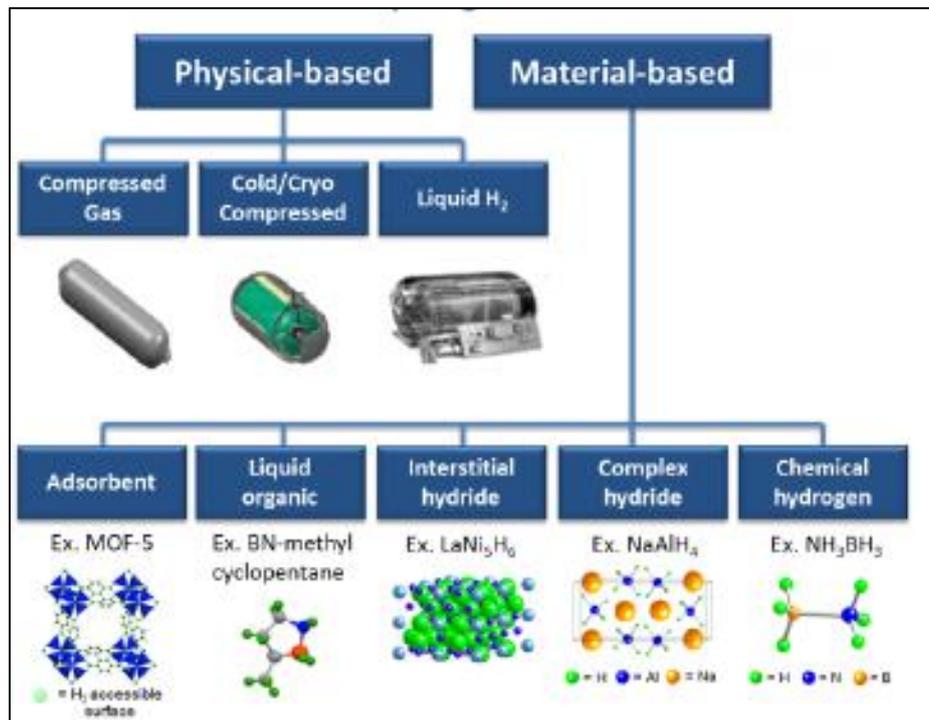


Figura 17. Métodos de Almacenamiento de Hidrogeno

Fuente: Elaboración Propia

El almacenamiento más usado a nivel comercial es del hidrogeno comprimido en estado gaseoso, esto debido a que lo más económico hasta el momento, aunque en la actualidad se llevan investigaciones en las alternativas basadas en materiales, el almacenamiento en gas puede estar compuesto de algunos componentes como un secador y válvula de presión, así como puede ser sencillo del contenedor conectado directamente al electrolizador, es muy frecuente ver diseños como este último y aunque es sencillo tiene desventajas.

Luego se presenta un diagrama de una micro red con un almacenamiento sencillo de hidrogeno:

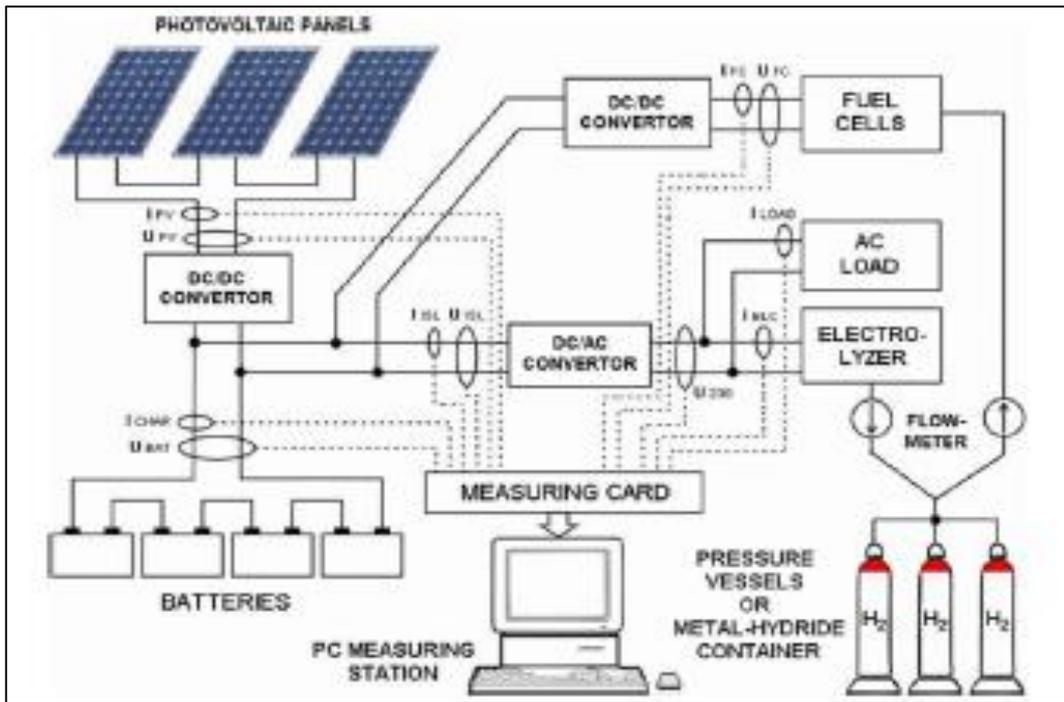


Figura 18. Diagrama de Micro red con almacenamiento simple de Hidrogenó

Fuente: Elaboración Propia

La presión a la cual es almacenado el hidrogeno en ese tipo de diseños depende enteramente de la capacidad de presión que admite el electrolizador, como se aprecia en la figura N° 19, el rango de presiones varía de acuerdo con la capacidad de producción y tipo de electrolizador. Existen electrolizador tipo PEM que son de baja capacidad en producción de hidrogeno y soportan presiones de hasta 85 bar, así como existen electrolizadores alcalinos que producen hasta 760 Nm³/h, pero llegan a tan solo 30 bar de presión.

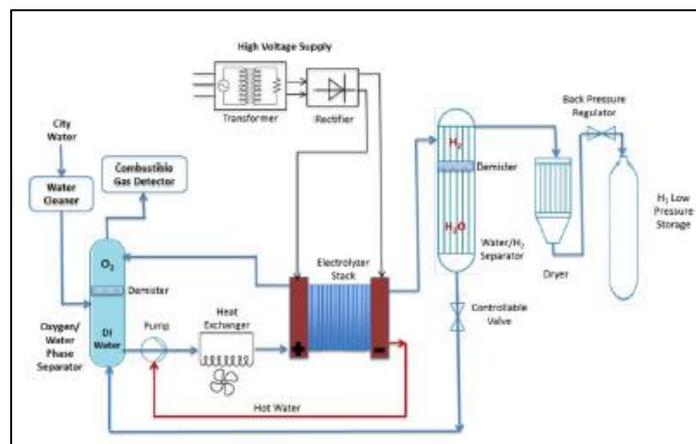


Figura 19. Esquema de un sistema de Electrolisis tipo PEM

Fuente: Elaboración Propia

En el esquema de la figura anterior, se tiene un almacenamiento más elaborado que consta de un almacenamiento temporal en un contenedor con separador para el agua, a su vez consta de un secador para mantener la pureza del hidrogeno y por último un regulador de contrapresión que libera el hidrogeno que la presión rebasa un valor predeterminado.

Desalinización

El agua de mar compuesta por varios tipos de sales, se estima que por cada litro de agua se encuentra disuelta en ella 35 gramos de sal, siendo la sal más común el cloruro de sodio, que representa entre las salas de mar un 80 %, sin embargo, existen otros elementos que conforman el 20 % restante, los cuales son magnesio, calcio, potasio y bromo, la desalinización es el proceso de purificación del agua comúnmente de mar o salobre, en la cual se remueven los componentes que contiene e inclusive se adicionan minerales necesarios para su potabilización. Por otro lado, se presenta la desalación con energía renovable:

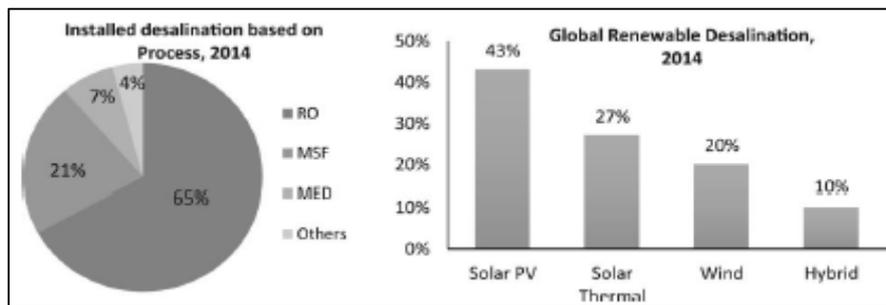


Figura 20. Capacidad de desalación mundial según método y energía

Fuente: Elaboración Propia

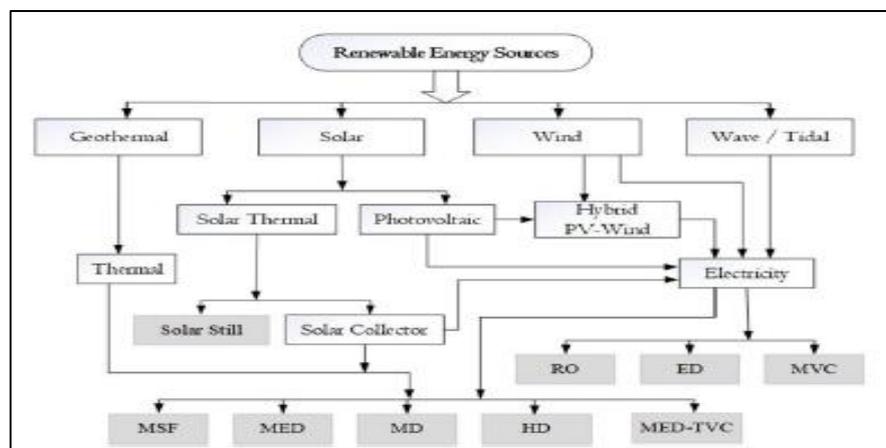


Figura 21. Capacidad de desalación mundial según método y energía

Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia en la figura 20 y 21, los métodos de desalación comerciales requieren de energía eléctrica y en algunas ocasiones también de energía térmica, el método más común es RO (Osmosis inversa) y a su vez la energía renovable más implementada es la solar PV, la aplicación de fuentes de energías renovables a plantas de desalación suele ser más común en lugares sin acceso a una red eléctrica y en donde escasea el agua dulce.

Desalinización Térmica: Existen varios sistemas en desalinización térmica, entre los cuales los más usuales son la destilación multietapa (MSF), la destilación multiefecto (MED) y la compresión de vapor (VC), de este último se encuentran dos variaciones, la mecánica (MVC) y la térmica (TVC).

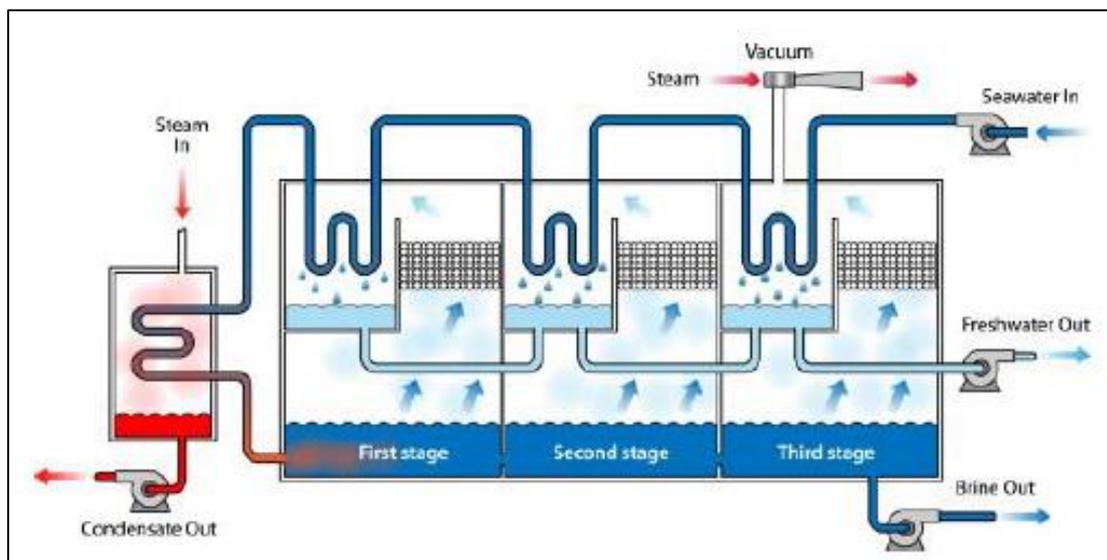


Figura 22. Diagrama esquemático de la Unidad MSF

Fuente: Elaboración Propia

Las unidades MSF requieren de energía térmica y eléctrica puesto que hacen uso de múltiples bombas que mantienen en circulación el proceso térmico, estas unidades MSF pueden procesar cantidades de agua de entre 10 mil a 35 mil $m^3/día$, en este proceso que consta de varias etapas, se tiene inicialmente un bombeo de agua de mar a través de un tubo donde ocurre un precalentamiento antes de llegar a la sección de máximo intercambio calórico, cuando se llega a dicha zona, esta requerirá de una fuente de calor suficiente para elevar la temperatura del agua de mar hasta los $90^{\circ}C$ y $110^{\circ}C$, en la primera etapa se tiene calor y presión necesarios para la vaporización instantánea del agua, el cual sube hasta llegar a una serie de conductos que servirán para su condensación (dichos conductos son los mismos usados para el calentamiento

previo del agua de mar), una vez condensado el vapor de agua se bombea como agua limpia, a medida que se pasa de una etapa otra la temperatura y presión disminuyen, finalmente, el agua residual o mejor nombrada salmuera es bombeada desde la última etapa (que es la de menor temperatura), hacia el exterior.

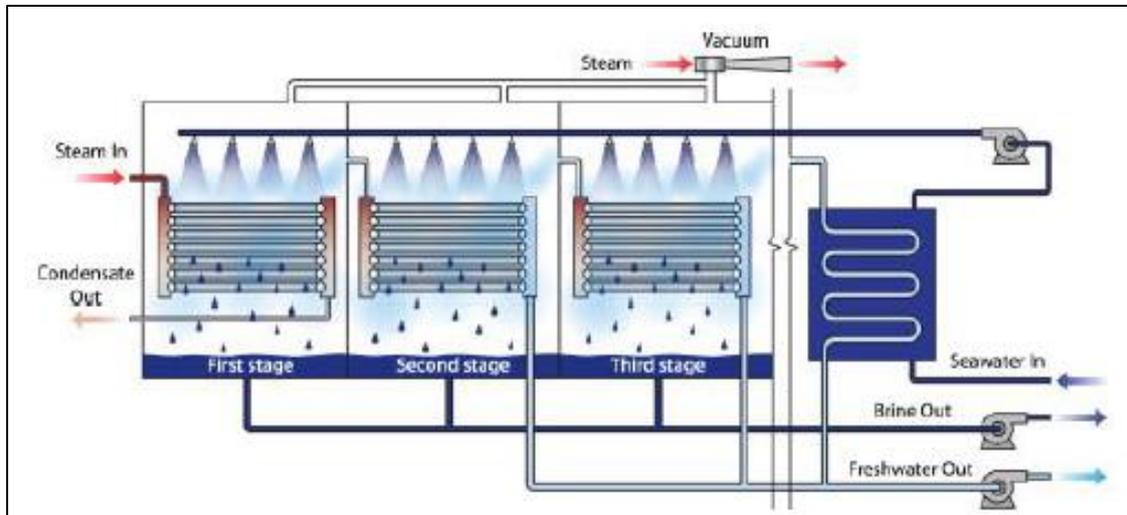


Figura 23. Diagrama esquemático de la Unidad MED

Fuente: Elaboración Propia

En las unidades MED también se aplica una disposición por etapas que intenta aprovechar constantemente la temperatura del producto final que es el agua limpia, en la primera etapa se rocía agua de mar sobre una serie de tubos de elevada temperatura gracias a una fuente de calor externo, dicha agua se evapora y a su vez se condensa, sobre los tubos de transferencia de calor ocurre la separación entre el agua limpia y la salmuera, el vapor de agua se conduce hacia la siguiente etapa en la cual servirá como fuente de calor para volver a iniciar el proceso, después de condensar el vapor de agua se bombea como agua limpia, a su vez también se bombea salmuera residual de cada disposición de tubos de calor, la capacidad de este tipo de unidades varía entre 600 a 30,000 m³/día.

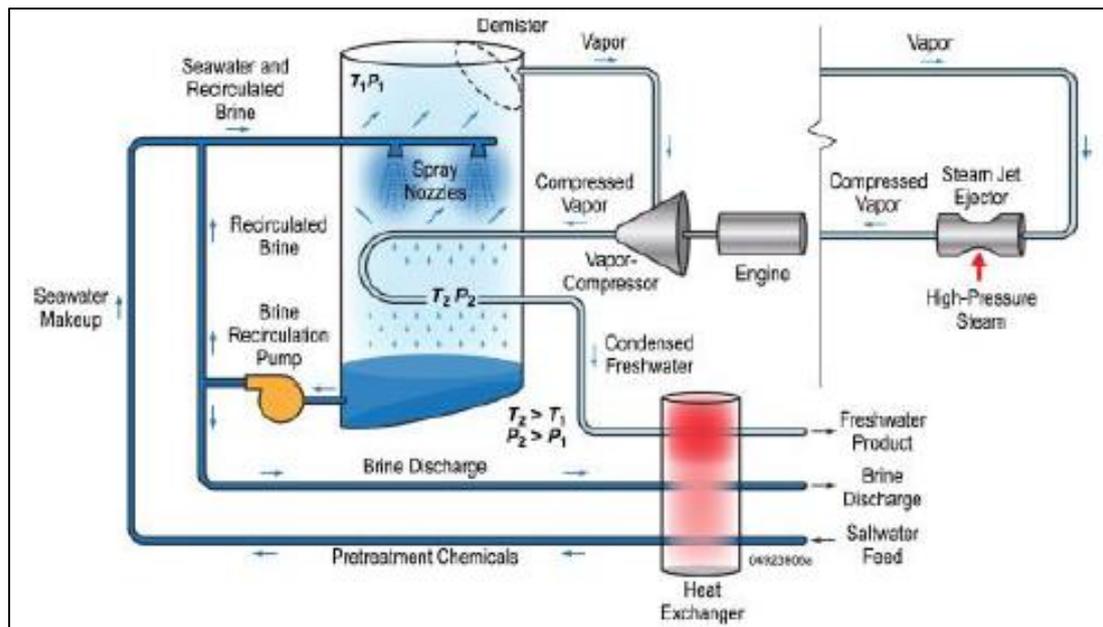


Figura 24. Diagrama esquemático de las unidades VC (MVC y TVC)

Fuente: Elaboración Propia

Las unidades MVC y TVC usan respectivamente compresión mecánica y compresión térmica para llevar el vapor de agua limpia a una temperatura T_2 y presión P_2 elevadas, dicha presión y temperatura son aprovechadas para vaporizar el agua de mar que se rocía a través de unas boquillas, el vapor resultante se usara para rociar o simplemente evacuar, cabe resaltar que el agua de mar tiene un calentamiento previo y este ocurre en el intercambiador de calor del agua limpia, las unidades TVC suelen tener capacidades de entre 10 mil y 30mil $m^3/día$, mientras que la capacidad de las unidades MVC rondan éntrelos 100 y 3 mil $m^3/ día$.

Osmosis inversa

La osmosis inversa gracias a la presurización del agua en una serie de filtros semipermeables consigue agua limpia dejando la sal en el lado de alta presión, este método desalinizador consta de 4 principales pasos o subsistemas, primero se realiza un pretratamiento del agua en que se remueven compuestos y organismos, segundo se procede a presurizar el agua con ayuda de una bomba, esta dará la presión necesaria para que el agua pueda pasar a través de la membrana o filtro, el cuales el tercer paso, la cantidad de presión varía dependiendo del tipo de agua, en el caso de agua de mar se requiere entre 55 y 82 bares, por último, en el cuarto paso se tiene el pos tratamiento que se encarga de eliminar químicos tales como el sulfuro de hidrogeno, a su vez también realiza

un ajuste de pH , la capacidad de esta tecnología tienen la mayor variación, la cual va desde 0,1 m³ /día hasta 395 mil m³/día.

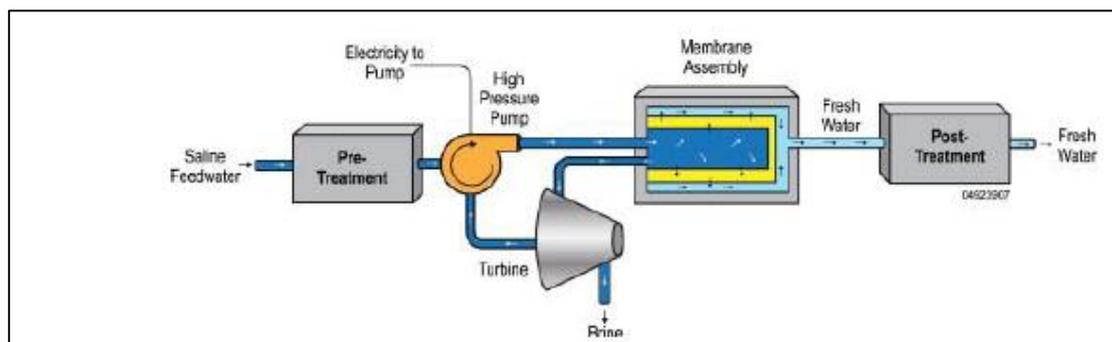


Figura 25. Diagrama esquemático del Sistema

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Tecnología de la configuración viable en el Perú, para la generación del hidrogeno verde

En la actualidad, en el Perú, las principales opciones para la producción de hidrógeno en general, tienen como principales alternativas mediante gas metano u otros hidrocarburos fósiles (Petróleo ligero Brent , Carbón Antracítico, Carbón Bituminoso, carbón lignítico), con elevada emisión de CO₂ (hidrógeno gris, que no contribuyen a la descarbonización de la atmosfera y poder cumplir los objetivos que los países en general y el Perú en Especial, se han trazado), sin efectos de CO₂ (hidrógeno turquesa) o con captura de CO₂ (hidrógeno azul); y por ultimo a partir de Energía Renovable no convencional, como Energía Solar Fotovoltaica, Energía Solar Térmica, Energía Eólica, Energía Mareomotriz , Energía Undimotriz, Energía Geotérmica , energía de la biomasa (Cascara de Arroz, Bagazo de la Caña, rastrojos de la campaña agrícola , biogás u otros residuos orgánicos), (Residuos Sólidos Orgánicos, por Gasificación, Pirolisis, Carbonización Hidrotermal), y por descomposición del agua a partir de fuentes de energía renovables (hidrógeno verde).

Para la generación de hidrogeno en base a los hidrocarburos fósiles, en la Feria Mobility 2030, se han constituido diversas grupos que postulan alternativas sostenibles para la generación de hidrogeno, entre los cuales destacan las investigaciones del grupo Conversión de Combustibles del Instituto de Carboquímica, que se ha abocado al análisis de la descomposición catalítica de hidrocarburos ricos en Metano, que se puede utilizar en los gases licuados de Petróleo (Propano y Butano), pues de manera interesante durante este proceso

no se genera CO₂, denominándose los producido, como hidrogeno Turquesa, debemos además remarcar que en este proceso se producen de manera adicional elementos de carbono en su presentación nano estructurada, cuya estructura es función del tipo de elemento catalizador que se utiliza, que varía desde las Nanofibras de la clase fishbone (Ni) hasta el tipo de nanotubos de carbono (Fe), esta tecnología vienen siendo escalada a nivel comercial en diversos proyectos de los laboratorios CENIT – SHERA, Además debemos de analizar, la posibilidad de practicar en instalaciones del tipo semipiloto, con lecho rotatorio y fluidizado de modo continuo, los últimos experimentos se han centrado en la utilización del biogás como origen del gas natural, siendo consideradas incluso en las aplicaciones de material carbonoso, la preocupación medio ambiental a nivel de la organización de las naciones unidas, es la producción de hidrogeno sin huella alguna de carbono, y con el apoyo del Grupo de trabajo de captura de CO₂, del famoso instituto de Ciencia y Tecnología del carbono (INCAR), en el conocido proceso ca/cu, en donde es conocido que se recombina el reformado de gas natural y absorción de Cao, bajo la gestión de un catalizador de reformado, en un ciclo Redox CuO/Cu, que nos proporciona la potencia necesaria para regenerar el sorbente, junto a la producción de un flujo concentrado de CO₂, al analizar el proceso notamos que el proceso está compuesto de tres fases de química reacción, dentro de un sistema de lechos fijos a presión y consta de los principales productos un flujo de H₂, con una pureza superior al 95,5 en volumen, consta además de un flujo de N₂ técnicamente puro lo cual abre la posibilidad de Exportar, vapor y electricidad, este último proceso de laboratorio se validó a escala industrial, con unos costos de producción de H₂ (con eficiencias de captura de CO₂ > 95 %), valores que son inferiores entre un 7 – 9 % de los obtenido mediante el proceso de reformado con vapor de agua y con la captura adicional de CO₂, por intermedio del procedimiento de la Metildietanamina, en el avance de la ciencia se han abierto nuevos frentes de investigación, tal como la variante CASOH, del Proceso, que nos permite convertir hasta el 99 % del CO existente, en un flujo de gas de alto horno, en una corriente de H₂/N₂, que es susceptible de ser integrada en la acería y en una corriente concentrada de CO₂.

Otra de las alternativas de generación del hidrogeno, tiene que ver con los residuos sólidos orgánicos producidos por el ser humano en el que mediante la

gasificación se logra obtener energía, por lo que en la actualidad se han realizado indagaciones para disminuir los costos y complejidad de producción enfocado a la producción de hidrogeno verde. Entendiendo el proceso, permite establecer una corriente gasificada de salida a una ratio de H₂/CO que se puede modular. De esto, se puede resaltar que el gas sintetizado que se produce, es tomado como corriente de entada para la producción de Dimetil Eter, esto permite que participe especialistas en Petroquímica y catálisis que mejoran hasta obtener una alta relación de H₂/CO, que posteriormente trabaja con glicerol y se emplea el residuo el biorrefinerías.

En cuanto al problema de almacenamiento y distribución del hidrogeno, debemos de recordar que el combustible con mayor concentración energética es el hidrogeno, que llega hasta 33.33 Kwh/Kg, pero el problemas es su bajísima densidad a presión de una atmosfera, , pues incluso a la presión de 150 Bar, la densidad energética es de 0,449 Kwh/L, en comparación con los 8,8 KwHr de la gasolina, por lo cual se deben investigar, planificar y crear tecnologías, para viabilizar el gas como vector energético, pues en la relación final coste/ eficiencia, sumados a los procesos en desarrollo de mejora en el almacenamiento del h₂, que incluye los procesos de compresión/licuefacción, la adsorción o el almacenamiento en estado químico y necesitan alinearse a las modernas tecnologías de aplicaciones estacionarias, portátiles, automación y transporte. Como potenciales soluciones de instalación para la producción de hidrogeno verde, en el Perú debemos de tener en cuenta:

Instalación solar de Jicamarca, la cual incluye el campo fotovoltaico de 2,4 kWp que proporciona 12V de corriente continua a un electrolizador formado por 6 celdas en serie, en el que se libera el oxígeno a la atmósfera y el hidrógeno se comprime a 7 bar y se almacena en un recipiente de 17 Nm³ de volumen. El electrolizador usado opera, con una corriente máxima de 250 A. La conexión entre el electrolizador y el generador fotovoltaico es directa.

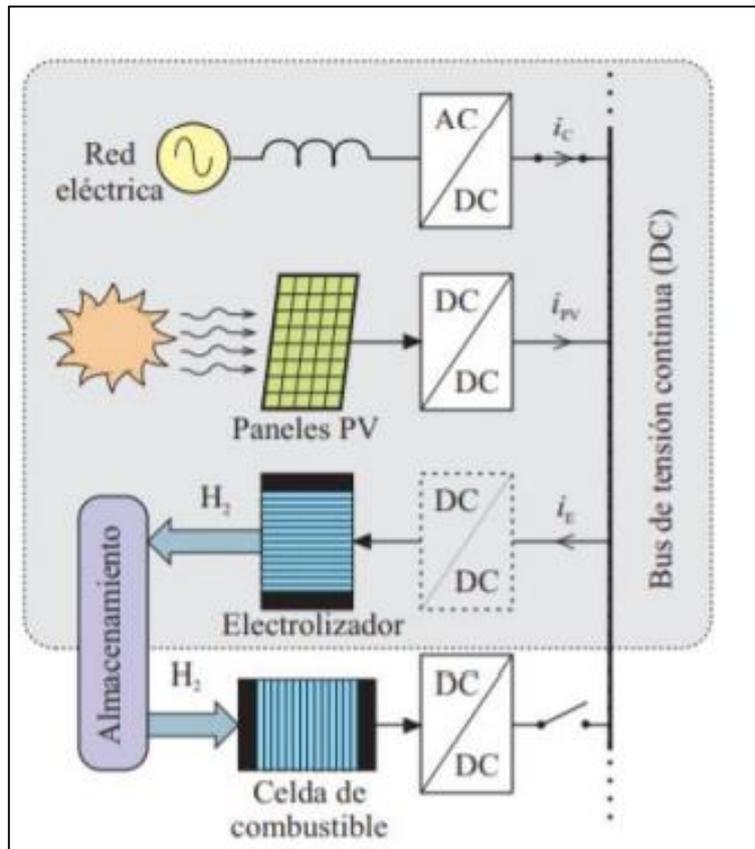


Figura 26. Esquema de Producción PV de H₂, con acoplamiento DC

Fuente: Elaboración Propia

En el valle de locumba, se tiene una instalación que contiene una potencia de 30 kWp de un campo fotovoltaico que presenta una eficiencia del 11 a 14%, en el cual se utiliza electrolizadores de baja tensión de 123 a 135 de potencia y 110 KWel a 34 bar de un electrolizador. Asimismo, se complementa con dos pilas de combustible tipo móvil que presenta una potencia de 6.9 kWel y de 84 kWel con presencia de ácido fosfórico. Al evaluar el sistema se obtuvo una condición anómala en el convertidor DC/AC Y DC/DC que presenta los sistemas, que influyeron en un rendimiento global. Por otro lado, el electrolizador alcalino que se analizó presenta una alteración mínima ante la demanda de energía eléctrica. El siguiente proyecto de hidrogeno en análisis es el expuesto por la Universidad Nacional de Ingeniería que consistía en medir el almacenamiento de hidrogeno producido a través de un electrolizador empleando energía solar y fotovoltaica, los cuales presentaba 200 paneles configurados a razón de 20 cadenas con alimentación de 24v para entregar 9.7 kWp. En el presente caso, el electrolizados usado es de tipo bipolar que produce 4Nm³ H₂/h a 24v referente a 12celdas y 250 Amp. El electrolito fue al 28% con potencia de 6.2 kW. Los resultados

demonstraron que, se logra la entrega de 700 w durante 121 h a un 54% de rendimiento energético, el cual tiene un tiempo de trabajo de 10 años como operación. A continuación, se describe los datos relevantes de esta solución:

- Eficiencia del sistema (sin PV): 34%
- Eficiencia de pila de combustible: 43%
- Eficiencia energética en el electrolizador: 80%
- Eficiencia del voltaje del electrolizador: 84%
- Eficiencia Faraday del electrolizador: 86.4%

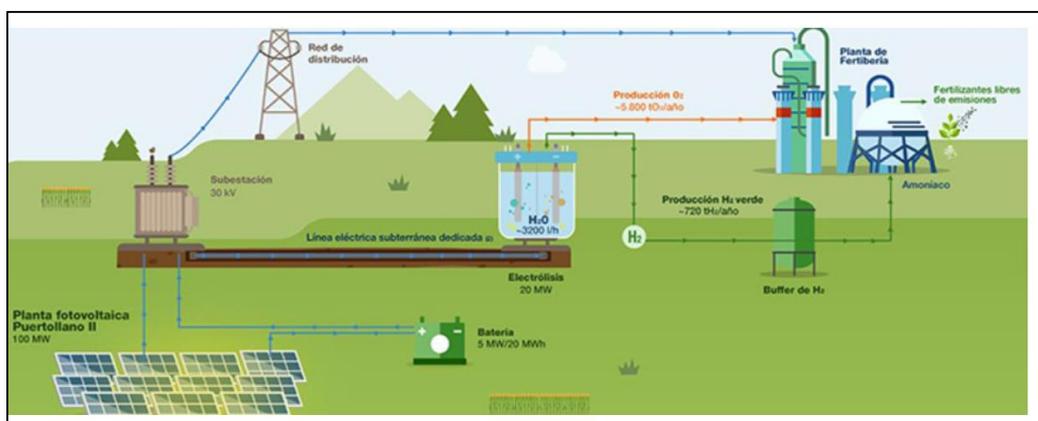


Figura 27. Planta de Hidrogeno Verde

Fuente: Elaboración Propia

Otro proyecto de energía renovable realizado en el Perú, es el presentado por la PUCP, que tenía como fin emplear un sistema fotovoltaico-electrolizador-pila como medio de combustible para abastecer de energía diferentes instalaciones. El estudio resultó ganador del concurso Innóvate que, se entrega a investigaciones en el campo de innovación. La planta configurada para trabajar con 210 paneles suministra 6.1 kWp (1000 W/m² y T_c de 25°C), pues cuenta con almacenamiento de 1600 Ah, 34v y 57 kWh. Asimismo, el electrolizador de tipo vertical se compuso de 19 celdas y una presión de 22 bar de operación, lo que permitió una eficiencia energética de 6 kW, 80 °C para una eficiencia del 87%.

Lo relevante del estudio fue el uso de una pila de combustible que funciona como intercambiador de protones a potencia de 3kW con aire como elemento oxidante, y un electrolítico Nafion 117 diseñado para trabajar a 3 bar. La evaluación del sistema permitió determinar que es viable producir hidrogeno verde mediante

energía renovable, por lo que se debió realizar mejoras en el compresor de aire, agua al electrolizador y los arranques para garantizar la continuidad de la planta. En cuanto a las maquinas, para producción de hidrogeno verde, aplicable al caso peruano debemos de mencionar, los equipos de Origen alemán Marca ELT Elektrolyse Technik Gmbh, los cuales son los de producción más económica.

En cuanto los datos técnicos, seleccionados, con la utilización del software disponible en el mercado, se adjunta la tabla, donde se aprecia claramente que la máquina de electrolisis elegida tiene una potencia de 570 Kw, llegando a producir hasta 125 Nm3 / Hr de H2, incluye todos los accesorios y equipos complementarios para su correcto funcionamiento.

Tabla 13. Información Técnica del Electrolizador Seleccionado

ELY – Alcalino Atmosférico – Elektrolyse Technik Gmbh - ELT			$\eta=0.7$	
Datos Técnicos ELY	Producción de H2 en una hora	$m_{n21}H_2$	122	Nm3/hH2
	Producción de H2 en una hora		10.97	KgH2/h H2
	Producción de O2 en una hora		61	Nm3/h
	Producción de O2 en una hora		5.4839	KgO2/h H2
	Potencia del ELY	P_{ELY}	564.68	KW
	Energía consumida por el ELY en una hora		564.68	KWh
Agua de Alimenta ción	Wasser inn	E_{input}	121.96	Kg/h
	Temperature Wasser inn	E_{input}	20	°C
	Agua in / m_{H2}	P_{input}	11.12	kg/kg H2
Agua de Refrigera ción	Agua de Alimentación inn (Circulación de Agua)		9760	(kg/h) = (l/h)
	Agua de Alimentación inn (Hoja de datos ELT: 80 l/Nm3H2)		80	(l/Nm3h2) a 25°C
	Temperature Agua de Alimentación inn		25	°C
	Temperature Agua de Alimentación out		53	°C

	Contenedor de agua de refrigeración		92129.52	(l/h)
Energía	E input = P_{ELY} / H_2 Prod en una hora = (LHV H2 / η teórico) /// Eficiencia	E_{input}	4.63	kWh/Nm ³ H ₂
	E input (electrolyzer power consumption per unit of hydrogen produced)	E_{input}	51.49	kWh/kg H ₂
	Power in (potencia de entrada del Electrolyz. Requerida para la producir la cantidad de kg de H ₂ necesaria)	P_{input}	564.68	kW
	E input (Energía realmente consumida por el electrolizador)	P_{input}	13552.32	kWh/día
	Electric electrolyzer efficiency = η eléctrica = (HHV/H ₂ / E input) (rendimiento teórico)	η elect.	0.65	

Fuente: Elaboración Propia

Con la utilización de la herramienta de hoja electrónica, en su variante Power Bi, se obtienen los siguientes valores para su determinado análisis:

Tabla 14. Información Técnica del Electrolizador Seleccionado

Mes	Wasser consumption (Kg/mes) recordar que 1 L = 1 Kg	Agua de refrigeración inn (Kg/mes)	Energía consumida por ELY (MWh/mes)	H ₂ producido por día (Nm ³ H ₂ /día)	H ₂ producido por mes (Nm ³ H ₂ /mes)	H ₂ destinado a camiones (Nm ³ H ₂ /día)
Enero	87 812.6	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Febrero	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Marzo	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Abril	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Mayo	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Junio	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Julio	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Agosto	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Septiembre	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Octubre	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Noviembre	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
Diciembre	87 812.59	70 272.00	406.57	2 928.00	87 840.00	84 000.00
	(Kg/año)	(Kg/año)	(MWh/año)	(Nm ³ H ₂ /año)	(Nm ³ H ₂ /año)	(Nm ³ H ₂ /año)
Total año	1 053 751.13	843 264.00	4 878.84	1 054 080.00	1 054 080.00	1 008 000.00

Fuente: Elaboración Propia

Lo cual podemos sintetizar en la figura adjunta:

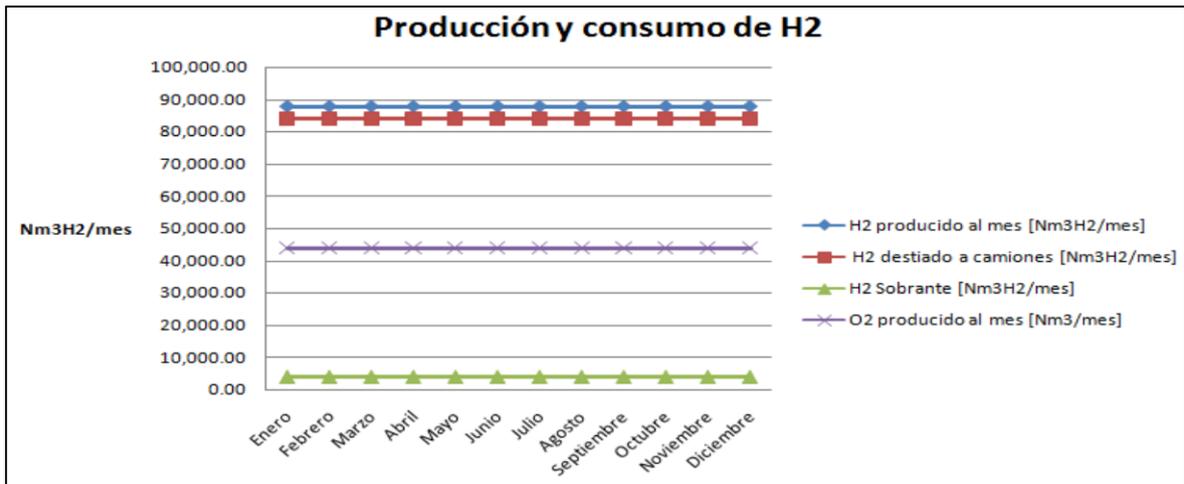


Figura 28. Hidrógeno Producido en forma Mensual

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a los equipos complementarios, estos serán de las características principales.

El compresor de baja presión, debe ser capaz de funcionar con hidrogeno en estado de gas, con las presiones de entrada debe ser la atmosférica y la de salida del rango de los 30 bar, lo cual deja abierta la posibilidad de ser almacenado, se debe diseñar con un flujo mínimo de diseño de 125 Nm3 /hr de H2, por ser la capacidad del electrolizador, se utilizará un compresor Marca Green Fields, con una capacidad instalada de compresión de 125 Nm3 /Hr , una presión límite de seguridad de 40 bar, y un consumo de potencia de 15 Kw , los motores de accionamiento de los compresores serán trifásicos de una tensión de 380 Voltios y un desfase entre voltaje y amperaje que determina un factor de potencia de 0.8.

En cuanto, profundizamos el análisis en cuanto la elección del compresor, de alta y muy alta presión, junto a los tanques – tubos de almacenamiento, están ligados entre sí, dándose dos situaciones, primero cuando se conoce el régimen de trabajo , que es cuando se pueden elegir los compresores y los tanques a la medida, y cuando no se conoce con precisión el régimen de carga diario, siendo sus sistema de carga diferente al primer caso, en ambos casos , se puede determinar el número de tanques de almacenamiento, cumpliendo la condición que los tanques no tengan una presión superior a 30 bar, ni inferior a 25 Bar, asegurándose las presiones de entrada del compresor de alta, y pudiéndose determinar el volumen de almacenamiento del tanque, el tanque muestra que la

extracción de 500 Nm³ de hidrogeno, ocasiona una disminución de 5 bar en el tanque elegido , pudiendo determinar el número de tanques, como el resultado de la división, del volumen total ente 97 m³ (Capacidad individual de los Tanques) , sin que la presión caiga más de 5 bar.

$$\frac{2880 \text{ Nm}^3 \text{ GH2}}{\text{día}} \cdot \frac{1}{\frac{485 \text{ Nm}^3 \text{ GH2}}{\text{tanque}}} = 6 \text{ tanques}$$

Pudiéndose resumir en el cuadro adjunto:

Tabla 15. Cantidad de Tanques a Baja Presión

Condiciones de admisión del compresor alta presión

Presión máxima [bar]	30	Capacidad 1 tanque [Nm3]	2910
Presión mínima [bar]	25	Capacidad 1 tanque [Nm3]	2425
[bar]	5	[Nm3]	485
Influencia por tubo [Nm3/bar]	97		
Cada tubo puede entregar [Nm3]	485	bajando 5 bar su presión	
Cantidad de tubos necesarios	6		

Fuente: Elaboración Propia

Pudiéndose analizar bajo el siguiente cuadro:

Tabla 16. Cantidad de Tanques a Baja Presión

Descripción	Cantidad
Capacidad 1 bar [m3]	97
Capacidad de 1 tanque a 30 bar [m3]	2910
Cantidad total de todos los tanques a 30 bar [m3]	17460
Cantidad de tanques	6
Presión máxima de trabajo [m3]	30

Fuente: Green Fields

Siendo los principales componentes:



Figura 29. Tanques de baja Presión

Fuente: Elaboración Propia

Para las operaciones de transporte, es necesario un segundo compresor, en este caso de alta presión, para el carguío de las cisternas que conforman el gaseoducto virtual, que se tardan de manera aproximada una hora en cargar, se recomienda el uso de Compresor Marca Green Fieldr.



Figura 30. Compresor de alta Presión

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de hidrogeno verde como parte de la Matriz Energética Peruana.

La viabilidad técnica y económica del hidrogeno verde en la matriz energética, está basada en consideraciones de tipo técnico tales como:

Cumplimiento de las metas de descarbonización contempladas en los acuerdos y compromisos adoptados por el Perú en noviembre del 2021 en Glasgow Escocia, referido a la disminución de la cuota de emisiones de 208 Millones de TM de CO₂ a 176 Millones de TM de CO₂, por año, que permitirán cumplir con la meta de un incremento de temperatura global del planeta Tierra inferior a 1.5 °C, al 2050.

Hoy más que nunca existe un consenso y un compromiso de la comunidad internacional para contrarrestar los efectos del cambio ambiental global. En ese contexto, las ciudades en su rol de sociedad organizada son llamadas a la acción para liderar la implementación de medidas adaptativas y de mitigación frente a los efectos negativos del calentamiento global. De esta manera, nace el concepto de la *ciudad resiliente* como un modelo de sociedad organizada que tiene la capacidad institucional y financiera para superar los cambios físicos, económicos y ecológicos generados por el cambio climático y otros desafíos del futuro. En esa misma línea, la Comisión Mundial sobre Economía y Clima de las Naciones Unidas destaca que las ciudades deben reducir sus emisiones de carbono, invertir en la conservación del medio ambiente, evitar la deforestación, y en lo posible la restauración de los ecosistemas degradados como también fomentar el acceso a energía limpia que sea accesible y eficiente. El sector energético es uno de los más contaminantes y, por lo tanto, una prioridad en la acción contra el cambio climático. La sociedad moderna ha basado su desarrollo económico y social en la combustión de combustibles fósiles que producen altas emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con otros recursos energéticos. Asimismo, el modelo económico capitalista y el sistema de funcionamiento de las urbes en el mundo privilegian el empleo de los combustibles fósiles por su bajo costo y alta eficiencia productiva. No obstante, la volatilidad de los precios del petróleo y la consiguiente preocupación de las naciones por su seguridad energética activaron el desarrollo de tecnología para el aprovechamiento de

fuentes de energía alternativa, entre ellas el gas natural, la energía nuclear y las energías renovables no convencionales.

Recomposición de la matriz Energética Peruana al año 2050, con un Porcentaje de energías Hidroeléctricas del 30%, Gas Natural del 30% y Renovables no convencionales (Eólica, Fotovoltaica, Solar térmica, Undimotriz), canalizadas a través del vector energético hidrogeno verde, dentro de un contexto filosófico de economía verde que se puede definir como “un conjunto de modelos de producción integral e incluyente que toma en consideración variables ambientales y sociales. La economía verde produce bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente.

Adicionalmente, la implementación de un modelo permite aumentar el suministro de energía eléctrica a diferentes partes del planeta, lo que facilita el intercambio comercial y la erradicación de pobreza al obtener mejor calidad de vida e influir en una economía verde, los cuales deben ser el objetivo de la agenda nacional con miras a un futuro competitivo, sostenible e inclusivo, pero sin seguir dañando al medio ambiente, para ello es fundamental tres aspectos:

- Contribución del bienestar económico y social.
- Compromiso del equipo para que la actividad perdure en el tiempo.
- La toma de decisiones teniendo de actor principal al ambiente.

Alineamiento del consumo energético nacional, con la producción energética nacional, para disminuir el déficit comercial energético a menos del 30 % de su valor actual, mejorando la balanza de pagos de la macroeconomía peruana.

Acerca de la Matriz energética peruana, podemos indicar que, es un sector enfocado en los precios internacionales y políticas de liberación que se enfoca a partir de los 90s en volver un sector más competitivo y mejorar las condiciones para la promoción de inversión privada. Ante ello, surge el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERGMIN) que es la encargada de supervisar el suministro eléctrico y que presente calidad, seguridad y permanencia del servicio.

Fuentes de Energía en el Perú

Las fuentes no renovables que cuenta el territorio nacional son variadas como se explicó en el documento, sin embargo, se ha encontrado indicios suficientes de que el Perú cuenta con suficientes recursos económicos y profesionales aptos

para impulsar la producción y exportación del hidrogeno verde, al encontrar los mecanismos necesarios,, en ese sentido, el PhD Erwin Quintanilla sostiene que el Perú presenta un predominio en energías renovables para aproximadamente participar en más proyectos de electrificación. A continuación, se presenta la evolución de la matriz de energía renovable:

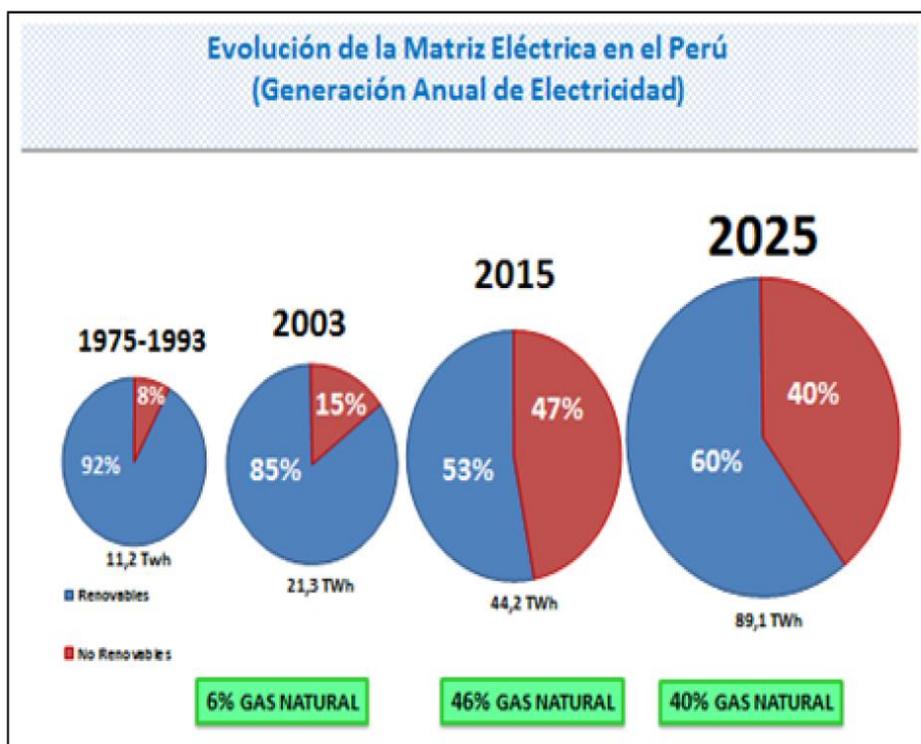


Figura 31. Evolución de la Matriz Energética en el Perú

Fuente: Elaboración Propia

Las consideraciones de tipo económico serán las siguientes:

- Mejor producción y utilización de los bonos de carbono en la economía peruana, bajo los siguientes considerandos:

Posterior a la entrada del Protocolo de Kioto, se impulsa la producción de energía renovable, por lo cual se redijo el precio del carbón con el paso del tiempo. Aunado a ello en el 2008 se presentó una crisis de la deuda europea que genero un desbalance, lo que produjo una evolución en los precios de Reducción de Emisiones Certificadas (CER) y de la Reducción de Emisiones Verificadas (VER) como se muestra a continuación:

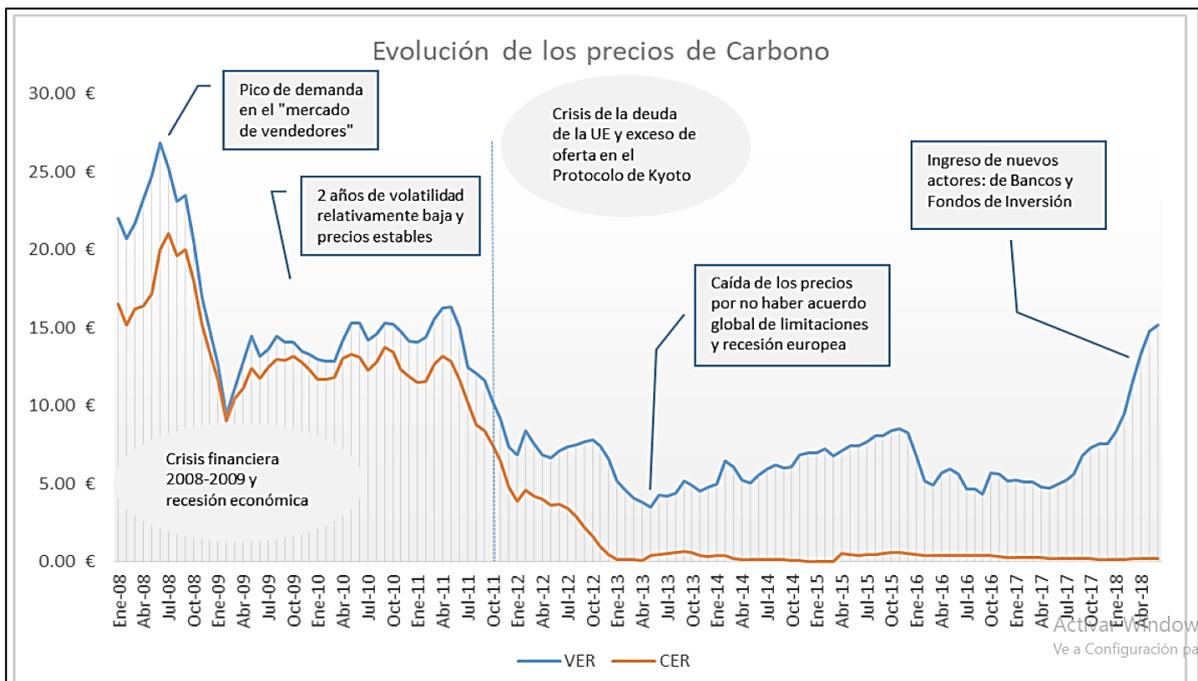


Figura 32. Evolución de los precios de carbono durante crisis de EU 2008

Fuente: Sedenco, Elaboración Propia.

Con el objetivo de obtener la correlación entre la disminución histórica de las energías fósiles referente al VER y CER se realizó un análisis de la data histórica de covarianza de 30.55 que indica una mejora directa entre el incremento del efecto, por otro lado, se obtuvo una correlación de 0.88 que indica una dependencia entre la energía renovable y el consumo.

Tabla 17. Covarianza y Coeficiente de Correlación

Covarianza	30.55
Coeficiente de correlación	0.88

Fuente: Elaboración Propia

También debemos de considerar la disminución de los costos que están experimentando las energías renovables, no convencionales, en especial la energía Solar fotovoltaica, la energía solar térmica, la energía eólica y sus respectivos respaldos de baterías (Tradicionales de Plomo, así como las de litio, tanques de hidrogeno (A presión y criogénicos), que evidencian la disminución de precios, que ha venido teniendo y tendrán este tipo de energías.

Que determinen que el ciclo de vida de los principales energéticos que abastecen a la Humanidad tengan el siguiente ciclo de vida:

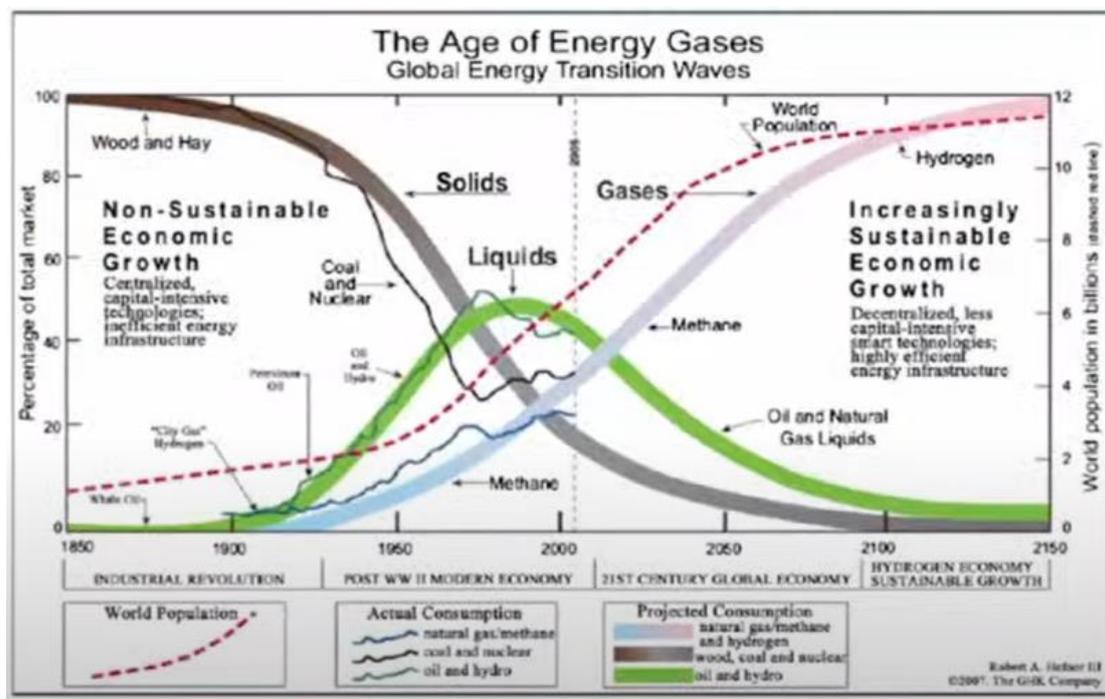


Figura 33. La Era de los Energéticos Gaseosos

Fuente: H2O Perú.

Lo cual, en términos globales, los costos de implementación de ERNC se manejan dos tipos de costos: Costos de inversión (CAPEX): Se distinguen en cuatro componentes: costo de equipos de generación eléctrica, costos de infraestructura, costos de desarrollo del proyecto y los costos de interconexión a la red de transmisión, los cuales se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 18. Costos de Inversión de ERNC

Costos de inversión usados							
Capex Usd/mw	Eolica	Residencial	Solar comercial	Gran escala	Biomasa	Biogás	Geotermia
Equipo de generación	1 413 322	3 974 963	2 854 358	2 734 692	617	378	5 155 000
Balance de planta	184 158	1 005 802	855 403	732 779	529	1 764	-
Costos de desarrollo	175 552	-	-	2 788	-	756	-

Fuente: BID, Elaboración Propia

Tabla 19. Costos de Conexión de ERNC

Costos de conexión usados	
Costos de conexión al STN/SDR	USD/MW
Proyectos solares FV (gran escala)	200 000
Proyectos eólicos	300 000
Proyectos biomasa	200 000
Proyectos geotérmicos	250 000

Fuente: BID, Elaboración Propia

Costos de operación (OPEX): En segundo lugar, están los costos de operación los cuales se dividen en tres (3) componentes, costos de funcionamiento del proyecto según su tamaño, expresados en (USD/MW), un segundo costo dependiente de la energía producida, expresada en (USD/MWh) y entre estos costos de operación se incluyen: los costos del servicio de regulación de CND, ASIC y CREG, las transferencias del sector eléctrico procedentes de las ventas brutas de energía y otros. A partir de lo anterior, los costos operacionales son presentado en la Tabla 20.

Tabla 20. Costos de Operación (CAPEX), de las ERNC

ítem	Unidad	Valor	Tecnología
Cargos O&M fijos	USD/MW	6 500	Para la tecnología solar
		40 000	Para la tecnología eólica
		87 000	Para geotermia
		21 000	Para biomasa solida (caña de azúcar)
		40 000	Para biogás derivado de efluentes de palma de aceite
Cargos O&M variables	USD/MW	-	Para la tecnología solar, eólica y geotermia
	USD/MWh	11.5	Para biomasa sólida y biogás
Cargos CND y ASIC	USD/MW	0.33	Solo aplica para empresas servicios públicos
Ley 99 de 1993	% de la venta de energía	4%	Para plantas mayores a 10 MW cuya producción de energía se base en procesos térmicos.
Ley 99 de 1993	USD/MWh	31.62	Precio de la energía para la aplicación ley 99/93
Ley 143 de 1994	% de gastos de operación	1%	Solo aplica para empresas servicios públicos

Fuente: BID, Elaboración Propia

Es importante tener en cuenta dos tipos de externalidades principales que influyen positiva o negativamente en los costos de implementación: Externalidades positivas sociales: Involucran tres beneficios principales de introducir FNCR a nivel nacional:

- ✓ Beneficios ambientales y sociales (ahorro de combustibles fósiles, reducción de emisiones de efecto invernadero, reducción de impactos en la salud).
- ✓ Complementariedad energética de las plantas hidroeléctricas.
- ✓ Beneficios económicos (desarrollo económico y creación de empleo).

Externalidades negativas de sistema: Costos que pueden ser causados por un alto nivel de integración de FNCR en el sistema eléctrico nacional, para este caso se dan cuatro tipos:

- ✓ Costos de reserva.
- ✓ Costos de conexión a la red.
- ✓ Costos de balance de la red.
- ✓ Refuerzo y extensión de la red.

Dado lo anterior, se logra identificar que para implementar todas las tecnologías que involucren ERNC es indispensable hacer uso de los incentivos para lograr la rentabilidad costo-beneficio; a su vez, si se desea alcanzar todos los nichos del mercado es fundamental incluir las externalidades, pues los incentivos no son suficientes para impulsar las tecnologías hasta una tasa de retorno interno suficientemente atractiva para el mercado privado, esta información relacionada con el costo beneficio de la implementación ERNC se evidencia en la Tabla 21.

Tabla 21. Resumen de análisis de Rentabilidad de ERNC

Tecnología	¿Rentable sin incentivos?	¿Rentable incentivos?	¿Rentable con externalidades?	Sensibilidades
Eólica	X	~	✓	Velocidad del viento
				Costo conexión
Solar residencial	X	~	✓	Precio de compra de energía
Solar gran escala	X	X	✓	Costo de conexión
				Precio de energía
Geotermal	X	X	✓	Exploración y confirmación
				Costos de conexión
Biomasa	X	✓	✓	Producción de calor
				Costo de bagazo
Biogás	X	✓	✓	Producción de calor
				Costo de tratamiento de POME
				Costo de instalación

Fuente: BID, Elaboración Propia

En cuanto al comportamiento, de la rentabilidad de los proyectos eólicos, tanto a nivel proyecto, como a nivel desarrollo, en escenarios de incentivos, políticas promotoras, en el tiempo con los niveles de confianza correctos y a verificar, tendremos que, bajo la perspectiva de análisis de deuda, impuestos, Opex

Variable, Opex Fijo, Capex, y la correspondiente TIR, en escenarios sin incentivos, con incentivos, como empresa en marcha y como proyecto.

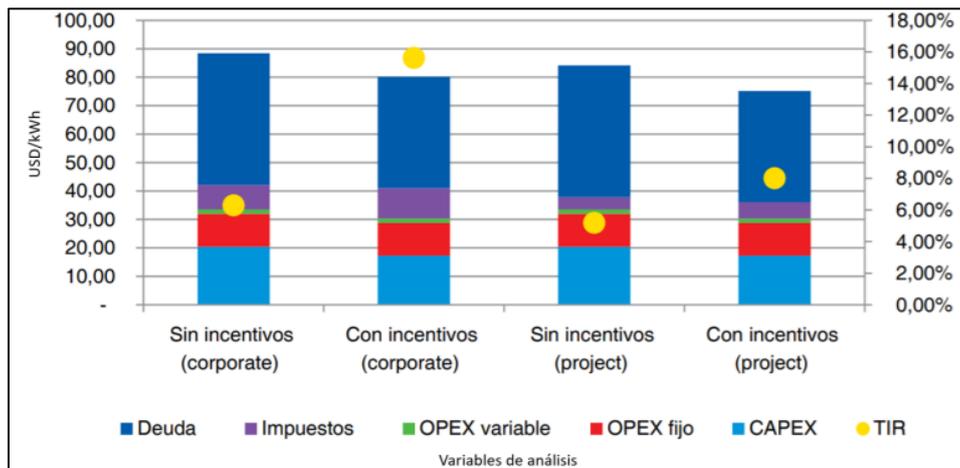


Figura 34. Comportamiento Promedio de la TIR de Proyectos Eólicos

Fuente: UPME, Elaboración Propia

En el lado de los proyectos solares fotovoltaicos, debemos de tener en cuenta, En la Figura 35 se presenta el análisis para la generación energía solar fotovoltaica con los mismos indicadores que la eólica, sólo que la caracterización se hace en proyectos residencial, comercial y a gran escala con los incentivos de la Ley y sin ellos. Para los proyectos de generación de energía solar fotovoltaica, se evidencia que: “el impacto de los incentivos es simplemente el de reducir los impuestos en los primeros años a través de la depreciación acelerada y la deducción de renta, teniéndose que, bajo el régimen de financiamiento por proyecto, este nunca obtiene suficientes ganancias”

Se analiza, el caso de Conexiones Residencial sin incentivos, Residencial con incentivos, Comercial sin incentivos, Comercial con incentivos, Gran escala corporativa con y sin incentivos, Gran escala, proyect Finance, con y sin incentivos.

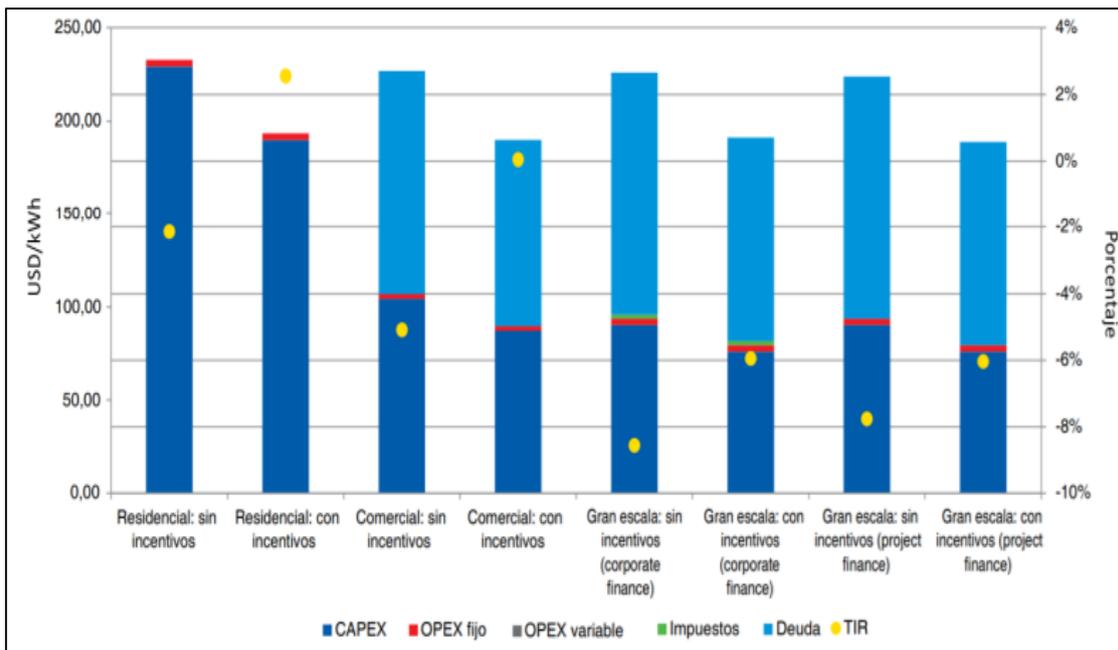


Figura 35. Comportamiento del TIR de los proyectos Solares

Fuente: UPME, Elaboración Propia

Por último, todos estos criterios de viabilidad, se manejarán por un tablero de control integrado, que abarcara varios criterios de análisis, entre los cuales podemos rescatar:

- Criterios de Visión ambiental y todas las alternativas energéticas pertinentes de análisis en la actualidad.
- Criterios de planificación de la Matriz energética, balanza comercial y seguridad energética.
- Criterios de optimización económica de las alternativas energéticas para el Perú en el contexto tiempo actual.
- Criterios de desarrollo de la alternativa del vector energético Hidrogeno verde, cada uno de estos subcomponentes será analizado, con un tablero de comando, los cuales serán ponderados y presentados en un tablero de comando general. Para el caso del primer criterio: Criterios de Visión ambiental y todas las alternativas energéticas pertinentes de análisis en la actualidad.

Tabla 22. Sub Tablero de Control de Criterios Ambientales

Sub-tablero de mando integral – Optimización del uso de hidrogeno verde – Visión ambiental					
Criterio o factor / tecnología	Metano	Hidrogeno	Eólica	Fotovoltaica	Baterías
Gases de efecto invernadero emitidos	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Aumento de la temperatura	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cambio climático	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
No cumplimiento de compromisos COP29	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
No nueva estructura ambiental matriz energética	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Promedio por energético	60	0	0	0	24
Promedio por criterio ambiental	16.8%				
Importancia del criterio ambiental	25.0%				

Fuente: Elaboración Propia

En este caso es necesario remarcar la importancia que tiene la tecnología de almacenamiento en baterías, con la optimización del tablero de control, en el sentido de además de las consideraciones técnicas asociadas con las baterías de Li-S, se debe considerar la viabilidad económica y ambiental de la producción a gran escala de este tipo de baterías, Tradicionalmente, las baterías se han considerado peligrosas para el medio ambiente debido a sus materiales tóxicos y su disponibilidad a nivel del suelo, lo que las hace necesarias para su recuperación mediante el reciclaje. Hasta la fecha, sólo existen unos pocos procesos de reciclaje industrial para las baterías de Li-ion. Además, estos no pueden ser utilizados directamente a las baterías de Li-S, por su baja recuperación de materiales por su alto porcentaje de componentes orgánicos (resinas, electrolitos, separadores, etc.) y resultados económicos poco satisfactorios por su baja cantidad, calidad y valor de los productos recuperados. Por lo tanto, el peso total de los materiales reciclables que no sean electrodos debe aumentarse para que el proceso de reciclaje sea rentable.

Esto se puede lograr mediante la destilación suave de sales de litio y solventes orgánicos, que son ingredientes de alta energía y productos químicos de producción que representan una proporción significativa de alrededor del 15% al 25% del costo total de producción de la celda. El proceso mejorado de destilación térmica al vacío suave de estos dos componentes puede aumentar significativamente los ingresos de los materiales reciclados. Por lo tanto, es necesario estudiar los solventes y sales utilizados en las celdas de Li-S, especialmente en los prototipos, para mejorar la eficiencia

del reciclaje. Este estudio se centra en la modelización térmica de procesos de destilación y el diseño de instalaciones de extracción de líquidos y destilación fraccionada al vacío. Ofrecer una segunda vida y procesos de reciclaje avanzados como enfoques a considerar puede ayudar a mejorar la durabilidad de las baterías de Li-S.

Tabla 23. Comparativa Cualitativa entre baterías de Li ion y Li S

	Li-ion				Li-S
	NMC	NCA	LCO	LFP	
Densidad energética	+	+	+	+ -	+++
Densidad de potencia	++	++	++	+	+ -
Vida útil	++	+ -	+	++	- -
Autodescarga	++	++	++	++	- -
Seguridad	+	-	-	+ -	+
Coste	-	+ -	+ -	+	+++

Fuente: Benveniste, Elaboración Propia

Actualmente, la industria del automóvil tiene que hacer frente a un coste acumulado de alrededor del 10 % del coste total de un paquete de baterías solo para su eventual eliminación al final de su vida útil (> 3 € / kg). Con la introducción del reciclaje y la recuperación de materiales, esto puede convertirse en un valor de mercado positivo. En teoría, se considera que las baterías de Li-S tienen un menor impacto ambiental debido al uso de azufre, un elemento relativamente común en la Tierra, así como un residuo en muchos procesos industriales, lo que lo convierte en un material. Sin impacto significativo en el medio ambiente ni toxicidad, es relativamente barato. En teoría, se considera que las baterías de Li-S tienen un menor impacto ambiental debido al uso de azufre, un elemento relativamente común en la Tierra, así como a los residuos en muchos procesos industriales, lo que los convierte en materiales. Sin impacto ambiental significativo o toxicidad, es relativamente económico.

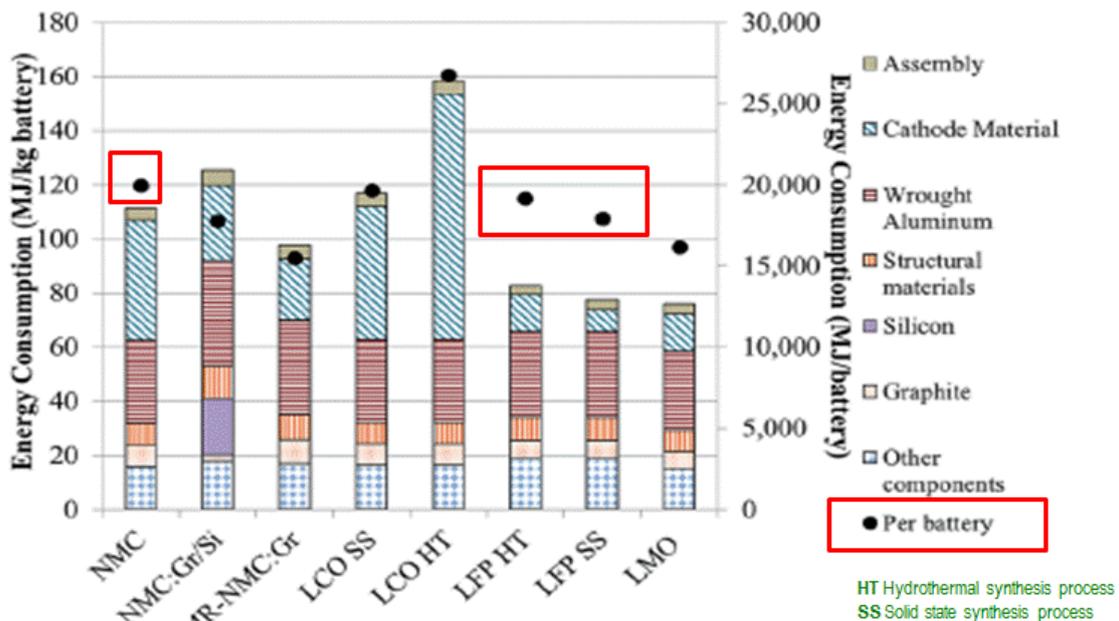


Figura 36. Comparación del ciclo de Vida entre li S y las battery Packs de NCM

Fuente: https://www.google.com/search?q=Comparaci%C3%B3n+del+ciclo+de+Vida+entre+loS+y+las+battery+Packs+de+NCM&sxsrf=APwXEdcvpOQkj5gfWWha1WmZA1dd6tjrtg:1682009405339&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi6xPS09bj-AhWfPjUCHWq6D30Q_AUoAXoECAEQAw&biw=1517&bih=694&dpr=0.9#imgrc=ofsqhpmYdihlzM

Para el caso del segundo criterio: Criterios de planificación de la Matriz energética, balanza comercial y seguridad energética.

Tabla 24. Sub Tablero de Control Criterios de Planificación Energética

Sub tablero de mando integral - optimización del uso del hidrogeno verde - visión planificación					
Criterio o factor / tecnología	Metano	Hidrogeno	Eólica	Fotovoltaica	Baterías
Alejan de Matriz Energética Productora	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Nº optimiza Matriz Eléctrica	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Balanza Comercial y de Pagos negativa	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Precios internacionales influyen	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Nº seguridad Energética	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Promedio por Energético	0	50	0	0	30
Promedio por Criterio Planificación	32%				
Importancia del Criterio Planificación	35%				

Fuente: Elaboración Propia

Es bien sabido que la quema de combustibles fósiles para generar calor y electricidad produce gases de efecto invernadero (GEI), que a su vez dañan el medio ambiente y provocan el cambio climático. Según un informe publicado por la AIE en 2015, la producción y el uso de energía actuales no se ajustan a los requisitos ambientales internacionales, no son sostenibles y no pasan la prueba de seguridad energética. En un informe de 2013, la IEA encontró que el sector energético es responsable de dos tercios de estas emisiones y, por lo tanto, es responsable de cumplir o no los objetivos de cambio climático (IEA, 2013). Los países industrializados son los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero y necesitan más control y regulación, así como mecanismos de desarrollo más limpios para promover el uso de energías menos contaminantes. Es imperativo que la política energética se centre en el suministro y la entrega de energía a los consumidores finales individuales e industriales a bajo costo y de manera sostenible a nivel local y mundial. El bloque emergente de Brasil, China, India, Rusia y Sudáfrica promete duplicar el consumo de energía actual, impulsado por un aumento de 1.500 millones de personas en los últimos 20 años. Todo ello supone la disponibilidad de fuentes de energía confiables que puedan satisfacer la demanda de forma limpia y con energía ilimitada, los combustibles fósiles están vinculados a tres problemas globales: la seguridad energética, el desarrollo económico y el cambio climático. Lograr el abastecimiento energético presente y futuro y eliminar la dependencia de los combustibles fósiles es un objetivo a largo plazo, la economía crece gracias al desarrollo de la industria, y esto implica directamente al consumo de energía, que actualmente depende en gran medida de los combustibles fósiles que son incompatibles con el cambio climático. El desarrollo industrial es clave para fortalecer la economía, pero también es fundamental para reducir los impactos ambientales, porque mientras la industria y el transporte sigan consumiendo hidrocarburos, la descarbonización global continuará, y no será posible concretar, en ese sentido debemos tener procesos eficientes y tecnologías basadas en recursos amigables con el medio ambiente que contribuya al suministro ilimitado de energía limpia, lograr la independencia energética y mantener el aumento de temperatura en 2°C. A introducción de nuevas alternativas como la generación de energía mediante un ciclo integrado de gasificación, la cogeneración

y las energías renovables han ayudado a reducir el impacto ambiental y las externalidades asociadas al uso de hidrocarburos como fuente de energía principal. En cuanto a las fuentes de energía renovables, su progresiva expansión en América Latina y el Caribe viene acompañada de altos costos de inversión, haciéndolas menos competitivas en las condiciones actuales del mercado energético, por lo que el papel del Estado es brindar apoyo financiero a la entidad a través de mecanismos tributarios, e incentivos que juegan un papel decisivo para facilitar la introducción y participación de estas fuentes no tradicionales en la matriz energética.

Por lo tanto, el desafío requiere una respuesta amigable con la tecnología más limpia a través de incentivos apropiados en la etapa de evaluación de la inversión. Dado el historial de reducción significativa de los costos de estas tecnologías a través de su uso generalizado y, en el caso del desarrollo nacional, mediante el fomento de la investigación y la financiación adecuadas.

La seguridad energética es un proceso que considera y observa a todos los países, es parte del desarrollo sustentable y obliga a las diferentes sociedades a incluir el tema de los recursos energéticos en su política exterior.

Esto se debe al desarrollo y la planificación en las áreas de educación, cultura y medio ambiente, ya que el uso excesivo de hidrocarburos tiene un impacto negativo en los ecosistemas y aumenta los impactos humanos a largo plazo exponencialmente, lo que lleva a la complejidad y el caos que enfrenta la naturaleza.

Los países deben esforzarse por optimizar las fuentes de energía renovable en las siguientes áreas: local, regional y mundial; Con este fin, deben esforzarse por utilizarlo adecuadamente en los procesos legislativos. El futuro de las energías renovables está impulsado por la rentabilidad porque para que su uso siga creciendo, deben seguir reuniendo capital, lo que significa que los inversores deben ver una rentabilidad competitiva.

Hacer una oferta económica atractiva, no se trata sólo de optimizar el precio de compra inicial, sino también de tener en cuenta los costes totales durante toda la vida útil del equipo y del sistema; esto incluye servicio, confiabilidad y ausencia de tiempo de inactividad no planificado. Otra recomendación importante es la integración de las energías renovables con la red, debe integrar fuentes de generación eléctrica inestables e incluso impredecibles, y al mismo

tiempo (especialmente en el caso de la eólica) transportar electricidad desde zonas donde la red tradicional no está disponible para esta cantidad de energía.

La Agencia Internacional de la Energía define el concepto de seguridad energética como la disponibilidad continua de las fuentes de energía a un precio accesible. A la larga, de este concepto surgen dos cualidades inviolables que deben poseer las fuentes de energía para mejorar la seguridad energética de nuestros países. Por un lado, la fiabilidad del suministro y, por otro lado, el bajo precio, siendo lo más competitivo y estable posible en el tiempo. También es importante entender que el concepto de seguridad energética ha sido redefinido recientemente y considerando los aspectos sociales, económicos y ambientales, es necesario introducir aspectos adicionales para una visión más integral de este tema. El uso de fuentes de energía renovables variables (ERV) afecta directamente la seguridad energética de los países. Estas son fuentes locales y locales, reduciendo así la dependencia de combustibles importados, además de beneficios ambientales conocidos, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mejor calidad del aire y reducción del consumo de agua por unidad de electricidad producida, entre otros.

Técnicamente, la generación de energía distribuida basada en ERV puede aportar otros beneficios al sistema, como una menor pérdida de energía en las líneas de transmisión y distribución, mayor capacidad de recuperación del sistema, etc. sistemas de energía en caso de un desastre, la capacidad de retrasar y evitar inversiones en futura infraestructura de transmisión y generación. En cuanto al primer aspecto relacionado con la seguridad energética, la seguridad del suministro, existen varios períodos de tiempo a considerar cuando se comparan tecnologías de generación de energía con combustibles fósiles o con ERV. En el corto a mediano plazo (en minutos u horas), los temas relacionados con la transmisión de electricidad producida a partir de fuentes de energía renovables variables no se tratan en esta nota y debido a la diversidad de formas de tecnología que merecen ser discutidas con más detalle, condiciones y operaciones del mercado. sistemas eléctricos.

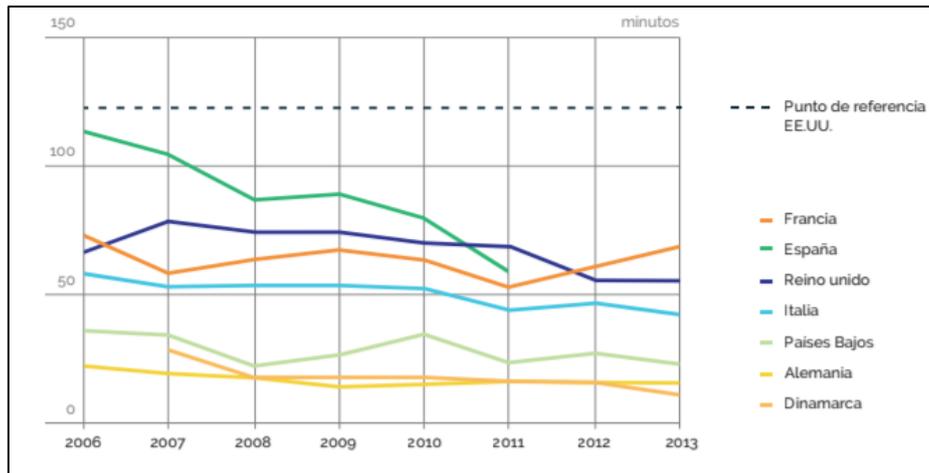


Figura 37. Índice SAIDI para varios países europeos

Fuente: Osinergmin, Elaboración Propia

Complementada la disponibilidad de recursos naturales renovables depende de variables espaciales y temporales. Esto depende de aspectos como la ubicación del proyecto, la altitud, la nubosidad, la temperatura y la humedad, la topografía, etc. Con mediciones in situ, se puede determinar el comportamiento promedio de los recursos en una región en particular y, como se mencionó anteriormente, se puede extrapolar a condiciones futuras.

Este tipo de investigación potencial, y especialmente la calidad de la recopilación de información, es importante para enumerar las opciones de uso de energía para un país determinado. Así como un país puede o no tener carbón, gas o petróleo en sus entrañas, también puede tener agua, viento o sol esparcidos por toda su área geográfica. Cabe señalar que, si bien los combustibles fósiles se encuentran en muchos países, tienden a concentrarse en ciertas áreas geográficas, como el Medio Oriente, así como en países con territorios tan grandes como Rusia y Estados Unidos. Por otro lado, todos los países del mundo cuentan con recursos naturales más o menos renovables, por lo que es necesario llevar un inventario nacional para determinar la cantidad, calidad y complementariedad entre ellos. Cuanto más amplia sea la distribución geográfica de la energía renovable, más probable es que haya escasez o disminución de la intensidad de una fuente en un lugar, la energía se puede generar simultáneamente con otra fuente renovable en otro lugar. De ahí la importancia de la complementariedad en el tiempo entre las fuentes de energía renovables y su relación mutua. Un ejemplo es la volatilidad de la energía solar, que es la principal fuente de la mayoría de los recursos renovables

del planeta. Según Pérez et al.⁵⁵, mientras que diariamente se observa un alto grado de variación de la radiación solar debido a cambios en la geometría entre el sol y la tierra y el movimiento de las nubes, los días son irrelevantes si el período de integración es un año o más. Lo mismo sucede cuando la integración geográfica de los recursos solares se realiza para puntos dispersos en una región o continente, lo que reduce mucho la discontinuidad. De hecho, al extender la extensión espacial por todo el planeta, la variabilidad es cercana a cero.

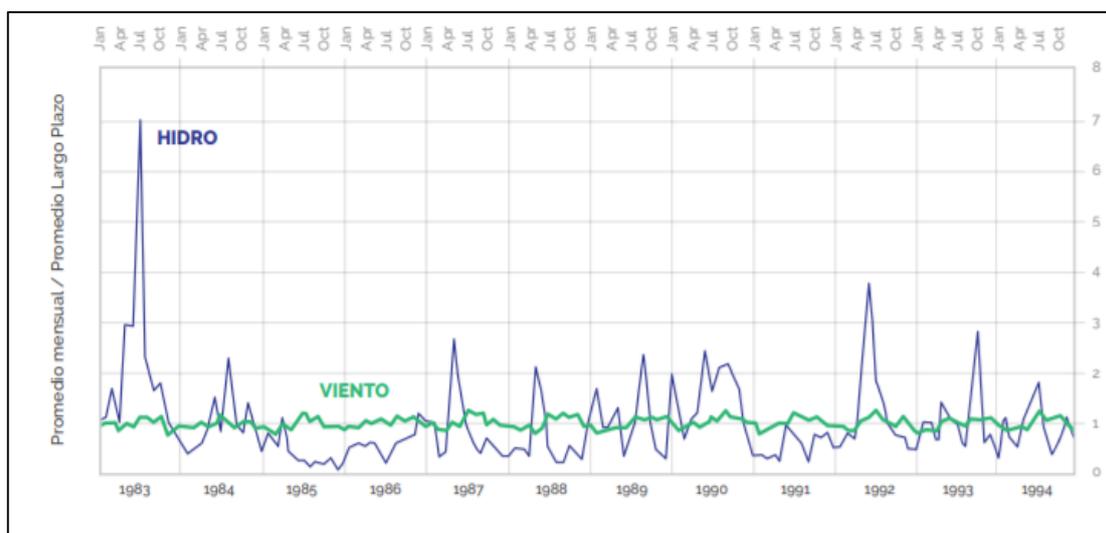


Figura 38. Valores Relativos de Viento y Agua típicos

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso del Tercer criterio: Criterios de optimización económica de las alternativas energéticas para el Perú en el contexto tiempo actual:

Tabla 25. Tablero de Control Criterios de Visión Económica

Sub tablero de mando integral - optimización del uso del hidrogeno verde - visión económica					
Criterio o factor / tecnología	Metano	Hidrogeno	Eólica	Fotovoltaica	Baterías
Nº disminución de costos	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Alto
Nº economía verde circular	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Nº minimización de costos transición energética	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Nº minimización de costos ambientales	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Nº mayor rampa de precios	Bajo	Medio	Alto	Alto	Bajo
Promedio por energético	30	10	20	20	40
Promedio por criterio ambiental	26%				
Importancia del criterio ambiental	25%				

Fuente: Elaboración Propia

El reto de incrementar la sostenibilidad y la competitividad de la industria ha adquirido aún más importancia debido a la crisis de la COVID-19. En esta labor, el sector industrial y los productores de energía deben avanzar de la mano y trabajar conjuntamente en la puesta en marcha de soluciones que logren el máximo de eficiencia energética y contribuyan a la mejora medioambiental. “En este proceso, es clave la valorización energética de los residuos además de la elección de energías eficientes y renovables, combinadas de manera que garanticen un suministro de energía limpia y asequible”. Se trabaja en la mejora la eficiencia energética del sector industrial y en la creación de sinergias para impulsar energías limpias y renovables, mediante el desarrollo de procesos sostenibles de economía circular que minimizan la huella de carbono. Su actividad se basa en el desarrollo de energías renovables - generación de biomasa y biogás a través del tratamiento de residuos; depuración y secado de lodos y purines; recuperación de CO₂; gasificación ‘Waste to Energy’, eólica, fotovoltaica, hidrógeno y mini Hidro. Se analizaron tres centrales eléctricas a partir de biomasa forestal y residuos industriales, y dos más a partir de biogás procedente de residuos ganaderos. También cuenta con dos plantas de tratamiento de residuos y subproductos agrícolas y tres plantas de valorización de CO₂.

La descarbonización de la economía ahora es ampliamente reconocida en todo el mundo como una condición vital para nuestra existencia, ya que los expertos la modelan como necesaria para evitar impactos catastróficos, daños irreversibles al planeta debido a un aumento promedio de la temperatura de más de 1,5 a 2 °C en este siglo. Además, se prevé que esta descarbonización se produzca a mediados de este siglo por la influencia de los gases de efecto invernadero que ya se emiten hoy y los que emitiremos durante un prolongado período de transición de miles de años. antes de que sea absorbido por la naturaleza. Todo esto implica las acciones necesarias hoy para lograr reducciones significativas en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030, con el riesgo de perder cualquier posibilidad de alcanzar el escenario de 1,5-2°C, incluso si la cantidad de GEI aumenta en el futuro.

Para el caso del Cuarto criterio: Criterios de desarrollo de la alternativa del vector energético Hidrogeno verde.

Tabla 26. Sub Tablero de Control Criterios de Visión Económica

Sub tablero demandado integral - optimización del uso del híbrido verde - visión vector hidrogeno verde					
Criterio o factor/tecnología	Metano	Hidrogeno	Eólica	Fotovoltaica	Baterías
Nº disminución de costos nivelados	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Costos de hidrogeno no verde	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
No almacenando de hidrogeno verde	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Transporte de hidrogeno verde	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Matriz energética con hidrogeno verde	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Promedio por energético	10	0	0	0	30
Promedio por criterio planificación	16%				
Importancia del Criterio Vector Hidrogeno Verde	15%				

Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados, los podemos concentrar en un cuadro de tablero integral siguiente, para su gerencia y control.

Tabla 27. Tablero de Control Total Integrado

Tablero de mando integral - optimización del uso del hidrogeno verde - todas las visiones			
Visión	% importancia	% obtenido	Comentario
Visión ambiental	25%	16%	
Visión planificación	35%	32%	
Visión económica	25%	26%	
Visión vector energético	15%	16%	
Promedio ponderado	0%	21.50%	

Fuente: Elaboración Propia

V. DISCUSIONES

- Las tecnologías de la configuración viables en el Perú para la generación del hidrogeno verde, pasa por el cambio de paradigma energético ha incidido en los esfuerzos de los gobiernos y de las empresas, para desarrollar nuevas tecnologías de producción de hidrogeno verde, por Electrolisis PEM, Electrolisis Alcalina, Tecnologías de Oxido Solido, el mercado en países como China, Europa ha originado una serie de fabricantes, que en alianzas con los gobiernos, han investigado e invertido en técnicas nuevas e innovadoras de almacenamiento en micro redes de generación distribuida, tecnologías de almacenamiento MSF, MED, MVC y TVC, que permiten la optimización de insumos claves para la producción del hidrogeno verde como el iridio y el escandio.
- En cuanto a las tecnologías disponibles, a nivel nacional debemos de resaltar las tecnologías Fotovoltaicas, pero a nivel regional norte están las tecnologías a partir de la biomasa (Sacarosa y Glucosa) , que permiten la obtención de hidrogeno verde, pero para su implementación debemos de tener en cuenta su costo de producción, que por economía de escala se prevé que en el Perú será decreciente, y que incluye al costo de transporte que puede ser comprimido y licuado a temperaturas criogénicas, o utilizando los gaseoductos, incluso se habla, de utilizar los gaseoductos de gas natural, y la exportación con el apoyo de buques tanques gasíferos.
- En cuanto la validación de la viabilidad técnica y económica, de la utilización del hidrogeno verde en la Matriz energética Peruana, se ha realizado con el apoyo de una matriz de evaluación o tablero integral de control, con los criterios de tipo ambiental, con sus respectivos sub criterios que se constituyen en el elemento de análisis importante con el 25 %, así mismo debemos de tener en cuenta, los criterios de planificación entre los cuales destaca el de planificación de la Matriz energética que obtiene a mayor ponderación con el 35 %, seguido de los aspecto de costos de producción , costos de transporte, costos de almacenamiento, con el 25 %,

así mismo también se considera las perspectivas del desarrollo del vector energético del Hidrogeno verde con el 15 % de la ponderación total.

- Damos fé que el futuro de la matriz energética es el hidrogeno verde, por ello en diferentes países se implementaron proyectos, siendo en la actualidad un total de 228 proyectos, de los cuales 126 son de Europa, 46 de Asia, 24 en Oceanía, 8 en África y 5 en Latinoamérica, pero es necesario el uso de energía renovable para su producción, algo que el Perú también cuenta a comparación de países de la región, a pesar de ello existen dos plantas de hidrogeno verde en el Perú que siguen operando desde 1965, sin embargo, ser un precursor y presentar un potencial no se encuentra dentro de los planes estratégicos del estado peruano hacia un futuro sostenible (Fernández, 2021).
- Creemos que es justificada técnicamente la tecnología de producción de Hidrogeno ya que existe desde finales del siglo XIX, a partir de la hidrólisis, en el devenir de los años, se han asentado otros medios, tales como la biotecnología y termoquímicos, se han ampliado sus fuentes energéticas, pasando por la Hidroelectricidad (Caso Cachimayo – Cuzco), Carbón (China y Alemania), hasta llegar a las energías renovables no convencionales, tales como la eólica, la solar térmica, la solar fotovoltaica, la undimotriz, la geotérmica entre otras.
- En un futuro no muy lejano, creemos que los modernos sistemas interconectados con generación distribuida con el hidrógeno se convertirán en una fuente de acumulación de energía, que competirá con las baterías y que permitirá que los vehículos eléctricos, sean fuentes de almacenamiento de energía, para aprovechar bloques horarios de precios, periodos de no generación de energía y diferencias entre la oferta y la demanda eléctrica, se constituye por lo tanto en el primer impulsor de las energías renovables no convencionales.
- Con esta investigación estamos aportando a descubrir una nueva fuente de energía limpia, que por el lado ambiental reduciría la emisión de gases de

efecto invernadero, tales como el CO, CO₂, NO_x, SO_x, entre otros disminuye con la utilización del hidrógeno, ya que el mecanismo de pila de combustible, solo se produce como consecuencia de productos terminales de los procesos energéticos al agua, lo que reduciría el calentamiento global.

- Es importante mencionar desde el punto de vista económico, que el costo de los energéticos es otra de las grandes preocupaciones del mundo actual, la subida del Petróleo que en el año del 2008, llego a costar hasta US \$ 250 /Barril, que disminuyo a valores negativos al inicio de la pandemia del Covid 19, y que en la actualidad está a nivel de los US \$ 80.00, se han logrado importantes avances en ahorros por eficiencia energética en iluminación, fuerza motriz eléctrica, pero también en MCI , más eficiencia con el sistema de inyección electrónica, programación de motores, autos híbridos, autos eléctricos, pero con la utilización del hidrogeno se mejoraran estos indicadores, de eficiencia y por lo tanto será viable la inversión CAPEX, en financiar los cambios para la utilización del hidrogeno, así como los ahorros en costos de operación y mantenimiento –OPEX , haciendo viables los indicadores B/C , VAN y TIR.
- Como se ha mencionado, en el Perú se están realizando estudios para demostrar la viabilidad de producción de hidrógeno verde y el impacto de la transición energética, pues permite reducir los costos de la matriz energética, descarbonizar el consumo eléctrico de diferentes sectores y generar un valor agregado a la económica. En este sentido, el presente estudio de investigación plantea evaluar mediante métodos empíricos y científicos la producción de hidrogeno verde para la industria locomotora peruana a mediano y largo plazo, dado que durante la revisión bibliográfica realizada no se encontró investigaciones sobre el tema.
- Estamos convencidos que las potencialidades, fortalezas y oportunidades de la generación de hidrógeno verde en la locomoción en un enfoque de numes mediano y largo plazo es un proyecto innovador de acuerdo a la información de esta investigación, cabe mencionar que es un tema nuevo

y hay mucho por investigar y por experimentar acerca del hidrógeno verde, ya que es viable técnica y económicamente la utilización del hidrógeno verde como parte de la Matriz Energética Peruana.

- En el Perú tenemos los recursos necesarios geográficamente para la producción escalonada de hidrógeno verde, y tal vez lograríamos ser potencia mundial, ya que según ENGIE Impact la producción en el Perú de hidrógeno verde podría ser muy competitiva incluso a nivel mundial, de acuerdo con un primer estudio realizado en el país en el 2021.

VI. CONCLUSIONES

- En la actualidad el cambio de paradigma energético, se manifiesta en una mayor utilización de la Energías Renovables no convencionales, por lo cual las opciones de generación de hidrogeno verde en el Perú se pasan por la utilización de vectores energéticos tradicionales como la electricidad y no tradicionales como el hidrogeno verde, ante lo cual existe un potencial que lo colocan al Perú a un nivel de hub Mundial, con un gran potencial exportador de energía, en forma de hidrogeno verde o electricidad producida con el Hidrogeno y aprovechando los niveles de tensión del sistema eléctrico Peruano.
- Por lo que las potencialidades de producción de hidrogeno verde en el Perú Actual, tienen que tener con las debilidades y amenazas de estructura productiva y social del Perú, nos determinan que el bajo nivel de CAPEX – Inversión existente en el Perú, bajo nivel de inversiones, en un mundo que las nuevas tecnologías de producción de Hidrogeno verde (Electrolisis biotecnológica, energía undimotriz, hidro carbonización, etc).
- Requieren de ingentes fuentes de capital de riesgo y alta rentabilidad, así como la presencia de un mercado potencial que debe ser relanzado, mercado que la gran minería, con posibilidades de utilización en Transporte Pesado, en procesos industriales, que constituyen un mercado seguro, que puede palanquear el mercado de la exportación utilizando la experticia y la experiencia de la utilización del Metano o gas Natural.

VII. RECOMENDACIONES

- Se debe complementar la investigación destinada a la factibilidad de hidrólisis del agua, para generar hidrogeno, con fuente energética de le ENRC, Biomasa de la región Norte.
- Se debe desarrollar de configuraciones de aprovechamiento energética hibridadas, Solar, Eólico y Biomasa en la Región Norte del País.
- Se recomienda hacer un enfoque más a fondo sobre este tema sobre el hidrógeno verde, ya que en nuestro país a un no se tiene mucho conocimiento y no hay difusión por parte de las empresas.
- Este trabajo de investigación es un aporte, como punto de partida, para futuras investigaciones en el Perú, con respecto al impacto que repercutirá en un futuro no muy lejano, sobre el aporte científico que causará en generación de energías limpias.

REFERENCIAS

- ¿Población o muestra?: Una diferencia necesaria. Ventura-León. 2017. 3, 2017, Revista Cubana de Salud Pública, Vol. 43.
- A green hydrogen credit framework for international green hydrogen trading towards a carbon neutral future. Yang, Zhao, y otros. 2022. 5, s.l. : Energy, 2022, Vol. 47.
- Abderezzak, B. 2018. Introduction to Hydrogen Technology. s.l. : Elseiver, 2018.
- Arias, Jose Luis. 2020. Proyecto de tesis. Lima : Biblioteca Nacional del Perú, 2020.
- Asociación Peruana de Hidrógeno. 2021. Creación de una visión sostenible de prosperidad compartida y sostenible. Lima : Biblioteca Nacional del Perú, 2021.
- Assessment of the Potential for Green Hydrogen Fuelling of Very Heavy Vehicles in New Zealand. Julysse, Rapha, Brent, Alan y Hinkley, James. 2021. 9, Nueva Zelanda : Attilio Converti, 2021, Vol. 14.
- Can Green Hydrogen Production Be Economically Viable under Current Market Conditions. Jure, David y Dolanc, Gregor. 2020. 24, s.l. : Energies, 2020, Vol. 13.
- Contaminación Ambiental. Palacios, Ítalo del Carmen y Moreno, Denny William. 2022. 2, s.l. : ReciMundo, 2022, Vol. 6.
- El hidrógeno verde, un acumulador energético para catapultar las renovables. Retuerto, María. 2022. s.l. : CSIC, 2022.
- Enabling the scale up of green hydrogen in Ireland by decarbonising the haulage sector. Laguipo, Jochelle, Forde, Conor y Carton, James. 2020. 1, s.l. : International Journal of Hydrogen Energy, 2020, Vol. 7.
- Fernández, María. 2021. Hidrógeno verde: el combustible que alumbra una nueva era. El País. [En línea] 22 de mayo de 2021. [Citado el: 16 de junio

de 2022.] <https://elpais.com/economia/2021-05-23/hidrogeno-verde-el-combustible-eterno-que-alumbra-una-nueva-era.html>.

- Foster, Scott y Elzinga, David. 2020. El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. s.l. : Naciones Unidas, 2020.
- Gallardo, Eliana Esther. 2017. Metodología de la investigación: Manual autoformativo interactivo. Huancayo : Universidad Continental, 2017.
- Green hydrogen : bridging the energy transition in Africa and Europe. Bragwat, Swetha y Olczak, Maria. 2020. s.l. : Escuela de Regulación de Florencia, 2020.
- Hernández, Roberto y Mendoza, Christian Paulina. 2018. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Santa Fe : Mc Graw Hill, 2018.
- —. 2018. Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Santa Fe : McGRAW-HILL Interamericana Editores S.A., 2018.
- Hidrógeno, baterías y pilas de combustible. Sundén, Bengt. 2019. 2019, ScienceDirect.
- Hydrogen energy systems: A critical review of technologies, applications, trends and challenges. Yue, Meiling y al, et. 2021. s.l. : Revisiones de energía renovable y sustentable, 2021, Vol. 146.
- Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review. Osman, Ahmed, y otros. 2021. s.l. : Energy, climate and the environment, 2021, Vol. 20.
- Hydrogen: A renewable energy perspective. IRENA. 2019. 2019.
- IBERDROLA. 2021. ¿Qué es un electrolizador y por qué es clave para el suministro de hidrógeno verde? [En línea] 29 de abril de 2021. [Citado el: 11 de junio de 2022.] https://www.iberdrola.com/documents/20125/1226064/Infografia_Hidrogeno_Verde.pdf/9272dc64-422e-bef0-60a8-f3396cab1c28?t=1639124604739.

- Industrial Perspective on Hydrogen Purification, Compression, Storage, and Distribution. Peschel, A. 2020. 4, s.l. : Wiley Online Library, 2020, Vol. 20.
- Liceras, Patricia. 2020. Carreteras con menos humos: Autocares de larga distancia movidos con pilas de hidrógeno. [En línea] 17 de enero de 2020. <https://tomorrow.city/a/carreteras-con-menos-humos-autocares-de-larga-distancia-movidos-con-pilas-de-hidrogeno>.
- Osinergmin. 2016. La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Lima : Biblioteca Nacional del Perú, 2016.
- Political Economy of Green Hydrogen Rollout: A Global Perspective. Sadik, Elkhan. 2021. 23, s.l. : Sustainability, 2021, Vol. 13.
- RAE. 2021. Prospectivo. Real Academia Española. [En línea] 2021.
- Repsol. 2020. ¿Qué es el hidrógeno renovable? REPSOL. [En línea] REPSOL, 20 de noviembre de 2020. [Citado el: 16 de junio de 2022.] <https://www.repsol.com/es/energia-innovacion/technology-lab/reduccion-emisiones/hidrogeno-renovable/index.cshtml>.
- Rojas, Alex. 2022. La electromovilidad en el Perú. Energía y Negocios. Mensaje en un blog, 2022.
- Tengfei, Ma, Junyong, Wu y Liangliang, Ha. Energy flow matrix modeling and optimal operation analysis of multi energy systems based on graph theory.
- The economic feasibility of green hydrogen and fuel cell electric vehicles for road transport in China. Li, Yanfei y Taghizadeh, Farhad. 2022. 1, s.l. : La política energética, 2022, Vol. 160.
- The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition—A Technological and Geopolitical Perspective. Noussan, Michel, Raimondi, Paolo, Scita, Rossana y Hafner, Manfred. 2021. 1, s.l. : Sustainability, 2021, Vol. 13.

- Dell, RM; Moseley, PT; Rand, DAJ *Capítulo 8—Hidrógeno, Celdas de Combustible y Vehículos de Celda de Combustible*; Prensa académica: Boston, MA, EE. UU., 2014; págs. 260–295. [[Google académico](#)]
- Linnemann, J.; Steinberger-Wilckens, R. Costos realistas de la producción de combustible para vehículos de hidrógeno y viento. *En t. J. Hidrog. Energía* **2007** , 32 , 1492–1499. [[Google Académico](#)] [[CrossRef](#)]
- Loisel, R.; Baranger, L.; Chemouri, N.; Spinú, S.; Pardo, S. Evaluación económica del sistema híbrido de almacenamiento de hidrógeno y energía eólica marina. *En t. J. Hidrog. Energía* **2015** , 40 , 6727–6739. [[Google Académico](#)] [[CrossRef](#)]
- Parra, D.; Valverde, L.; Pino, FJ; Patel, MK Una revisión sobre el papel, el costo y el valor de los sistemas de energía de hidrógeno para la descarbonización profunda. *Renovar. Sostener. Energy Rev.* **2019** , 101 , 279–294. [[Google Académico](#)] [[CrossRef](#)]
- Rahil, A.; Gammon, R. Producción de hidrógeno despachable en la explanada para la conformación de la demanda de electricidad. *Sostenibilidad* **2017** , 9 , 1785. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Versión verde](#)]
- Mohammadi, A.; Mehrpooya, M. Una revisión exhaustiva sobre el acoplamiento de diferentes tipos de electrolizadores a fuentes de energía renovable. *Energía* **2018** , 158 , 632–655. [[Google Académico](#)] [[CrossRef](#)]
- Gutiérrez-Martín, F.; Confente, D.; Guerra, I. Gestión de cargas eléctricas variables en sistemas eólicos—Hidrógeno: El caso de un parque eólico español. *En t. J. Hidrog. Energía* **2010** , 35 , 7329–7336. [[Google Académico](#)] [[CrossRef](#)]

- Bertuccioli, L.; Chan, A.; Hart, D.; Lehner, F.; Madden, B.; Standen, E. Desarrollo de la electrólisis del agua en la Unión Europea. *LC-GC N. Am.* **2014** . [[Google académico](#)]
- Collier, S.; Ruehl, C.; Yoon, S.; boriboonsomsina, K.; Durbin, TD; Scora, G.; Johnson, K.; Herner, J. Impacto de la Actividad de Camiones Pesados a Diésel en el Consumo de Combustible y su Implicación para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. *transporte Res. rec.* **2019** , 2673 , 125–135. [[Google Académico](#)] [[CrossRef](#)]
- Hyundai Motors Nueva Zelanda. La primera flota mundial de camiones eléctricos de pila de combustible entra en funcionamiento comercial. 2019. Disponible en línea: <https://www.hyundai.co.nz/hyundai-motor-and-h2-energy-to-bring-the-world-s-first-fleet-of-fuel-cell-electric-trucks-into-commercial-operation-> (consultado el 27 de noviembre de 2019).
- ESORO. El primer vehículo pesado de carga de celda de combustible del mundo capaz de cumplir con los requisitos logísticos de Coop. 2017. Disponible en línea: http://www.esoro.ch/deutsch/content/aktuelles/images/Factsheet_Lastwagen_E.pdf (consultado el 5 de octubre de 2019).
- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). Hidrógeno a partir de energía renovable: perspectiva tecnológica para la transición energética. 2018. Disponible en línea: www.irena.org/publications (consultado el 4 de diciembre de 2019).
- Hidrogenia. Soluciones de hidrógeno renovable de Hydrogenics. 2018. Disponible en línea: <http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/Renewable-Hydrogen-Brochure.pdf> (consultado el 4 de diciembre de 2019).

ANEXOS

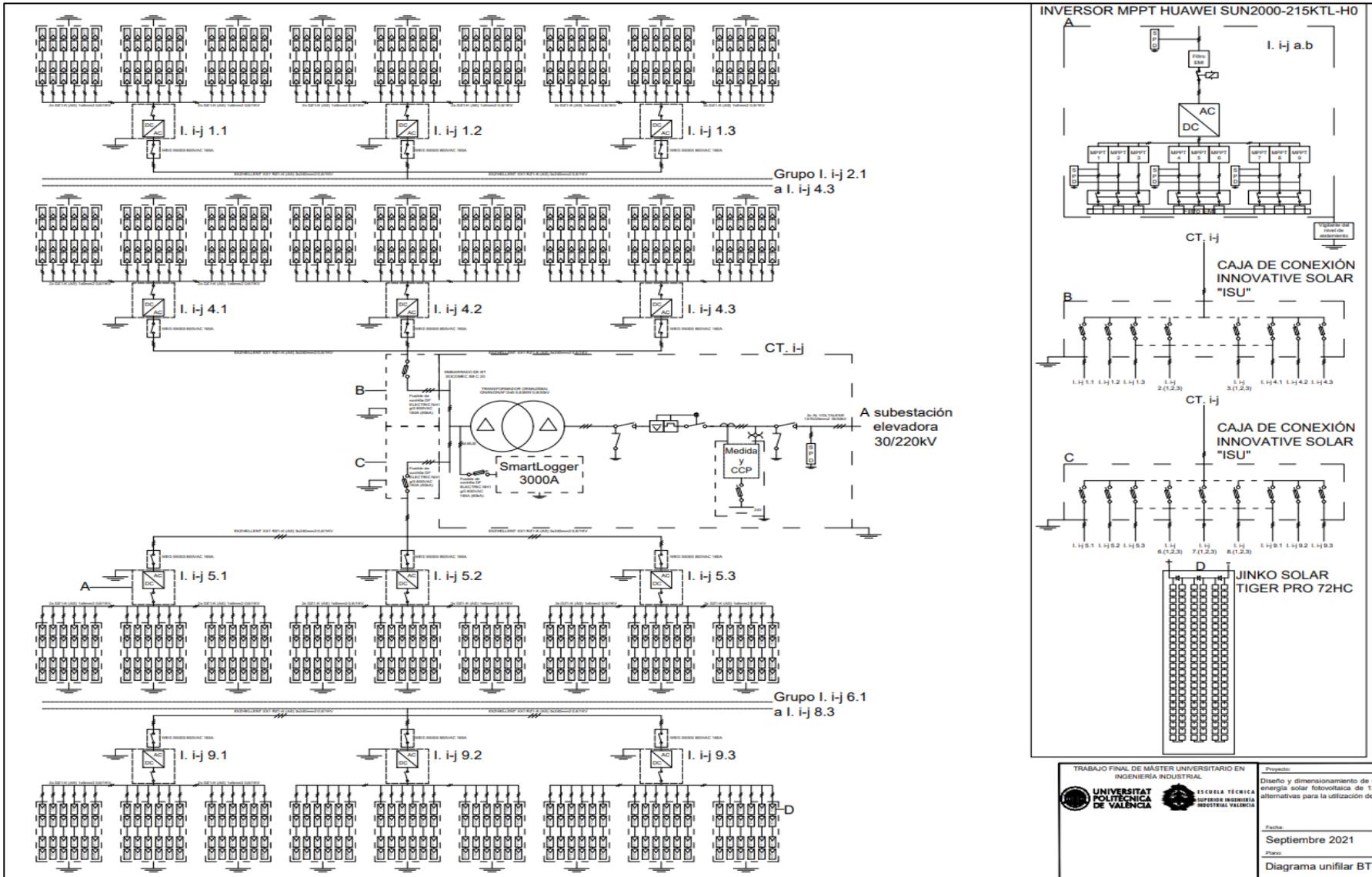
Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
¿Cuál es la prospectiva de hidrogeno verde en la locomoción peruana en un enfoque de numes mediano y largo plazo?	Determinar el futuro del hidrogeno verde en la locomoción peruana a mediano y largo plazo.	La evaluación del hidrogeno verde es viable en la locomoción peruana en una perspectiva nemus a mediano y largo plazo.
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específicas
¿Cuáles son las potencialidades, fortalezas y oportunidades de la generación de hidrogeno verde en la locomoción en un enfoque de numes mediano y largo plazo?	Determinar las potencialidades, fortalezas y oportunidades de la generación de hidrogeno verde en la locomoción en un enfoque de numes mediano y largo plazo.	La fortaleza, oportunidad y potencialidad del hidrogeno es viable para la locomoción peruana en un enfoque de numes mediano y largo plazo.
¿Establecer la configuración y tecnología necesaria para producción de hidrogeno verde en la locomoción del Perú?	Determinar la configuración y tecnología necesaria para la producción de hidrogeno verde en la locomoción del Perú	La configuración y tecnología presentada es adecuada para la producción de hidrogeno verde en la locomoción del Perú en una perspectiva nemus mediano y largo plazo.
¿Establecer la configuración y tecnología necesaria para generación de hidrogeno verde en la locomoción del Perú?	Determinar la configuración y tecnología necesaria para la generación de hidrogeno verde en la locomoción del Perú	La configuración y tecnología presentada es adecuada para la generación de hidrogeno verde en la locomoción del Perú en una perspectiva nemus mediano y largo plazo.
¿Es viable técnica y económicamente la utilización del hidrogeno verde como parte de la Matriz Energética Peruana?	Determinar la viabilidad técnica y económica del uso de hidrogeno verde como parte de la Matriz Energética Peruana.	La evaluación técnica y económica es viable para el uso de hidrogeno verde como parte de la Matriz Energética Peruana.

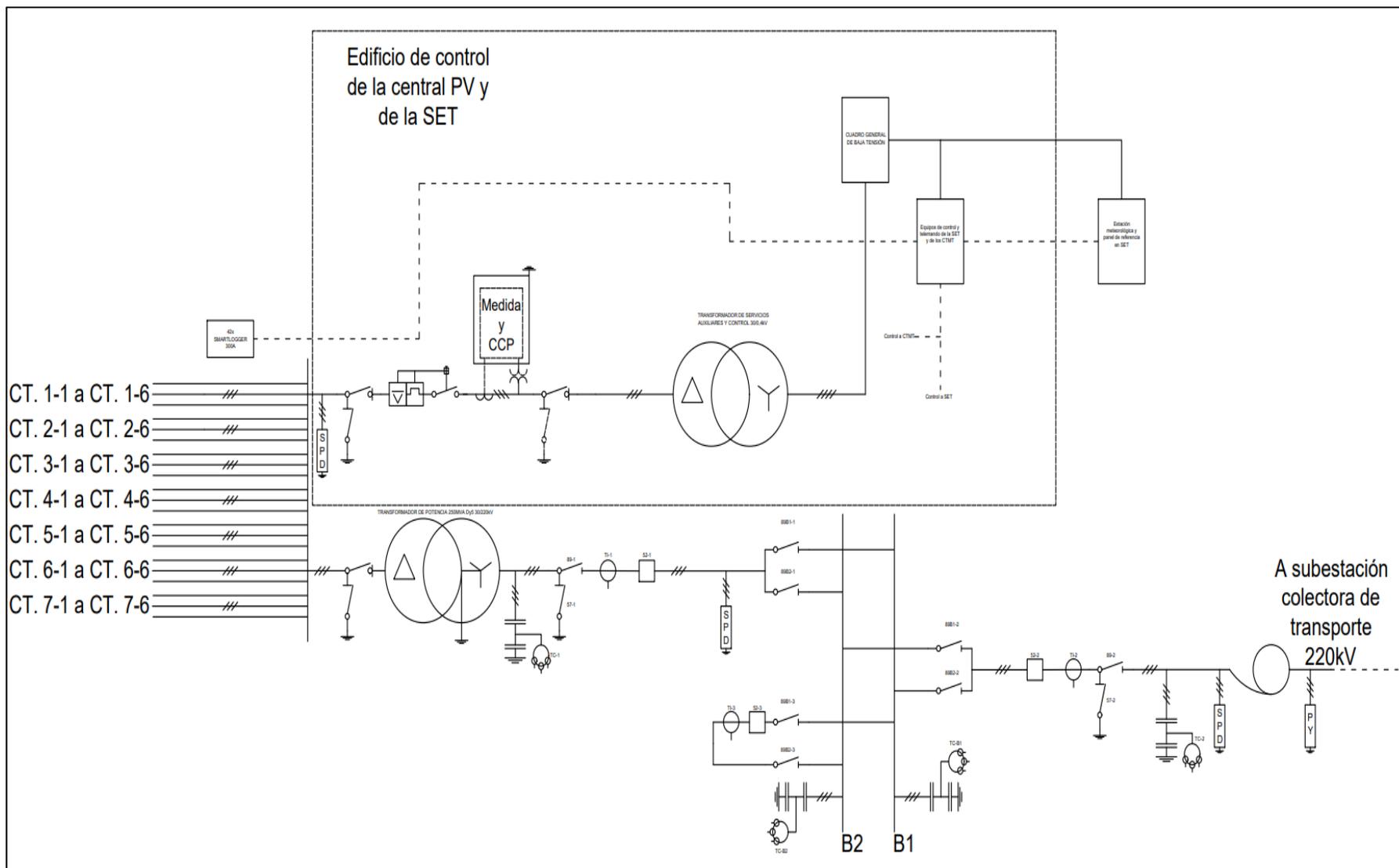
Anexo 2: Matriz de Operacionalización

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>VARIABLE INDEPENDIENTE :</p> <p>Locomoción Peruana, alternativas de utilización del hidrogeno Verde</p>	<p>La Utilización de restricciones de uso y disposición de las diversas fuentes energéticas dentro de las normas de respeto al , medio ambiente , y el equilibrio de precios etc.</p>	<p>Las restricciones a las que están sujetas las utilización de las fuentes energéticas , con el objetivo central de abastecer la demanda.</p>	<p>Parámetros de los transductores.</p> <p>Valor energético.</p>	<p>Proporciones de uso del Hidrogeno verde por variedad de Locomoción.</p> <p>Restricciones a cumplir de disponibilidad</p>	<p>Energía, Curva de Demanda de Potencia Eléctrica y Energética.</p> <p>Valores de las restricciones y rangos de estas</p>
<p>VARIABLE DEPENDIENTE :</p> <p>Prospectivas del Hidrogeno Verde</p>	<p>Optimización de la matriz Energética optima , cumpliendo la demanda, y al menor posible costo</p>	<p>Los Porcentajes de Penetración de la utilización del Hidrogeno Verde</p>	<p>Horas de trabajo</p> <p>Instalación de sistema verde en vehículos</p> <p>Beneficio económico</p>	<p>Porcentajes de Utilización de cada tipo de Energía</p>	<p>Gwhr, Gw en Rangos</p>

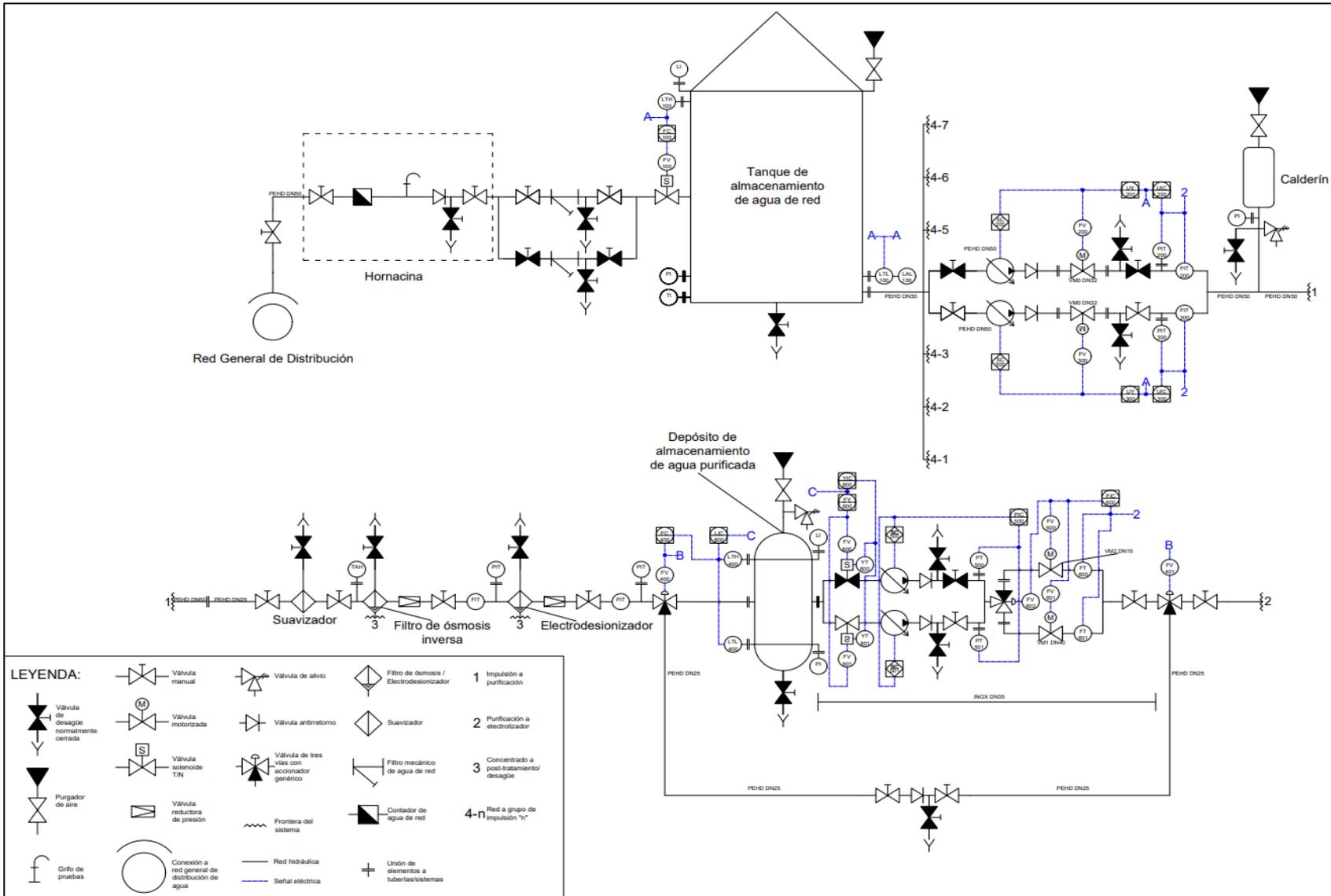
Anexo 3: Diagrama Unifilar BT



Anexo 4: Diagrama Unifilar de las líneas de la SET y edificio de control



Anexo 5: P&ID del sistema de alimentación de agua del electrolizador





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis Completa titulada: "PROSPECTIVAS DEL HIDROGENO VERDE EN LA LOCOMOCION PERUANA , ENFOQUE DE NUMES MEDIANO Y LARGO PLAZO", cuyos autores son PAZOS HOLGUIN FERNANDO ARTURO, RIOJAS FLORES CRISTHYAN RICHY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 22 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAZAR MENDOZA ANIBAL JESUS DNI: 16720249 ORCID: 0000-0003-4412-8789	Firmado electrónicamente por: AJSALAZARM el 22- 07-2022 20:19:49

Código documento Trilce: TRI - 0361924