



## Investment Opportunities That Can Be Generated by the Production and Distribution of Green Hydrogen for Panama

---

Héctor Jesús Deago Delgado, José Humberto Santos Matías  
and Nicole Roxana Barría West

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

October 26, 2022

# Investment opportunities that can be generated by the production and distribution of green hydrogen for Panama

## Oportunidades de inversión que puede generar la producción y distribución de hidrógeno verde en Panamá

Héctor Deago<sup>1</sup>, José Santos<sup>1</sup>, Nicole Barriá<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Industrial - Facultad de Ingeniería Industrial - Universidad Tecnológica de Panamá,

<sup>2</sup>Departamento de Estadística y Economía – Facultad de Ingeniería Industrial – Universidad Tecnológica de Panamá

**Abstract**—The term "green hydrogen" refers to hydrogen generated by segregating the hydrogen from oxygen molecules in the water through an electrolysis process that uses only renewable energy. Its use as an energy vector is an attractive alternative for many countries seeking to minimize the consumption of fossil fuels, as well as the emissions generated in energy production processes and different commercial activities. Panama is also betting on green hydrogen. The National Energy Secretariat published in the official Gazette Phase 1 of Panama's green hydrogen roadmap, which details different strategies to turn Panama into an international green hydrogen hub. A comparison was made between the investment projects that currently exist in countries that have already adopted the use of green hydrogen as an energy vector, and the strategies presented in this roadmap; in order to explain the usefulness of green hydrogen in activities that result in investments for Panama. For this purpose, was necessary to realize a literature review of national, regional and global reports on this topic. Once completed, was possible to conclude that investments related to green hydrogen in Panama should take advantage of the logistics infrastructure of the Canal; the options with the greatest potential were production and distribution of green hydrogen, which includes industries such as: naval, aeronautics, and mining; in addition to hydrogen plants that enhance the use of hydrogen-powered transportation.)

**Keywords** —*Distribution, energy, green hydrogen, investments, opportunities, production, renewable energy.*

**Resumen** — El término "hidrógeno verde" se refiere al hidrógeno generado al separar moléculas de hidrógeno y oxígeno del agua, mediante un proceso de electrólisis que utiliza solamente energía renovable. Su utilización como vector energético es una alternativa atractiva para muchos países que buscan disminuir el consumo de combustibles fósiles, así como las emisiones generadas en los procesos de producción de energía y diferentes actividades comerciales. Panamá también apuesta por el hidrógeno verde. La Secretaría Nacional de Energía publicó en Gaceta oficial la Fase 1 de la hoja de ruta de hidrógeno verde de Panamá, donde se detallan diferentes estrategias para convertir a Panamá en un Hub internacional de este combustible. Se realizó una comparación entre los proyectos de inversión que existen actualmente en países que ya han adoptado la utilización del hidrógeno verde como un vector energético, y las estrategias que se presentan en esta hoja de ruta con el objetivo de explicar la utilidad que representa el hidrógeno verde en actividades que resulten en inversiones para Panamá. Para ello se realizó una revisión literaria, de reportes nacionales, regionales y globales sobre este tema. Una vez finalizada la misma se concluyó que las inversiones relativas al hidrógeno verde en Panamá deben aprovechar la infraestructura logística del Canal. Las opciones de

mayor potencial fueron: producción y distribución de hidrógeno verde, la cual incluye industrias como: naval, aeronáutica, y minera; además de las hidrogeneras que potencien el uso de medios de transporte propulsados por hidrógeno.

**Palabras claves** —*Distribución, energía, energías renovables, hidrógeno verde, inversión, oportunidades, producción.*

### I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la utilización del Hidrógeno verde como vector energético es una de las soluciones más atractivas para muchas industrias y países que buscan migrar hacia el uso exclusivo de energías renovables. Panamá se encuentra entre los países que han mostrado interés en esta alternativa; por ende, la Secretaría Nacional de Energía publicó en Gaceta Oficial la Fase 1 de la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Panamá, donde se exponen las intenciones de aprovechar el Canal de Panamá, así como la posición privilegiada del país, para convertirlo en un Hub Internacional de Hidrógeno verde [1]. Las oportunidades de inversión, en Panamá, gracias al proyecto HUB internacional del hidrógeno verde, van a ser determinantes para el crecimiento económico y una posible revolución energética a nivel nacional los próximos años. Por ello, resulta importante, dar a conocer los beneficios ofrecidos por este elemento frente a las demás alternativas energéticas existentes. Mediante la ejecución de esta investigación, se explicará la utilidad que representa el hidrógeno verde en las diferentes actividades económicas, que luego puedan resultar en inversiones; examinando los métodos necesarios para hacer rentable producir este elemento, además de sus costos, su almacenamiento y su transformación. Finalmente se comparará la situación en Panamá con la de otros países que ya han sido exitosos en sus estrategias de hidrógeno verde, e intentar hacer proyecciones a futuro.

### II. ANTECEDENTES

Según el Instituto Catalán de Energía: "La Energía es la capacidad de realizar un trabajo, es decir, cualquier cosa que implique un cambio, ya sea un movimiento, un cambio de temperatura, transmisión de ondas; etc." [2].

Según la Fundación ENDESA (Empresa Nacional de Electricidad S.A) de España; la energía se manifiesta de diferentes maneras, en forma de Energía Potencial, Energía Cinética, Energía Eléctrica, Energía Interna, Energía Mecánica, Térmica, Química y Nuclear [3].

La forma de producción de energía más común siempre ha sido la utilización de aquella energía química contenida en los llamados combustibles fósiles, que aún hoy son la base para la producción de energía eléctrica y también proveen la energía necesaria para llevar a cabo infinidad de actividades comerciales; con la desventaja de que deben ser combustiónados, emitiendo distintos gases que en exceso son contaminantes y perjudican el medio ambiente; sobre todo el CO<sub>2</sub>, principal responsable del llamado “Efecto Invernadero”, en el cual la cantidad de este gas en la atmósfera hace que el calor generado en la tierra no pueda ser evacuado, quedándose en la superficie y generando el calentamiento global.

Para prevenir el aumento de la contaminación, han surgido las “Energías Renovables”, que utilizan fuentes como el sol, el agua, el viento, el calor de la tierra, entre otras; que son constantes en la naturaleza y, además, se puede obtener energía de estas sin necesidad de emitir contaminantes a diferencia de los combustibles fósiles; sin embargo, se siguen utilizando [4].

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) entre 1990 y 2019, las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> aumentaron en un 54% y después de la pandemia el aumento fue mayor, por lo que los gases de efecto invernadero han alcanzado el su nivel más elevado en la historia de la humanidad; y existe una preocupación real por los elevados niveles de contaminación en el planeta [5].

Ante esto, destaca la alternativa de utilizar el Hidrógeno verde como vector energético, tanto para ser combustionado directamente como para ser utilizado en celdas de combustible para la generación de electricidad; con la gran ventaja de que su residuo es solo vapor de agua, el cual es inocuo para el medio ambiente; y no depende de condiciones ambientales específicas como sí dependen la energía solar o la eólica. Es el elemento que posee más energía en función de su masa y el más abundante del universo conocido [6].

El Hidrógeno consta de tres clasificaciones en función de la forma en que se produce; el “Hidrógeno Gris” es producido a partir de combustibles fósiles, los cuales generan CO<sub>2</sub>; el “Hidrógeno Azul”, que si bien su producción sí emite dióxido de carbono, este se captura y se le dan otros usos para reciclarlo sin que perjudique la atmósfera; y el “Hidrógeno Verde”, que se produce realizando un proceso de electrólisis al agua, separando el hidrógeno y el oxígeno, utilizando electricidad proveniente exclusivamente de fuentes de energía renovables. Este último, es la clave para lograr los objetivos de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, y está acaparando la mayor atención en la confección de las matrices energéticas en los países al día de hoy [1].

Muchos países se van a sumar a la alternativa “Hidrógeno Verde”, tanto para producirlo y exportarlo, como para importarlo. Entre los sitios que se convertirán en los principales productores tenemos a: Países pertenecientes al continente africano, Arabia Saudita y Australia. La alta demanda de este recurso, principalmente en países más avanzados (Europa occidental), es una gran oportunidad para países en vías de desarrollo como los de América Latina y el Caribe, los cuales poseen un gran potencial para convertirse en grandes productores de hidrógeno verde a bajo costo.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Secretaría Nacional de Energía de Panamá está implementando la hoja de ruta del proyecto de HUB transformacional de hidrógeno verde de Panamá, para acelerar la transición del país hacia energías renovables [1].

Sin embargo, nos enfrentamos a países competidores en este rubro, que ya constan de una ubicación más cercana, y una infraestructura prácticamente terminada; es aquí donde nace la idea de posicionar a Panamá como un HUB de hidrógeno verde, donde se planea transformar, luego producir este recurso ya refinado, para finalmente exportarlo. Esto será posible gracias a que nuestro país consta de una ubicación privilegiada, con la ruta marítima más importante, transitada e ideal para distribuirlo alrededor del mundo [1].

El proyecto plantea, además, estrategias y una completa formulación donde, a la vez, describe detalladamente cómo nuestro país puede tener la infraestructura necesaria para lograr esta meta (Plantas transformadoras, ductos, centros, puertos, almacenadores y distribuidores); esto abre puertas a nuevas industrias e inversiones que pueden ser muy provechosas para la economía del país [1].

Vemos necesario identificar las actividades económicas, inversiones y demás, que podría traer la producción y distribución de Hidrógeno Verde a nuestro país, que generen así muchos empleos e impulsen la economía nacional, actualmente muy golpeada por la pandemia; por ende, llegamos a la siguiente pregunta:

Pregunta de Investigación:

¿Qué nuevas oportunidades de inversión podría traer a Panamá la producción y distribución del Hidrógeno Verde?

### IV. OBJETIVOS

#### a) *Objetivo General:*

Explicar la utilidad que representa el Hidrógeno verde en las diferentes actividades que pueden resultar en inversiones para Panamá.

#### b) *Objetivos Específicos:*

- Explicar el proceso para obtener el Hidrógeno Verde en el marco del proyecto del Hub Transformacional de Hidrógeno verde de Panamá.
- Identificar las diferentes oportunidades que se presentan al país en cuestión de actividades generadoras de empleo que impulsen el desarrollo económico.
- Examinar los métodos para la producción de hidrógeno verde, sus costos, almacenamiento y transformación.
- Analizar por qué podría ser, o no, algo beneficioso para nuestro país, y de qué manera podría impactar a nuestra sociedad económica, ambiental y tecnológicamente hablando.
- Comparar la situación de Panamá con la de otros países que han sido exitosos en sus estrategias de hidrógeno verde, e intentar hacer proyecciones respecto a Panamá.

## V. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La utilización del hidrógeno verde como vector energético soluciona gran parte de los inconvenientes que presenta la utilización de otros tipos de energía renovable, suponiendo muchas ventajas que han sido identificadas por numerosas empresas alrededor del mundo, así como por los gobiernos de diferentes países, los cuales han elaborado estrategias para poco a poco migrar hacia la utilización de este recurso para la generación de energía sin contaminación, y además para descarbonizar numerosas actividades comerciales que dependan de los combustibles fósiles. Esto incluye a Panamá, que en la Fase 1 de la Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde, elaborada por la Secretaría Nacional de Energía (Gaceta Oficial No.29461-A de 24 de enero del 2022) establece el camino a seguir para establecer nuestra competitividad en la región, aprovechando la infraestructura logística actual del Canal para convertir al país en un “Hub de hidrógeno verde” en un plazo mediano/largo, y teniendo en cuenta que los principales usuarios del Canal poco a poco se involucran con esta forma de producción de energía [1].

Esta investigación se hace para explicar el potencial del Hidrógeno verde y de la infraestructura que se planea crear, para posibles proyectos de inversión que ayuden a generar ingresos adicionales para el país, así como nuevas plazas de trabajo, y que sirvan para reactivar nuestra economía luego de 2 años de pandemia.

También se explorarán diferentes oportunidades de negocio que se han generado en países donde el hidrógeno como vector energético ya juega un papel importante, comparándolas con los planes trazados en la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Panamá, e identificando qué oportunidades de inversión, que generen buenos resultados para el país, podrían estarse dejando de lado; y cómo estas se podrían implementar efectivamente.

## VI. METODOLOGÍA

La metodología para alcanzar los objetivos de nuestra investigación se basa en la revisión exhaustiva de la literatura concerniente a este tema. Para agilizar el proceso, identificamos una variable que, en base a determinados indicadores, facilitará el alcance de nuestros objetivos. A continuación, el cuadro de variables, y el cuadro operacional de variables:

TABLA I. CUADRO DE VARIABLES

Oportunidades de Inversión	
Variable	Dimensiones
Industrias para invertir en Panamá	Industria Minera
	Industria de Transporte Terrestre
	Industria de Transporte Aéreo y Marítimo

TABLA II. CUADRO OPERACIONAL DE VARIABLES

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Subdimensiones	Definición Operacional	
				Indicadores	Tipo de Variable
Oportunidades de inversión	Inversión: dedicar un recurso a algo o alguien (tiempo, dinero, dedicación), con la finalidad de obtener un beneficio o retorno a futuro.	Tipos de Inversión	Acciones	Diferentes empresas que estén en proceso transitorio hacia el uso de hidrógeno verde	Cuantitativa
			Materia Prima / Infraestructura	Instrumentos, maquinaria, medios de transporte, plantas de transformación	Cuantitativa
		Viabilidad	Ventajas	Industria en gran auge, proyectada a crecer exponencialmente	Cuantitativa
			Desventajas	Retorno de inversión a mediano/largo plazo	Cuantitativa

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Proyecciones Internacionales del mercado del Hidrógeno:

Actualmente existe un Consejo de hidrógeno, formado por más de 130 compañías líderes en la industria del transporte y la energía, que busca aumentar la inversión en el desarrollo de tecnologías relacionadas con el hidrógeno verde [1].

Según la Hoja de Ruta de Hidrógeno Verde de Panamá, este Consejo emitió el informe “Camino hacia la Competitividad del Hidrógeno: Una perspectiva de costos”; donde relata que, para bajar los costos de la obtención de energía a partir del hidrógeno, es necesario aumentar masivamente la producción y distribución del mismo, la fabricación de equipos para utilizarlo como vector energético y componentes para darles servicio de mantenimientos a largo plazo. Así, los costos podrían disminuir hasta un 50% para el año 2030 [1].

También se mencionan proyecciones del Foro Económico Mundial, según el cual los 70 mil millones de dólares americanos que se requieren en inversión para escalar la competitividad del hidrógeno; son menos que los 1.85 billones de dólares americanos del gasto anual mundial de energía [1].

La idea de la hoja de ruta de Hidrógeno Verde de convertir a Panamá en un Hub internacional de hidrógeno verde debe ir de la mano con las políticas energéticas que desarrollen los principales usuarios del Canal de Panamá respecto a este tema. Panamá igual puede aprovechar la oportunidad y cooperar con este desarrollo como vía de tránsito para así atraer inversiones provechosas para el país y para los principales usuarios del Canal [1].

En la Fig. 1. se muestra una ilustración del plan trazado en esta hoja de ruta:

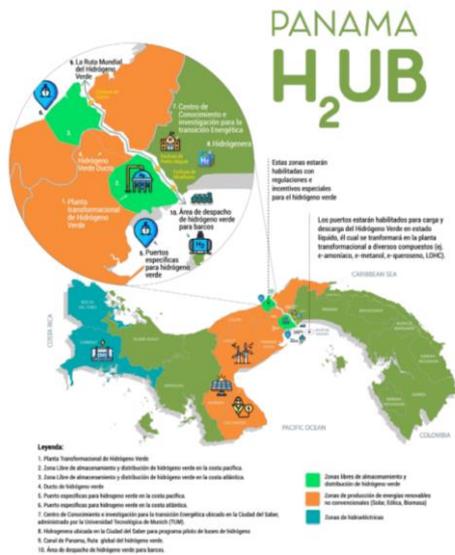


Fig. 1. Panamá como Hub energético del Hidrógeno verde [2].

### B. Acciones que puede tomar Panamá para atraer inversiones relativas al hidrógeno verde:

**Potenciar la demanda interna:** Para que Panamá pueda convertirse en un Hub Internacional de Hidrógeno verde; es imprescindible que se comience a dar incentivos y se tomen las acciones necesarias para incrementar la demanda interna del mismo.

Se debe asegurar un consumo base del hidrógeno verde en la población y los sectores primarios de la economía, para establecer una demanda autogenerada saludable; como, por ejemplo, lo que hizo Australia, donde se crearon clústeres de hidrógenos de demanda de gran escala ubicados en distintos puertos, ciudades o inclusive áreas regionales o remotas.

A su vez, están complementados y mejorados por otros pasos tempranos en el uso de hidrógeno en: transporte, industria y redes de distribución de gas; e integran tecnologías de hidrógeno en sus sistemas de electricidad de tal forma que mejora la confiabilidad del producto [7].

**Incentivar la Investigación y Desarrollo (I+D) de proyectos ligados al Hidrógeno Verde:** Para que Panamá se convierta en un Hub de hidrógeno verde, se debe trabajar activamente para encontrar maneras en las que este recurso se puede aprovechar, así como formas en las que se pueda mejorar la logística del almacenamiento y distribución del mismo. Para ello, nuestro país debe incentivar el aprendizaje sobre todo lo referente al hidrógeno verde, y propiciar el desarrollo de proyectos que tengan el potencial de mejorar la capacidad que tengamos para manejar este recurso.

### C. Oportunidades de inversión que puede generar la producción y distribución de hidrógeno verde en Panamá:

#### 1) Expansión de sus usos en el transporte, minería y apertura de su comercialización internacional:

El hidrógeno verde tiene un gran potencial en **industria minera** ya que actualmente la misma necesita fijarse objetivos y estrategias de descarbonización de manera

urgente. El responsable comercial de hidrógeno de la organización enfocada a la producción de energías renovables Enel Green Power, Lorenzo Ducci, afirmó que: “la industria minera debe contar con una perspectiva que combine electrificación, eficiencia energética, baterías e hidrógeno verde para aprovechar al máximo sus sinergias”. Además, gracias a sus propiedades químicas el hidrógeno es utilizado en la producción de minerales verdes, por ejemplo: el acero [8].

Las empresas de este ámbito a nivel nacional pueden fomentar a nivel la investigación y desarrollo de tecnologías asociadas al hidrógeno verde, y asociarse con organizaciones como Enel Green Power para aumentar los usos del hidrógeno en este campo.

En el área de los activos relativos al hidrógeno verde que pueden ser de mucha relevancia en empresas dedicadas a la minería, actualmente existe un camión minero que utiliza el hidrógeno verde como combustible, llamado “Nugen”, con el cual se proyecta ahorrar millones de litros de diésel anuales. Es capaz de generar 2MW de potencia, y cargar hasta 290 toneladas; por lo que sus capacidades y el ahorro que representa son una gran ventaja para las empresas dedicadas a la minería [9].



Fig. 2. Imagen del camión Nugen en Sudáfrica [9].

En **industria de transporte**, la utilización del hidrógeno como vector energético no es una novedad, ya que desde hace años circulan en algunos países diversos vehículos de celdas combustible de hidrógeno, cuyo sistema transforma el hidrógeno en electricidad para impulsar motores eléctricos, y solo emiten vapor de agua (H<sub>2</sub>O) durante este proceso.

Varios países están optando por incentivar el uso de estos vehículos; por ejemplo, en Costa Rica; ya se aprovecha la capacidad de generación de energía a partir de hidrógeno verde por parte de la planta de la compañía Ad Astra Rocket; para impulsar un autobús y cuatro vehículos compactos que se mueven mediante el sistema de Pilas de Combustible de Hidrógeno [10].

Canadá, planea aprovechar el apogeo en la investigación y desarrollo de tecnologías de celdas de combustible de hidrógeno y, a través de la Asociación Canadiense de Hidrógeno y celdas de Combustible (CHFCA por sus siglas en inglés), incentivar a que las empresas inviertan en estas nuevas tecnologías; por ejemplo, la empresa Hydrogenics para trenes de celdas de Hidrógeno, la empresa DANA para componentes de celdas de hidrógeno, así como la empresa Loop Energy para desarrollar camiones y maquinaria de trabajo basados en celdas de combustible de hidrógeno [11].



Fig. 3. Autobus con propulsión basada en pilas de combustible de hidrógeno [12].

En Estados Unidos, cuando la empresa automotriz Toyota lanzó al mercado la segunda generación de su auto a base de pilas de combustible de hidrógeno en 2021, el Toyota Mirai, lo ofreció con una tarjeta de regalo de 15000 dólares americanos en hidrógeno durante 3 años; y otros beneficios como una garantía de 8 años en el sistema de celdas de combustible y una garantía de 10 años en la batería híbrida del auto; buscando captar la atención de nuevos clientes y estimular la demanda de automóviles con este sistema de propulsión [13].

A continuación, se muestra una imagen de este vehículo:



Fig. 4. Toyota Mirai Limited de segunda generación [14].

Además, la empresa automotriz surcoreana Hyundai también cuenta con un modelo de automóvil propulsado por hidrógeno, el “Nexo”. Este auto se muestra en la siguiente imagen:



Fig. 5. Hyundai Nexo Limited [15].

Ambas compañías cuentan con presencia en nuestro país, cada una consta de al menos un modelo a Hidrógeno, sin embargo, en los distribuidores de Panamá aún no se ofrecen estos modelos, hablamos del “Hyundai Nexo” a partir de \$59435 y “Toyota Mirai” desde tan solo \$49500. (Precios oficiales de venta en Estados Unidos) [14], [15].

Tanto el gobierno de Panamá como las empresas privadas pueden observar el tipo de incentivos que otros países ponen a aquellas empresas que invierten en investigación y desarrollo de tecnologías relativas a la fabricación y la utilización del Hidrógeno verde para atraer inversiones, así como brindar facilidades a los clientes que se interesen en adquirir productos con estas tecnologías, como es el caso de los beneficios por la compra de autos hidrógeno en otros países.

La utilización del hidrógeno como vector energético en el transporte y minería potenciará aún más la demanda interna en el país, atrayendo inversiones para la instalación de infraestructura de recargas de hidrógeno, como lo son las hidrogeneras; las cuales podrán aprovechar que Panamá se convierta en un Hub internacional de Hidrógeno verde.

## 2) Proyección a largo plazo de su uso en transporte aéreo y marítimo:

Panamá también puede aprovechar las oportunidades de inversión que puede acarrear la utilización del hidrógeno verde como vector energético para la fabricación de combustibles sintéticos o su uso en estado puro, para el transporte aéreo y marítimo ya que, al ser un Hub logístico el tránsito marítimo y aéreo en Panamá es intenso; por ende, es una buena oportunidad para que se incentive utilizar el hidrógeno verde como combustible en estas industrias; así como el uso de combustibles sintéticos basados en hidrógeno verde.

Esto atraería inversiones enfocadas a la producción y distribución de Hidrógeno verde en nuestro país, ya que la demanda se elevaría.

### a) Industria Marítima:

Se ha comprobado que el hidrógeno es la mejor alternativa verde para ser el combustible de futuras embarcaciones ya que es ideal para operaciones de gran tonelaje y largo alcance, a diferencia de, por ejemplo, las baterías de litio. Muchas aplicaciones marítimas requieren una gran cantidad de energía, y es aquí donde se puede ver el enorme potencial del como combustible; siendo el elemento que posee más energía en función de su masa de todos los elementos conocidos. Además, no ocasionaría contaminación alguna en los océanos donde transitan estas embarcaciones, ya que el producto de la combustión del Hidrógeno es vapor de agua ( $H_2O$ ) [16].

Por ello, la idea de tener grandes tanques de almacenamiento y reserva de hidrógeno verde; así como de combustibles sintéticos basados en Hidrógeno verde; representa una gran oportunidad para nuestro país gracias a su posición estratégica y al Canal de Panamá [2].

### b) El tráfico marítimo:

Cabe resaltar que, se deben utilizar y aprovechar los canales de entendimiento en el comercio marítimo existentes para ser privilegiados por participar en las primeras rutas de transporte y uso de hidrógeno. Debemos aprovechar que Chile planea ser el productor más económico de Hidrógeno, y que los países con mayor demanda son aquellos de la Unión Europea, que buscan alternativas energéticas eco-amigable, como el hidrógeno verde [2], [17].

La ruta más eficaz para conectar ambas regiones es el canal de Panamá. Por ende, la industria del transporte marítimo es posiblemente, la más importante de todas. Un gran incentivo sería darles descuento u ofrecer paquetes con beneficios especiales, a todas aquellas embarcaciones que transporten hidrógeno verde o funcionen propiamente con este recurso, al atravesar el canal.

En la actualidad, ya se están desarrollando barcos con sistemas de propulsión a hidrógeno, como el proyecto noruego “Hyship”, patentado por 14 organizaciones europeas, en el que se está desarrollando un buque de carga cero emisiones, basadas en hidrógeno verde; el prototipo llamado “Topeka” cuenta con más de 20 MW de potencia, planea iniciar operaciones a partir de 2024 en las costas noruegas. Actualmente no se cuenta con costos de fabricación y venta de este barco, ya que aún se encuentra en desarrollo [18].



Fig. 6. Barco con propulsión basada en pilas de combustible de hidrógeno [18].

Además, en el año 2021, el barco Energy Observer transitó por el Canal de Panamá. Este es el primer barco cuyo sistema de propulsión se basa en una combinación de energías 100% renovables, y se fundamenta en un sistema de baterías, y otro de hidrógeno verde. Como este barco es el primero de su tipo, actualmente no se cuenta con un precio de venta del mismo [19].



Fig. 7. Barco Energy Observer pasando por el Canal de Panamá [19].

### c) Industria de transporte aéreo

El transporte aéreo es uno de los sectores con más dificultades para alinearse con los objetivos climáticos, por lo que se han puesto en marcha iniciativas para reducir su huella de carbono, como viabilizar a mediano plazo los primeros aviones para aerolíneas comerciales que usarán hidrógeno de combustible.

Compañías como Airbus han comenzado a desarrollar aviones cuya fuente de energía sea únicamente hidrógeno, se estima que en 2035 ya deben estar los primeros ejemplares en servicio. Otra organización es ATI (Instituto de Tecnología Aeroespacial de Reino Unido), que ya han dado características técnicas concretas acerca de los aviones cero emisiones, hasta el momento pueden llevar a 279 pasajeros y volara largas distancias sin necesidad de sacrificar el confort o la velocidad de los mismos [20].

También existen otras compañías más jóvenes que realizan ensayos para prototipos de aviones a Hidrógeno, como es el caso de la empresa norteamericana Zero Avia, que actualmente está realizando pruebas para implementar aviones con hélices propulsadas por celdas de combustible de hidrógeno [21].

En la siguiente imagen se puede observar un modelo 3D de un prototipo de avión de Zero Avia:



Fig. 8. Modelo 3D de un prototipo de avión de Zero Avia [22]

Panamá, al tener uno de los aeropuertos más importantes de la región, puede colocar estaciones de abastecimiento para que todos los viajes de aviones propulsados por hidrógeno que hagan escala en Tocumen se puedan abastecer de combustible eco amigable.

También es una buena estrategia dar incentivos a las aerolíneas que quieran implementar en su flota, aviones en base a hidrógeno, esto sería a mediano-largo plazo.

### 3) Aprovechamiento de los proyectos de fuentes de energía renovables existentes en el país para la producción de hidrógeno verde:

En Panamá existen diversos proyectos orientados al aprovechamiento de energías renovables, cuyos excedentes pueden utilizarse para la producción de hidrógeno verde. Según el último informe mensual del mercado mayorista de electricidad elaborado por el Centro Nacional de Despachos de ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S.A); a mayo de 2022, el 89.4% de la energía total del país es producida a base de fuentes renovables, constando un 83.21% de energía hidroeléctrica, un 5.05% de energía solar, y 1.14% de energía eólica [23].

En la Fig. 9. se puede observar un gráfico de los porcentajes de los tipos de generación de energía en nuestro país a mayo del 2022:

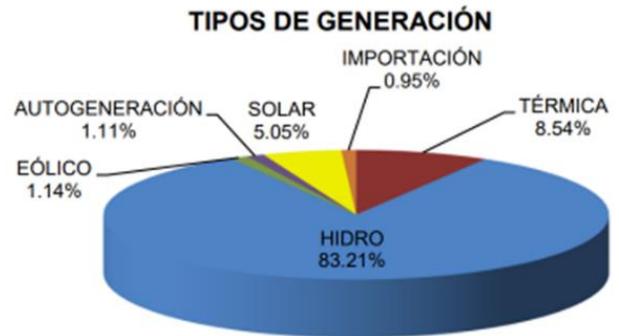


Fig. 9. Gráfico de los tipos de generación de energía en Panamá (mayo 2022) [23].

También, según datos del informe citado anteriormente, a mayo de 2022 existía un excedente de energía producida de 59,912.13 MW·h [23].

A continuación se muestra el gráfico de generación de energía vs consumo:

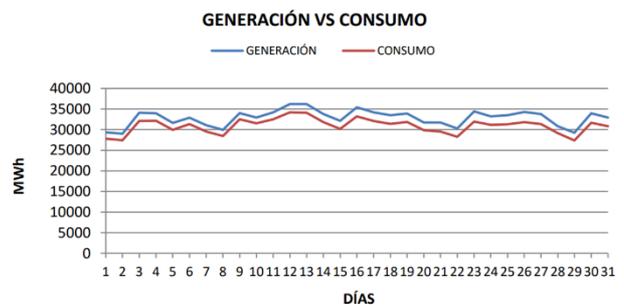


Fig. 10. Gráfico de los tipos de generación de energía en Panamá (mayo 2022) [23].

Como ejemplo, si se multiplica la cifra del mes de mayo de 2022 de 59,912.13 MW·h de energía total producida, por el porcentaje de energía que procede de fuentes de energías renovables:

$$59,912.13 \text{ MW} \cdot h * 83.21\% = 49,852.88 \text{ MW} \cdot h \quad (1)$$

En la ecuación 1 se observa que, en teoría, el excedente de energía renovable en el mes de mayo de 2022 en Panamá fue aproximadamente de 49852.88 MW·h, lo que equivale a 49852880 kW·h.

Según el sitio web Energía Estratégica, Emilio Nieto, quien es director en el Centro Nacional del Hidrógeno de España, para poder producir 1kg de hidrógeno verde mediante electrólisis, se necesitan 57kW·h de energía en total, y aproximadamente de 10 a 12 litros de agua [24].

Si dividimos la cantidad de kW·h de excedente entre los kW·h que se necesitan para producir 1kg de Hidrógeno verde, tendríamos como resultado el potencial de producción en el mes de mayo del año 2022, solo tomando en cuenta la electricidad requerida para el proceso de electrólisis:

$$\frac{49852880 \text{ kW}\cdot\text{h}}{57 \text{ kW}\cdot\text{h}} * 1 \text{ kg } H_2 = 874,611.93 \text{ kg } H_2 \quad (2)$$

Podemos ver que, según la ecuación (2), si solo tomamos en cuenta el excedente de la energía eléctrica calculado de los datos de ETESA, se hubiera podido producir en el mes de mayo del año 2022, 874,611.93 kg de hidrógeno verde.

Igualmente debemos considerar que existen otros factores, como el hecho de que ETESA no es la única empresa distribuidora de energía en Panamá y por ende la capacidad de producción basada en el excedente de energía eléctrica podría ser mayor; y también que cada kg de hidrógeno producido requiere de 10 a 12 litros de agua, por lo que se necesitaría una cantidad considerable de la misma para llevar a cabo el proceso de electrólisis. Además, para realizar este proceso se debe invertir en electrolizadores. Sin embargo, a futuro y con buen manejo de los recursos hídricos, Panamá podría plantearse la producción de hidrógeno verde.

#### D. ¿Cuánto podría costar producir hidrógeno verde en Panamá?

Los factores que influyen en el costo de la producción del hidrógeno verde son:

- Costo de producción de la energía eléctrica (renovable) que consuma el electrolizador.
- Costo del electrolizador, entre mayor sea su potencia, menor será el precio de \$/kW·h.
- Costo de operación del electrolizador, a mayor cantidad de horas, más hidrógeno se producirá, por ende, menor precio de venta.

A continuación, se muestra en la Tabla III un cuadro de variables, con factores determinantes en la estimación del que sería el costo de producción del hidrógeno verde en Panamá:

TABLA III. OPERACIONAL DE VARIABLES PARA LA ESTIMACIÓN DEL COSTO DE PRODUCIR HIDRÓGENO VERDE EN PANAMÁ:

Estimación del costo de producir hidrógeno verde en Panamá		
Variable	Dimensiones	Valor
A	Excedente de energía renovable producida (kW·h)	49 852 880 kW·h
B	Precio promedio por kWh de energía renovable producida (\$/kW·h)	0,07535 $\frac{\$/\text{kW}\cdot\text{h}}$ [25]
C	Consumo energético del electrolizador (kW·h)	10 000 kW·h [26]
D	Energía producida por el electrolizador 90% eficiencia (kW·h)	9 000 kW·h
E	Cantidad de energía en kWh necesaria para producir 1 kg de H <sub>2</sub> (kg/kW·h)	$\frac{1 \text{ kg } H_2}{41.4 \text{ kW}\cdot\text{h}}$ [27]

Para el cálculo de estimación del precio de hidrogeno verde producido en Panamá, se despreciará tanto el costo del electrolizador, como el del agua, a falta de fuentes confiables para ser incluidas en estas ecuaciones.

Para empezar, dividimos el excedente entre el consumo de cada máquina, para determinar a cuantas podemos abastecer:

$$\frac{A}{C} = \frac{49\,852\,880 \text{ kW}\cdot\text{h}}{10\,000 \text{ kW}\cdot\text{h}} = 4\,985 \text{ Unidades} \quad (3)$$

Del excedente necesitaríamos al menos: 4 985\*C = 49985000 kW·h para abastecer los electrolizadores. Luego se multiplican las unidades por la energía producida: 4 985\*D = 44865000 kW·h.

Para obtener el costo de producción, multiplicamos la energía necesaria para abastecer los electrolizadores por el precio de la energía renovable en Panamá (B), y dividimos el resultado entre la energía producida por el electrolizador multiplicada por la cantidad de energía en kW·h necesaria para producir 1 kg de hidrógeno:

$$\frac{49\,985\,000 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{B}}{44\,865\,000 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{E}} = \frac{3\,766\,369,75 \$}{1\,083\,695,65 \text{ kg } H_2} = 3.4755 \frac{\$}{\text{kg } H_2} \quad (4)$$

Como se puede observar en la ecuación (4), el costo estimado es bastante competitivo, sin embargo, hay muchos factores en juego que no han sido tomados aún en cuenta, y las cifras son preliminares.

#### CONCLUSIÓN

Una vez terminada la revisión literaria, hemos llegado a la conclusión de que las principales oportunidades de inversión que puede aprovechar Panamá con la producción y distribución de hidrógeno verde pueden generarse aprovechando su posición como Hub Logístico y el Canal Interoceánico.

Esto debe ir de la mano con las políticas energéticas que desarrollen los principales usuarios del Canal de Panamá respecto a este tema. Panamá igual puede aprovechar la oportunidad y cooperar con este desarrollo como vía de tránsito para así atraer inversiones provechosas para el país. Para poder atraer dichas inversiones, es imprescindible que se cree una demanda interna para el hidrógeno como vector

energético en el país, empezando por políticas públicas que favorezcan su uso, como en el caso de Canadá y otros países de la región, donde se están comenzando a implementar en el transporte público, o se fomenta la compra de vehículos de celdas de combustible de Hidrógeno con incentivos económicos como se hace en Estados Unidos con el Toyota Mirai; y la demanda generada a partir de los medios de transporte puede fomentar la inversión por parte de compañías que fabriquen instalaciones de recarga de hidrógeno para vehículos, conocidas como hidrogeneras. Además, tampoco podemos olvidar que, al ser Panamá un Hub logístico, puede aprovechar tanto el alto tráfico aéreo como el de los barcos por el canal para incentivar la inversión de compañías de producción y distribución de hidrógeno verde, lo cual sería beneficioso para nuestro país, generando nuevos empleos y ayudando a recuperar nuestra economía.

## REFERENCIAS

- [1] Gobierno de la República de Panamá. (2022, January 22). Gaceta Oficial No. 29461-A. [Online]. Available: [https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29461\\_A/GacetaNo\\_29461a\\_20220124.pdf](https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29461_A/GacetaNo_29461a_20220124.pdf)
- [2] Instituto Catalán de Energía. (2022). ¿Que es Y de dónde proviene la energía? [Online]. Available: [https://icaen.gencat.cat/es/energia/que\\_es/](https://icaen.gencat.cat/es/energia/que_es/)
- [3] Fundación ENDESA (Empresa Nacional de Electricidad S.A) de España. (2022). La Energía. Fundación Endesa: iluminamos talento fundacionendesa.org. [Online]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia>
- [4] BBVA. (2022, January 21). Que son las energías renovables Y POR Que son importantes. BBVA NOTICIAS. [Online]. Available: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-las-energias-renovables-y-por-que-son-importantes/>
- [5] K. Mulvaney. (2022, April 5). "Ahora o nunca": Las 4 conclusiones urgentes del informe de la ONU sobre el clima. National Geographic. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2022/04/ahora-o-nunca-las-4-conclusiones-urgentes-del-informe-de-la-onu-sobre-el-clima>
- [6] I. Giménez Zuriaga. (2021, January 1). Economía ARAGONESA revista 73 Hidrogeno Verde 2. Academia.edu - Share research. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/49936158/ECONOMIA\\_ARAGONESA\\_revista\\_73\\_Hidrogeno\\_Verde\\_2?auto=citations&from=cover\\_page](https://www.academia.edu/49936158/ECONOMIA_ARAGONESA_revista_73_Hidrogeno_Verde_2?auto=citations&from=cover_page)
- [7] J. C. Demian Inzulza. (2021). LA PROYECCIÓN NACIONAL HACIA EL ASIA-PACÍFICO EN MATERIA DE HIDRÓGENO VERDE. Cuaderno De Trabajo, (7), 1-31. [Online]. Available: <https://www.publicacionesanepc.cl/index.php/cdt/article/view/949>
- [8] Enel Green Power. (2021, November 8). Hidrógeno Verde Y minas: Una combinación emocionante. Enel Green Power, the platform dedicated to renewables | Enel Green Power. [Online]. Available: <https://www.enelgreenpower.com/es/historias/articles/2021/11/hidrogeno-verde-minas>
- [9] First Mode. (2022, April 25). International mining: Anglo American's newly named nuGen™ hydrogen powered truck set for launch at Mogalakwena mine on May 6. [Online]. Available: <https://firstmode.com/resources/international-mining-nugen-hydrogen-powered-truck-set-for-launch-at-mogalakwena-mine-on-may-6/>
- [10] S. Larrea - E. Echeverría Fernández - W. Ernest Mondol | Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2021, March 16). "Hidrógeno Verde: Oportunidad para liderar la descarbonización de Costa Rica." Energía para el Futuro. [Online]. Available: <https://blogs.iadb.org/energia/es/hidrogeno-verde-oportunidad-para-liderar-la-descarbonizacion-de-costa-rica/>
- [11] Government of Canada | Trade Commissioner Service. (2019, September). CANADA A GLOBAL LEADER IN HYDROGEN AND FUEL CELL BUSES, TRAINS AND HEAVY DUTY VEHICLES. The Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association. [Online]. Available: [https://www.chfca.ca/wp-content/uploads/2019/09/GOC-Buses\\_Train\\_en\\_WEB1.pdf](https://www.chfca.ca/wp-content/uploads/2019/09/GOC-Buses_Train_en_WEB1.pdf)
- [12] Ballard power. (2022, June). Bus transit - Fuel cell electric buses | Fuel Cell & Clean Energy Solutions | Ballard Power. [Online]. Available: <https://www.ballard.com/markets/transit-bus>
- [13] Toyota U.S.A. (2021, June 1). The All-new Mirai | Owner benefits. New Cars, Trucks, SUVs & Hybrids | Toyota Official Site. [Online]. Available: [https://www.toyota.com/content/dam/toyota/brochures/pdf/2021/MY21\\_Mirai\\_Owner\\_Benefits.pdf](https://www.toyota.com/content/dam/toyota/brochures/pdf/2021/MY21_Mirai_Owner_Benefits.pdf)
- [14] Toyota Mirai 2022 fuel cell | El poder de la innovación. (2022). New Cars, Trucks, SUVs & Hybrids | Toyota Official Site. [Online]. Available: <https://www.toyota.com/espanol/mirai/>
- [15] Diseño Su propio Hyundai | Selector de versiones | Hyundai USA. (2022). Hyundai Cars, Sedans, SUVs, Compacts, and Luxury | Hyundai. [Online]. Available: <https://www.hyundaiusa.com/us/es/build/trims/#/4563>
- [16] Hydrogen Europe. (2021, June). HOW HYDROGEN CAN HELP DECARBONISE THE MARITIME SECTOR. [Online]. Available: [https://www.hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/11/How-hydrogen-can-help-decarbonise-the-maritime-sector\\_final.pdf](https://www.hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2021/11/How-hydrogen-can-help-decarbonise-the-maritime-sector_final.pdf)
- [17] Fundación Chile. (2022, April 5). Hidrógeno Verde a partir de agua Y energías renovables. FCh. [Online]. Available: <https://fch.cl/iniciativa/hidrogeno-verde/>
- [18] HyShip. (2022). About HyShip. hyship.eu. [Online]. Available: <https://hyship.eu/about/>
- [19] M. Rebolledo. (2021, October 7). "Panamá Como hub de hidrógeno Verde Y el papel del canal." ("Panamá como hub de hidrógeno verde y el papel del Canal") El Faro | Canal de Panamá. [Online]. Available: <https://elfarodelcanal.com/panama-como-hub-de-hidrogeno-verde-y-el-papel-del-canal/>
- [20] J. C. López. (2021, December 7). Que nos promete el avion comercial propulsado POR hidrógeno: Cuál sera Su autonomía, cuándo llegará Y Que retos conlleva. Xataka - Tecnología y gadgets, móviles, informática, electrónica. [Online]. Available: <https://www.xataka.com/investigacion/que-nos-promete-avion-comercial-propulsado-hidrogeno-cual-sera-su-autonomia-cuando-llegara-que-retos-conlleva>
- [21] T. Gibson and R. Schillinger | Bloomberg. (2022, March 16). Bloomberg. Bloomberg.com. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-03-16/hydrogen-may-be-a-jet-fuel-of-the-future-but-there-are-some-hurdles#xj4y7vzkg>
- [22] Zeroavia. (2022). ZeroAvia. [Online]. Available: <https://www.zeroavia.com/>
- [23] Centro Nacional de Despacho | ETESA. (2022, June 17). INFORME MENSUAL DEL MERCADO MAYORISTA DE ELECTRICIDAD | MAYO 2022. Centro Nacional de Despacho - ETESA. [Online]. Available: <https://sitioprivado.cnd.com.pa/Informe/Download/1094966?key=VXd9e23Z9JRA5aUR21R-P8gocoGOMqdvSo79FduN>
- [24] Energía Estratégica. (2021, May 6). "AES se enfoca en Hidrógeno Verde Y comparte información: ¿Cuánta energía genera la tecnología actual?" ("AES se enfoca en Hidrógeno verde y comparte ... - Energía Estratégica") Energía Estratégica | Portal de noticias especializado de energías renovables con información propia y actualización permanente de Latinoamérica. [Online]. Available: <https://www.energiaestrategica.com/aes-se-enfoca-en-hidrogeno-verde-y-comparte-informacion-cuanta-energia-genera-la-tecnologia-actual/>
- [25] ENSA. (2022, July 11). Autoconsumos Fuentes Renovables Y Limpias. [Online]. Available: <https://www.ensa.com.pa/autoconsumos-fuentes-renovables-y-limpias>
- [26] Plug. (2022, July 19). How a PEM electrolyzer is more cost-effective than an alkaline electrolyzer - Plug. Plug Power. [Online]. Available: <https://www.plugpower.com/between-two-stacks-how-a-pem-electrolyzer-is-more-cost-effective-than-an-alkaline-electrolyzer/>
- [27] Lichner, C. (2020, March 26). Electrolyzer overview: Lowering the cost of hydrogen and distributing its production. pv magazine USA. [Online]. Available: <https://pv-magazine-usa.com/2020/03/26/electrolyzer-overview-lowering-the-cost-of-hydrogen-and-distributing-its-production/>