

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**PERSPECTIVAS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE EN
ECUADOR.**

**PROPONER UNA HOJA DE RUTA PARA LA PRODUCCIÓN DE
HIDRÓGENO VERDE EN ECUADOR, MISMA QUE DEBERÁ
CONTENER ASPECTOS NORMATIVOS, ESTRUCTURA
INSTITUCIONAL, GRUPOS DE INTERÉS, MODELO DE GESTIÓN,
POTENCIALES PLAZOS, ENTRE OTROS.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

KEVIN ANDRÉS SANTACRUZ LÓPEZ

kevin.santacruz@epn.edu.ec

DIRECTOR: Dr. PAÚL FABRICIO VÁSQUEZ MIRANDA

paul.vasquez@epn.edu.ec

DMQ, agosto 2024

CERTIFICACIONES

Yo, KEVIN ANDRÉS SANTACRUZ LÓPEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

KEVIN ANDRÉS SANTACRUZ LÓPEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por KEVIN ANDRÉS SANTACRUZ LÓPEZ, bajo mi supervisión.

Dr. PAÚL FABRICIO VÁSQUEZ MIRANDA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

KEVIN ANDRÉS SANTACRUZ LÓPEZ

PAÚL FABRICIO VAZQUEZ MIRANDA

DEDICATORIA

Para mis padres, Sandra y Luis, que siempre me han sabido brindar su apoyo y han sido ese pilar fundamental dentro de mi formación académica.

Para mis hermanos Sebastián y Paola, que gracias a su ejemplo de superación me han motivado a seguir adelante y nunca rendirme ante las adversidades.

AGRADECIMIENTO

A todos mis compañeros que han sido parte de mi etapa universitaria y me han sabido brindar esa mano amiga en momentos difíciles.

A mi tutor Dr. Paul Vásquez, por su dedicación y esfuerzo, los cuales han sido fundamentales para la culminación de este trabajo de titulación.

Y a mi familia, por el apoyo emocional que me han sabido dar día tras día dentro de toda mi formación profesional.

Muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Objetivo general.....	2
1.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	Alcance.....	2
1.4	MARCO TEÓRICO.....	3
1.4.1	Hidrógeno.....	3
1.4.1.1	Clasificación del hidrógeno.....	3
1.4.2	Cadena de valor.....	4
1.4.2.1	Producción de hidrógeno.....	5
1.4.2.1.1	Producción de hidrógeno mediante energías renovables.....	5
1.4.2.1.2	Producción de hidrógeno mediante gas natural o biogás.....	6
1.4.2.2	Transporte y Almacenamiento del hidrógeno.....	7
1.4.2.3	Usos finales del hidrógeno.....	9
1.4.3	Análisis PESTEL.....	11
1.4.4	Benchmarking.....	11
2	METODOLOGÍA.....	13
2.1	Análisis estructural hojas de ruta de experiencias internacionales para la producción de hidrógeno verde.....	15
2.2	Descripción de la metodología combinada: Benchmarking Estratégico y Análisis PESTEL.....	17
2.2.1	Fases de implementación metodología Benchmarking-PESTEL.....	18
2.2.2	Diseño de criterios de análisis PESTEL adaptado al benchmarking.....	19
2.3	Aplicación Benchmarking PESTEL enfocado en hidrógeno verde para Ecuador.....	20
2.3.1	Análisis PESTEL del contexto ecuatoriano actual.....	20
2.3.1.1	Ámbito Político.....	20
2.3.1.2	Ámbito Económico.....	21
2.3.1.3	Ámbito Social.....	22
2.3.1.4	Ámbito Tecnológico, Infraestructura y modelo de gobernanza.....	23
2.3.1.5	Ámbito Ambiental.....	24
2.3.1.6	Ámbito legal.....	24
2.3.2	Aplicación Benchmarking PESTEL de países líderes en hidrógeno verde.....	25
2.3.2.1	Ámbito Político.....	25
2.3.2.1.1	Chile.....	25

2.3.2.1.2	Colombia	27
2.3.2.1.3	Argentina	28
2.3.2.2	Ámbito Económico	28
2.3.2.2.1	Chile	29
2.3.2.2.2	España	30
2.3.2.2.3	Japón	31
2.3.2.3	Ámbito Social	32
2.3.2.3.1	Chile	32
2.3.2.3.2	España	33
2.3.2.3.3	Colombia	34
2.3.2.4	Ámbito Tecnológico, Infraestructura y modelo de gobernanza	35
2.3.2.4.1	Alemania	35
2.3.2.4.2	Chile	36
2.3.2.4.3	España	38
2.3.2.5	Ámbito Ambiental	40
2.3.2.5.1	Chile	40
2.3.2.5.2	España	41
2.3.2.5.3	Argentina	41
2.3.2.6	Ámbito Legal	42
2.3.2.6.1	Chile	42
2.3.2.6.2	Portugal	43
2.3.2.6.3	España	44
2.4	Comparación y síntesis de resultados entre Ecuador y países estudiados	44
2.5	Propuestas de mejora a ser incluidas en la hoja de ruta de hidrógeno verde del Ecuador	47
2.5.1	Propuestas dentro del Ámbito Político	47
2.5.2	Propuestas dentro del Ámbito Económico	48
2.5.3	Propuestas dentro del Ámbito Social	49
2.5.4	Propuestas dentro del Ámbito Tecnológico, Infraestructura y modelo de gobernanza	50
2.5.5	Propuestas dentro del Ámbito Ambiental	52
2.5.6	Propuestas dentro del Ámbito legal	52
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
3.1	RESULTADOS	54
3.2	Conclusiones	58
3.3	Recomendaciones	59

4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
5	ANEXOS.....	64
	ANEXO I: Resumen estrategias internacionales aplicación Benchmarking PESTEL	64
	ANEXO II: Propuesta Modelo de Gobernanza de Hidrógeno Verde para Ecuador	68

RESUMEN

El presente Trabajo de Integración Curricular presenta una propuesta de hoja de ruta para la producción de hidrógeno verde en Ecuador. Si bien es conocido que Ecuador al momento dispone de una hoja de ruta, en este trabajo lo que se busca es, en base a experiencias internacionales de países líderes en la producción de hidrógeno verde, obtener un punto de comparación con la hoja local y proponer así medidas de mejora altamente aplicables.

En esta propuesta, se desarrolla una metodología combinada tipo Benchmarking PESTEL, que permite identificar las mejores prácticas internacionales y enfocar el análisis en aspectos varios como políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales. Este enfoque permitirá tener una visión integral de las medidas necesarias para asegurar una integración efectiva del hidrógeno verde en la matriz energética ecuatoriana.

PALABRAS CLAVE: Hidrógeno Verde, Hoja de ruta, Cadena de valor, Electrólisis, Benchmarking, PESTEL.

ABSTRACT

The present Curricular Integration Project proposes a roadmap for the production of green hydrogen in Ecuador. While it is known that Ecuador currently has a roadmap, this project aims to use international experiences from leading countries in green hydrogen production to obtain a point of comparison with the local roadmap and propose highly applicable improvement measures.

This proposal develops a combined Benchmarking PESTEL methodology, which allows for the identification of international best practices and focuses the analysis on various aspects such as political, economic, social, technological, environmental, and legal factors. This approach will provide a comprehensive view of the necessary measures to ensure the effective integration of green hydrogen into Ecuador's energy matrix.

KEYWORDS: Green Hydrogen, Roadmap, Value chain, Benchmarking, PESTEL.

1 INTRODUCCIÓN

La transición energética con bajas emisiones de carbono es un desafío global que exige soluciones innovadoras, una de ellas, es apostar por una nueva fuente de energía que sea amigable con el medio ambiente. Dentro del Acuerdo de París de 2015 [1] se establece, como objetivo mundial, abordar el cambio climático impulsando medidas e inversiones estratégicas para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono, es así como muchos países han marcado estrategias para alcanzar una neutralidad de carbono para el 2050. El hidrógeno renovable se perfila como una de las principales fuentes de energía a largo plazo. Esto se debe a que su producción y consumo no generan emisiones contaminantes y contribuyen favorablemente al cambio climático. Además, comparados con otras fuentes de energía renovables, el hidrógeno puede almacenarse, ya sea en estado líquido o como gas a presión [2]. Esta capacidad de almacenamiento permite una mayor flexibilidad y control, por lo que puede usarse para regular el suministro energético, ya sea como combustible alternativo para aplicaciones que involucren generación de energía eléctrica o mecánica, o como medio de transporte [3].

La integración efectiva del hidrógeno verde en la economía exige una evaluación de diversos factores interdependientes que abarcan espacios sociales, económicos, regulatorios, técnicos, entre otros. Al ser esta una fuente de energía emergente, la mayoría de los países carecen de un marco regulatorio sólido que defina claramente las directrices para su producción, transporte y distribución. Para poder impulsar un mercado de hidrógeno, un marco regulatorio bien definido es esencial, ya que establece cada uno los lineamientos de funcionamiento. Además, otorga seguridad ante inversionistas, define estándares de calidad y seguridad, facilita la integración en la infraestructura energética existente y promueve la innovación [4], [5].

Ecuador, al ser un país que incorpora una matriz energética mayoritariamente por Energías Renovables como la energía solar, hidroeléctrica y eólica, siendo esta fuente principal para la producción de hidrógeno verde, presenta un gran potencial para la integración como una nueva fuente de energía y, de esta manera, disminuir la necesidad de utilizar combustibles derivados de fuentes fósiles. Actualmente el hidrógeno no se reconoce en la legislación ecuatoriana ni está definida su clasificación de hidrógeno verde dentro del marco regulatorio de las energías renovables no convencionales [6].

La integración del hidrógeno, dentro del contexto local, busca mitigar la emisión de gases de efecto invernadero dentro de un 20 a un 25% hasta el año 2025, además de posicionar al hidrógeno como una fuente energética competitiva [7]. Al mismo tiempo, su desarrollo

es fundamental para poder aprovechar los grandes recursos de energías renovables no convencionales que dispone el país.

1.1 Objetivo general

Proponer una hoja de ruta para la integración de hidrógeno verde en Ecuador a mediano y largo plazo, que aborde aspectos normativos, grupos de interés, instituciones involucradas y elementos para el desarrollo de un modelo de gestión acorde a la estructura normativa del país.

1.2 Objetivos específicos

1. Analizar, a través de un levantamiento bibliográfico, las líneas de acción que se llevan a cabo en países con mayor desarrollo en la integración de hidrógeno verde, a fin de establecer un conjunto de acciones clave a ser considerados para una adecuada integración del hidrógeno verde en el Ecuador.
2. Realizar un análisis del marco normativo vigente dentro del Ecuador, con el objeto de identificar necesidades, ya sea de nueva normativa, o de refinamientos a la normativa existente, que propicie la integración con respecto al hidrógeno verde.
3. Desarrollar una hoja de ruta en la que se desplieguen los principales hitos y acciones estratégicas, con sus respectivas fases de implementación, para la integración de hidrógeno renovable en el Ecuador a mediano y largo plazo.

1.3 Alcance

Como etapa inicial, se llevará a cabo un levantamiento bibliográfico acerca de las líneas de acción implementadas en países líderes en el desarrollo de hidrógeno verde. Este análisis permitirá identificar brechas y acciones clave, con el objetivo de establecer las condiciones necesarias para lograr una correcta integración del hidrógeno verde dentro del Ecuador. Una de las brechas que a priori se identifican, es la necesidad de incrementar la capacidad del sistema de generación no convencional, con el objeto de cubrir la energía eléctrica para electrólisis involucrada en el proceso de obtención futura de hidrógeno [2].

A continuación, en función del levantamiento bibliográfico, se realizará un análisis acerca del marco normativo vigente en Ecuador relacionado con hidrógeno verde, con el propósito de localizar aquellas normas que requieran modificación o, posibles nuevas normativas a ser desarrolladas. Para el efecto, se tomará como referencia la normativa vigente en otros países, relacionada con hidrógeno verde. Este análisis comparativo dará a conocer las acciones y medidas que se han adoptado internacionalmente y tengan una posibilidad de aplicación en el país.

Como etapa final, se obtendrá una hoja de ruta para la integración del hidrógeno verde en el Ecuador, misma que definirá los principales hitos y acciones estratégicas, necesarios para una integración exitosa a corto, mediano y largo plazo. Esta hoja de ruta se estructurará mediante fases de implementación, las cuales vendrán respaldadas por un enfoque de la viabilidad de integración de la fuente principal de producción de hidrógeno, considerando tantos factores políticos, técnicos, sociales, ambientales y legales. Finalmente, el documento contendrá conclusiones, recomendaciones y bibliografía utilizada.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 Hidrógeno

El hidrógeno (H) es el elemento químico más simple y ligero de la tabla periódica. Su versatilidad como vector energético, materia prima industrial y combustible para el transporte y almacenamiento de energía permite su uso en una amplia gama de aplicaciones, incluidas aquellas en fase de desarrollo. Gracias a sus características, dentro de los usos finales del hidrógeno no se producen emisiones directas de gases de efecto invernadero ni otros agentes contaminantes [8]. En el medio ambiente, el hidrógeno no existe por separado, sino que se compone de varios elementos. Uno de estos es la obtención como hidrógeno molecular (H_2) mediante hidrocarburos, biomasa o agua. La obtención de hidrógeno en su estado puro requiere separarlo de sus compuestos mediante procesos de separación específicos, que se llevan a cabo utilizando combustibles fósiles o electrólisis [9].

La huella de carbono del hidrógeno varía según su fuente de energía y proceso de producción. Si se produce con energías renovables o se captura el dióxido de carbono (CO_2) emitido al utilizar combustibles fósiles, el hidrógeno puede ser una alternativa viable para reducir las emisiones de carbono en diversos sectores, especialmente para aquellos donde la electrificación directa es compleja [8]. En cambio, el hidrógeno producido con combustibles fósiles, incluso con captura de carbono, sigue generando emisiones, por lo que su viabilidad como alternativa sostenible es limitada.

1.4.1.1 Clasificación del hidrógeno

En la actualidad, se ha propuesto la implementación de un código de colores que facilita la clasificación del hidrógeno. Este sistema se basa en la fuente de energía utilizada para

producirla y, en algunos casos, también en el método por el que se obtiene. La clasificación consiste en:

- **Hidrógeno verde o renovable:** Es el hidrógeno que tiene su fuente de origen a través de energías renovables, usando agua como su materia prima principal y siguiendo un proceso denominado como electrólisis. De igual manera, se considera hidrógeno verde el obtenido por la conversión termoquímica de biomasa o el reformado de biogás, si cumplen estrictos criterios de sostenibilidad. Estos criterios garantizan que la producción de hidrógeno a partir de estas fuentes tenga un impacto ambiental mínimo [10].
- **Hidrógeno Gris:** Hidrógeno obtenido mediante gas natural o aplicando otros hidrocarburos como gases licuados de petróleo o metano, en los que se aplica un proceso de reformado, sin subsecuente captura y almacenamiento de carbono [10].
- **Hidrógeno Azul:** Sigue un proceso análogo a la producción de hidrógeno gris, con la única diferencia que se aplican técnicas de uso, almacenamiento y captura, conocidos como CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage). Este tipo de técnicas permiten la reducción de hasta un 95% de emisiones de CO₂ formadas en el proceso [2], [10].

Además de los mencionados, existen otros con impactos medioambientales variados, como el hidrógeno marrón o negro, que se produce a partir del carbón, así como el hidrógeno generado con energía nuclear o electricidad de la red. No son considerados en la clasificación principal debido a la complejidad de medir con precisión el impacto ambiental de su consumo y producción [2], [10].

1.4.2 Cadena de valor

La cadena de valor hace referencia al procedimiento a seguir para la adquisición de la molécula de hidrógeno desde su producción, el almacenamiento, hasta lo usos finales.

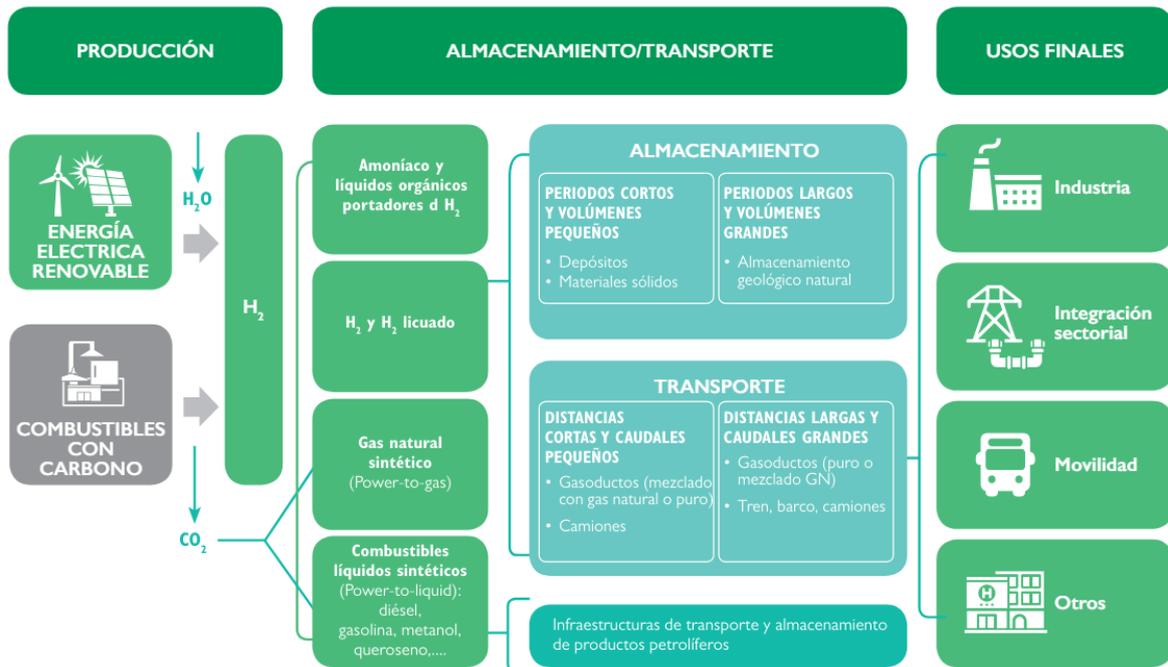


Figura 1.1. Cadena de valor del hidrógeno verde [2].

1.4.2.1 Producción de hidrógeno

La producción de hidrógeno es la primera etapa en cuanto a la cadena de valor. Mediante la Figura 1.1, se puede clasificar la producción según la materia prima utilizada. Se distingue dos tipos, el primero mediante energías renovables, y el segundo a través de gases como combustibles con carbono.

1.4.2.1.1 Producción de hidrógeno mediante energías renovables

La producción de hidrógeno a partir de energías renovables es también conocido como hidrógeno verde. La obtención aplica la tecnología electrólisis, basada en la disociación de la molécula de agua en sus dos componentes oxígeno e hidrógeno en estado gaseoso. Esto se lo realiza mediante la inyección de corriente eléctrica continua que se suministra a través de una fuente de alimentación conectadas a dos electrodos, provocando como reacción la ruptura molecular del agua [2].

Para la aplicación, existen diversos tipos de electrolizadores con diferentes características constructivas y tecnológicas. Algunos son:

- **Electrolizadores alcalinos:** El electrolito que permite la conducción de iones es una solución alcalina, generalmente de hidróxido de potasio (KOH). Este tipo de electrolito es el más común actualmente debido a su alta madurez tecnológica y rentabilidad económica. Esta tecnología tiene presencia de una pequeña densidad

de corriente, provocando una menor producción de hidrógeno por volumen de equipo [2].

- **Electrolizadores de Membrana de intercambio de protones (PME):** Este tipo de tecnología emplea un electrolito del tipo polímero sólido conductor de protones, obteniendo una reducción frente a la problemática de corrosión con los alcalinos, pero con otros tipos que afectan a componentes individuales. Tiene la característica de usar metales preciosos, lo que equivale a un mayor costo de producción. Sin embargo, estos electrolizadores pueden operar a mayores densidades de corriente y se adaptan ágilmente a sistemas energéticos intermitentes, como energías renovables [2].
- **Electrolizadores de Membrana de intercambio aniónico (AEM):** Es un electrolizador alcalino, con la diferencia de utilizar una membrana de intercambio aniónico como electrolito. Esta tecnología es más económica que los electrolizadores PEM porque no requiere metales preciosos como catalizadores, sino que utiliza metales no nobles. Este tipo de electrolizadores es altamente estable y de bajo costo para la producción de hidrógeno [2].
- **Electrolizadores de óxido sólido (SOEC):** Esta tecnología utiliza un electrolito hecho de materiales cerámicos, lo que reduce sus costos de fabricación y ofrece un alto grado de eficiencia energética, aunque requiere temperaturas por encima de los 700°C para funcionar. A diferencia de otras tecnologías, permite reconvertir el hidrógeno producido en electricidad mediante equipos reversibles, proporcionando una red equilibrada. Sin embargo, es la tecnología menos avanzada en comparación con los electrolizadores alcalinos [2].

1.4.2.1.2 *Producción de hidrógeno mediante gas natural o biogás*

Este tipo de métodos son ampliamente utilizados por la abundancia y accesibilidad de los recursos. El proceso implica la reacción del gas natural o biogás con vapor sometidos a grandes temperaturas para la producción de hidrógeno y dióxido de carbono [11]. Algunos son:

- **Reformado con vapor (SMR):** En este proceso, el vapor a alta presión y temperatura reacciona con hidrocarburos en presencia de un catalizador basado en metales, lo que genera un gas de síntesis compuesto por monóxido de carbono e hidrógeno. Después, se suelen realizar dos etapas de la reacción de

cambio de agua-gas para obtener más hidrógeno, seguido por un último proceso de purificación del hidrógeno [2].

- **Oxidación parcial (POX):** Dentro de este método, el hidrocarburo percibe una combustión parcial, en la que reacciona con oxígeno en una proporción menor a la estequiométrica (con un déficit de oxígeno) dentro de un reactor sometido a altas temperaturas (entre 1.300°C y 1.500°C), produciendo gas de síntesis. Se caracteriza por ser un método más rápido, pero menos eficiente en comparación con los reformados con vapor [2].
- **Reformado autotérmico (ATR):** Representa la combinación de las tecnologías de Oxidación Parcial y Reformado con Vapor. Dentro de este proceso se inserta una corriente de vapor en el proceso de oxidación parcial, creando un proceso parecido al SMR. La diferencia radica en el uso exclusivo del oxígeno como fuente de calor para generar vapor, mientras que el ATR utiliza oxígeno directamente. El inconveniente con este tipo de proceso es que ofrece una menor eficiencia que los del tipo SMR [2].

1.4.2.2 Transporte y Almacenamiento del hidrógeno

La segunda etapa en la cadena de valor constituye el transporte y almacenamiento del hidrógeno. Los costos asociados serán un papel importante para determinar la competitividad del hidrógeno. Si se puede usar en las proximidades de su producción, estos costos podrían ser casi nulos. No obstante, si debe ser transportado a grandes distancias antes de su uso, los costos de transmisión y distribución podrían llegar a ser tres veces superiores al costo de producción del hidrógeno [10].

El hidrógeno será una pieza clave en los sistemas energéticos modernos, ya que permite almacenar grandes cantidades de energía durante largos periodos y transportarla a largas distancias. En la actualidad, el hidrógeno se almacena y se distribuye generalmente en forma de líquido o gas comprimido. La mayor parte del hidrógeno se produce y consume en el mismo lugar, mientras que el resto se transporta mediante tuberías o camiones. La competitividad del hidrógeno estará influenciada por la distancia de transporte, la escala de producción y su uso final [10].

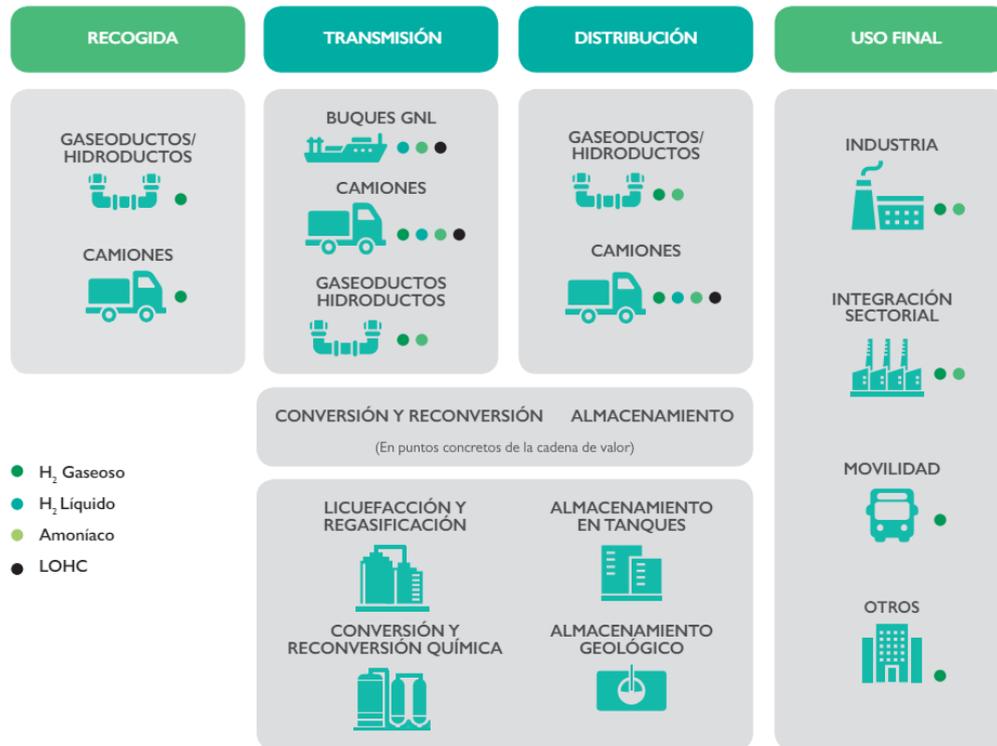


Figura 1.2. Elementos de transmisión, distribución y almacenamiento de la cadena de valor del hidrógeno [2].

Dentro de la Figura 1.2 se describen los elementos en consideración para la distribución y almacenamiento del hidrógeno en estado gaseoso, líquido, el amoníaco y para los portadores de hidrógeno como líquidos orgánicos, conocidos también como LOHC. El grado de desarrollo de las opciones mencionadas, junto con la aplicación prevista para el hidrógeno producido, el tiempo transcurrido entre su producción y consumo, y la ubicación del consumo, son elementos determinantes dentro de la selección para la opción más adecuada en cuanto al almacenamiento y transporte [2].

Para el almacenamiento de hidrógeno renovable a corto plazo y en pequeñas cantidades para uso, las opciones más adecuadas son:

- **Materiales sólidos:** Hay varias aleaciones y metales, como magnesio, litio, cromo, entre otros, que forman hidruros químicos o metálicos con hidrógeno. Esta capacidad les admite almacenar una mayor cantidad de hidrógeno por unidad de volumen. La disposición del compuesto para captar y soltar hidrógeno es dependiente de aspectos como la temperatura y presión durante los procesos, así como la velocidad que tenga cada uno [2].
- **Depósitos a altas temperaturas:** El hidrógeno en estado gaseoso debe mantenerse a una presión de 350 o 700 bar en vehículos, y en un rango de 200 a

1.000 bar para su almacenamiento y transporte en hidrogeneras. Esto requiere la implementación de materia prima resistente como materiales compuestos o acero. La capacidad de almacenar en cilindros hechos de compuestos livianos y resistentes permite conseguir cantidades de transporte terrestre de hasta los 1.579 kg. Sin embargo, la limitación principal de este almacenamiento radica en el volumen ya que, en comparación con otros combustibles, el hidrógeno presenta una menor densidad energética por unidad de volumen [2].

Para el transporte, es posible el uso de diferentes tipos de depósitos que varían según el vehículo y disponen de las siguientes opciones:

- **Transporte por carretera:** Se lleva a cabo en camiones cisterna que transportan hidrógeno comprimido o líquido. Este tipo de vehículos pueden trasladar hasta 4.300 kg de hidrógeno líquido y 360 kg de hidrógeno comprimido. Además, la distribución en botellas permite el suministro en diversos tipos de cantidades y purezas [2].
- **Transporte por ferrocarril:** Se usan cisternas de ferrocarril para transportar hidrógeno. Estas cisternas son más voluminosas, con capacidades que oscilan entre 2.900 y 9.100 kg para el transporte de hidrógeno [2].
- **Transporte marítimo:** Utilizando tanques de hidrógeno de 70 toneladas, los buques de carga pueden transportar grandes cantidades de hidrógeno a lugares de consumo remotos [2].

De manera general, los costos de transporte y almacenamiento pueden representar un porcentaje significativo del costo total de la energía, lo que puede impactar la competitividad del hidrógeno renovable comparado con otras fuentes energéticas [2].

1.4.2.3 Usos finales del hidrógeno

Como último punto de la cadena de valor del hidrógeno son sus usos finales. Como fuente de energía, las aplicaciones pueden ser muy diversas, dependiendo de si el hidrógeno se utiliza directamente como vector energético o como materia prima para otros productos. Cuando se utiliza de forma natural, puede utilizarse directamente como materia prima en la industria, portador de energía o combustible. En particular, las aplicaciones del hidrógeno renovable que pueden sustituir a los recursos fósiles o a recursos más contaminantes se dividen en las siguientes áreas:

- **Industria**

La industria es responsable de más de una cuarta parte de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía y un 8% adicional de las emisiones globales provienen de procesos industriales. Por lo tanto, requerirá la comercialización y desarrollo de nuevos productos de cero emisiones con soluciones tecnológicas que reducirán las emisiones no sólo en un 60%, sino que eventualmente a cero netos. Entre las industrias con gran trascendencia energética será: Cemento y cal, de alta complejidad ya que reducir las emisiones de CO₂ es un desafío por las altas emisiones de proceso relacionadas con la producción de Clinker [12].

Químicas y Petroquímicas, ya que los productos resultantes de esta industria tienen hoy una demanda amplia y consolidada, y la mayoría de ellos podrían desplazarse de formas alternativas, como la conversión de energía a productos químicos y productos basados en biomasa. La mayoría de las actividades de la industria dependen del hidrógeno procedente de combustibles fósiles, una industria bien establecida con décadas de experiencia. El hidrógeno procedente de energías renovables tiene así el potencial para reemplazar materias primas basadas en combustibles fósiles en aplicaciones de altas emisiones [12].

Hierro y Acero, que representa hasta el 9% del CO₂ de los combustibles fósiles emitido a nivel mundial en 2017. Parte significativa de la energía total consumida para producir hierro y acero proviene del carbón y agentes químicos reductores. La industria está siguiendo varias rutas clave de producción de bajas emisiones que ayudan a lograr una mayor reducción, como hidrógeno procedente de energías renovables, que ha recibido cada vez más atención como facilitador de la reducción de emisiones en la producción de hierro mediante la reducción directa del mineral de hierro [12].

- **Transporte**

El transporte representa alrededor de una cuarta parte de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía. En el caso de los vehículos ligeros, los vehículos eléctricos de batería han mostrado espectaculares mejoras en autonomía, coste y cuota de mercado. El futuro en este ámbito es claro: electrificar la flota de vehículos ligeros y proporcionar esa electricidad a partir de fuentes renovables [12].

Para otros modos de transporte, el camino es menos evidente, aunque existe un importante potencial sin explotar en los biocombustibles líquidos sostenibles. Se requieren soluciones adicionales para el transporte de mercancías por carretera, la aviación y el transporte marítimo [12].

- **Infraestructura de gas natural**

El gas natural se considera un combustible de transición energética por sus menores emisiones de carbono en comparación con otros combustibles fósiles. Sin embargo, no es una solución sin emisiones de carbono, y su intensidad de carbono puede variar significativamente según su transporte y consumo [12].

El biogás, el metano sintético producido a partir de hidrógeno verde y CO₂, y la inyección directa de hidrógeno verde hacia la red ofrecen oportunidades para usar la infraestructura de gas existente de manera más ecológica. Aunque la producción de hidrógeno o metano sintético a partir de energías renovables es actualmente costosa, se espera que las reducciones de costos mejoren su viabilidad económica en la próxima década [12].

1.4.3 Análisis PESTEL

El marco Político, Económico, Social y Tecnológico (PEST) es un método desarrollado por Fahey y Narayanan [13], analiza el entorno empresarial desde una perspectiva macroeconómica. Se analizan estos cuatro factores para un asesoramiento estratégico sobre mercados y negocios. Los factores políticos se refieren principalmente a instituciones, políticas y leyes sociales. Los factores económicos incluyen aspectos macro y microeconómicos que influyen conjuntamente en la industria desarrollo. Los factores sociales se refieren a los residentes, la cultura y los valores. Los factores tecnológicos incluyen las condiciones de aplicación de diversas técnicas y las tendencias de desarrollo tecnológico. El marco PEST ha sido ampliamente utilizado en análisis de las perspectivas de desarrollo de una industria [14].

Un análisis PESTEL es un método integral para evaluar el conjunto de fuerzas que afectan a una organización y comprender su dirección estratégica, lo cual facilita la toma de decisiones informadas sobre sus actividades. Este marco abarca seis factores principales: político, económico, social, tecnológico, ambiental y legal. Como una manera estructurada de organizar los factores ambientales, PESTEL se emplea para examinar y mapear la influencia de factores externos en una industria. La herramienta ofrece una visión general de los factores macro ambientales que una empresa debe tener en cuenta en su proceso de toma de decisiones. Al considerar los factores externos clave que provocan cambios, el marco PESTEL puede motivar a las empresas a pensar en objetivos a largo plazo y a seleccionar estrategias de inversión e innovación sostenibles [14].

1.4.4 Benchmarking

El benchmarking consiste en identificar los niveles más altos de estándares de excelencia en productos, servicios o procesos, y luego realizar las mejoras necesarias para alcanzar esos estándares, conocidos comúnmente como "mejores prácticas". El procedimiento de evaluación comparativa va más allá de simplemente recopilar información acerca del desempeño de una empresa en comparación con otras. La decisión de comenzar a realizar evaluaciones comparativas es valiosa para las empresas, ya que introduce una variedad de ideas sobre procesos, enfoques y preocupaciones [15].

Existen cuatro tipos de benchmarking: interno, competitivo, funcional o industrial, y comparativo de procesos o genéricos [15].

- **Benchmarking interno:** el objetivo principal del benchmarking interno es determinar los estándares de desempeño dentro de una organización, permitiendo así el intercambio de una gran cantidad de información. El beneficio inmediato proviene de identificar los mejores procedimientos internos y transferirlos a otras áreas de la organización, a menos que se utilicen posteriormente como referencia [15].
- **Benchmarking competitivo:** el propósito del benchmarking competitivo es comparar empresas que operan en los mismos mercados y tienen productos, servicios o procesos similares. Esta estrategia permite identificar las ventajas relativas de una empresa en determinadas condiciones frente a sus competidores directos. Sin embargo, la información fácilmente accesible suele estar en el dominio público, y los competidores pueden dificultar la obtención de datos valiosos [15].
- **Benchmarking industrial o funcional:** se lleva a cabo externamente con líderes de la industria o las mejores operaciones funcionales de ciertas empresas. Los socios en la evaluación comparativa suelen compartir características tecnológicas y de mercado comunes, y tienden a enfocarse en funciones específicas. Al no involucrar a competidores directos, el socio de evaluación comparativa suele estar más dispuesto a colaborar y compartir información. Una desventaja puede ser el costo y la programación, considerando que las empresas de referencia ya están sobrecargadas [15].
- **Benchmarking genérico:** tiene su enfoque en los mejores procesos de trabajo. En lugar de dirigir la evaluación comparativa hacia las prácticas comerciales de una empresa específica, se pone énfasis en procedimientos y funciones similares. Este tipo de benchmarking se puede aplicar en diferentes organizaciones [15].

El benchmarking sigue un procedimiento esquemático que consta de varios pasos a seguir, estos pasos suelen estar previstos en un modelo. Cabe señalar que, si bien el proceso es

muy estructurado, no debe agregar complejidad a una idea simple. Básicamente, “la estructura no debe obstaculizar el proceso” [15]. A continuación, se describe el proceso.

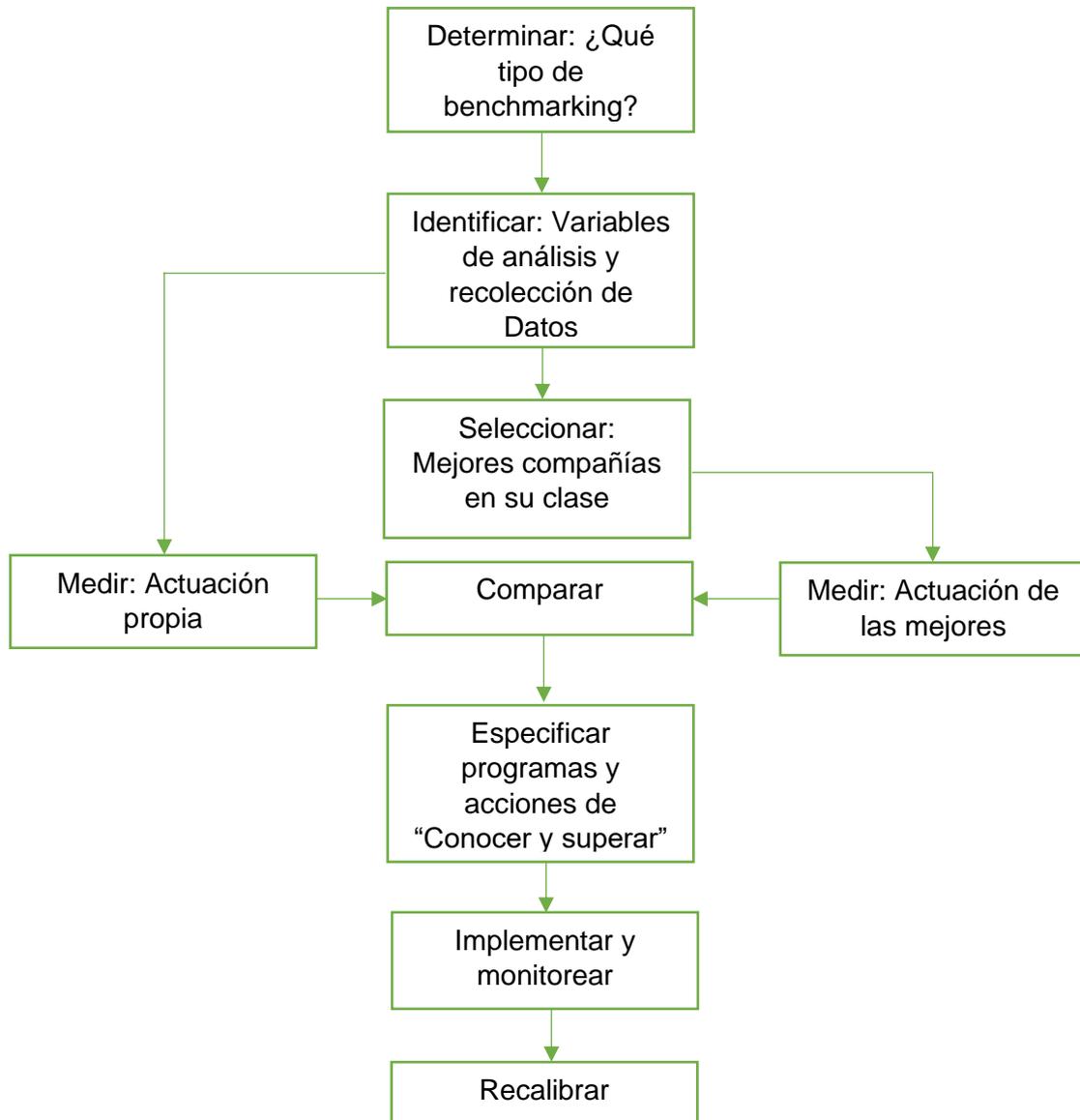


Figura 1.3. Proceso benchmarking [15].

2 METODOLOGÍA

El trabajo de integración tiene un enfoque cualitativo y es de tipo descriptivo, analiza las líneas de acción implementadas en países líderes en el desarrollo de hidrógeno verde, donde se describen los principales retos y oportunidades, así como las medidas primordiales para una correcta integración dentro de su vector energético.

Si bien es conocido que Ecuador al momento dispone de una hoja de ruta, lo que se busca es compararla con otras estrategias internacionales y así poder proponer medidas a ser integradas dentro del plan ecuatoriano. Por tanto, para alcanzar los objetivos planificados, se plantea una metodología de tipo análisis PESTEL [14] combinada con un análisis Benchmarking [15], descrita dentro del capítulo 2.2. El propósito de la metodología es conocer las mejores prácticas implementadas de los países líderes en hidrógeno verde, así como dentro de los países que presentan las mismas condiciones socioeconómicas, políticas, ambientales y estructurales del Ecuador.

El trabajo se divide en cinco etapas: Análisis estructural acerca de las hojas de ruta para la producción de hidrógeno verde de experiencias internacionales, descripción de la metodología combinada, aplicación Benchmarking PESTEL enfocado en hidrógeno verde para Ecuador, comparación y síntesis de resultados entre Ecuador y países estudiados, y la propuesta de medidas a ser incluidas en la hoja de ruta de hidrógeno verde del Ecuador

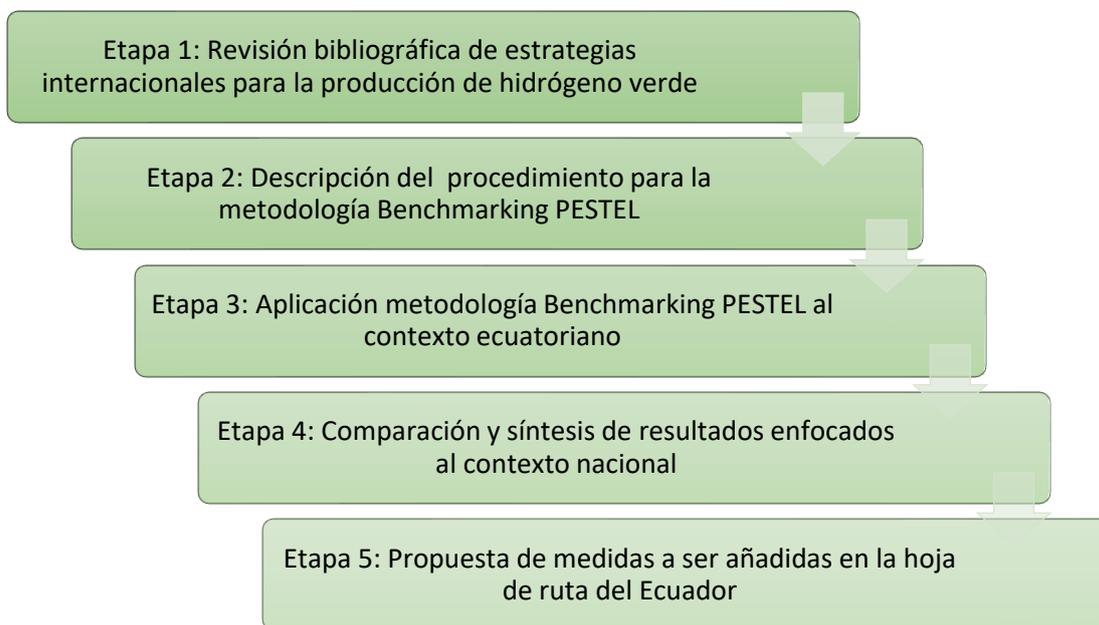
En la primera etapa, se lleva a cabo una revisión bibliográfica de las estrategias internacionales publicadas, con el propósito de analizar e identificar los aspectos y ejes estratégicos que diferentes países han implementado para la producción de hidrógeno verde. Esto permite detallar una metodología que facilite el estudio de cada aspecto y posibilite una comparación con la hoja de ruta para producir hidrógeno verde en Ecuador.

Como segunda etapa, se describe el procedimiento de la metodología combinada, especificando el proceso y los criterios para la selección de países, la adaptación del análisis PESTEL y el benchmarking, y las fases de implementación.

En la siguiente etapa, se aplica la metodología combinada al contexto de Ecuador. Para ello, se realiza previamente un análisis de los factores PESTEL en Ecuador, evaluando las condiciones actuales para la producción de hidrógeno verde. Tras este análisis, se aplican las fases de la metodología descrita en cada ámbito PESTEL, para identificar las mejores prácticas implementadas en los países investigados y establecer un punto de comparación con el contexto local.

A continuación, como cuarta etapa, se comparan los resultados obtenidos para Ecuador con los de los países estudiados. Este análisis comparativo permite identificar la robustez de las medidas que integran la hoja de ruta, así como los puntos en los cuales se puedan añadir nuevas medidas de mejora en la hoja de ruta para la integración de hidrógeno verde en Ecuador.

Finalmente, en función del análisis comparativo, se realiza la propuesta de medidas a ser añadidas en la hoja de ruta siguiendo el modelo PESTEL.



2.1 Análisis estructural hojas de ruta de experiencias internacionales para la producción de hidrógeno verde

Una hoja de ruta de hidrógeno verde es un plan estratégico integral, que tiene como objetivo principal establecer una guía trascendental para el desarrollo e integración exitosa de un mercado de hidrógeno verde sostenible y competitivo. En los últimos años, se han presentado estrategias internacionales que buscan el posicionamiento del hidrógeno como nueva fuente de energía para la transición energética con baja emisión de carbono. Estas estrategias integran un análisis a corto, mediano y largo plazo, enmarcando todos los aspectos a considerar como técnicos, económicos, regulatorios, entre otros, los cuales guardan relación con la producción, almacenamiento y distribución del hidrógeno verde.

Tabla 2.1. Resumen de países que han publicado estrategias u hojas de ruta para la producción de hidrógeno verde y sus ejes estratégicos de implementación [2], [8], [16], [17], [18], [19], [20], [21]

País	Fecha de publicación	Ejes estratégicos de implementación
Alemania	Estrategia publicada en junio 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Marco Regulatorio • Capacidad de Generación • Infraestructura

		<ul style="list-style-type: none"> • Competitividad • Cooperación internacional
España	Hoja de ruta publicada en octubre 2022	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos Regulatorios • Instrumentos Sectoriales • Instrumentos Transversales • Impulso a la I+D+i
Portugal	Estrategia publicada en agosto 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos políticos • Instrumentos tecnológicos • Impulso a la I+D+i • Infraestructura
Japón	Estrategia publicada en 2017	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos tecnológicos • Infraestructura • Instrumentos Regulatorios • Cooperación internacional
Chile	Estrategia publicada en noviembre 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Fomento al mercado doméstico y a la exportación • Normativa, seguridad y pilotajes • Desarrollo social y territorial • Formación de capacidades e innovación • Gobernanza
México	Estrategia publicada en mayo 2020	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos estratégicos • Instrumentos regulatorios y jurídicos • Instrumentos económicos o de mercado • Instrumentos tecnológicos y de infraestructura • Instrumentos ambientales y sociales
Argentina	Estrategia Nacional publicada en octubre 2023	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas ambientales • Desarrollo industrial • Ciencia, tecnología e innovación • Empleo y formación

		<ul style="list-style-type: none"> • Inversiones y certificación
Colombia	Hoja de ruta publicada en 2021	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos regulatorios y jurídicos • Instrumentos de desarrollo de mercado • Apoyo al despliegue de infraestructura • Impulso al desarrollo tecnológico e industrial

Dentro de la Tabla 2.1 se describe un resumen acerca de los principales ejes estratégicos que han adoptado países líderes en la producción de hidrógeno verde, así como aquellos con condiciones similares a las de Ecuador en aspectos ambientales, políticos, sociales, entre otros. Los escenarios de cada país hacen que las motivaciones para desarrollar una estrategia de hidrógeno sean diversas. De forma general incluyen el impulso a políticas ambientales, la infraestructura, empleo y formación, cooperación internacional, instrumentos regulatorios y jurídicos, modelo de gobernanza y el impulso a la I+D+i (Investigación, desarrollo e innovación).

A pesar de los diversos ejes estratégicos presentes en cada una de las estrategias internacionales, es evidente que comparten objetivos comunes: promover la sostenibilidad, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático. En este contexto, se propone realizar un análisis PESTEL (político, económico, social, tecnológico, ecológico-ambiental, legal) [14] para comprender las medidas internacionales adoptadas para la producción de hidrógeno verde y obtener una visión realista aplicable a Ecuador.

Además, para obtener un análisis más exhaustivo en cuanto a las mejores prácticas que se han adoptado internacionalmente y alcanzar el objetivo de proponer medidas de mejora para la hoja de ruta de producción de hidrógeno verde en Ecuador, se integra un análisis Benchmarking competitivo [15] dentro de cada uno de los ámbitos que integra el análisis PESTEL.

2.2 Descripción de la metodología combinada: Benchmarking Estratégico y Análisis PESTEL

La metodología propuesta tiene como objetivo combinar un análisis de las mejores prácticas internacionales, conocido como Benchmarking, junto con un análisis del entorno

específico, conocido como PESTEL. Esta integración se fundamenta en base a la necesidad de comparar las prácticas y estrategias exitosas de los países líderes en la producción de hidrógeno verde, mientras se evalúan las condiciones específicas de Ecuador en términos de factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales. Esta combinación permite obtener un amplio estudio acerca de las estrategias necesarias para una correcta integración del hidrógeno verde, también interpretarla en un contexto local y proponer adecuadas prácticas con mayor potencial de impacto y aplicabilidad para Ecuador.

A continuación, se presentan los pasos para realizar la metodología propuesta, así como los criterios de consideración.

2.2.1 Fases de implementación metodología Benchmarking-PESTEL

Para la aplicación de la metodología, se propone implementar un conjunto de fases que detallen los pasos a seguir. Estas fases se estructuraron en función del procedimiento que se aplica dentro del análisis Benchmarking [15], y adaptado dentro de un enfoque PESTEL [14].

Se detallan un total de cinco fases, en las que se describe el procedimiento para obtener las propuestas de mejora para la hoja de ruta de hidrógeno verde en Ecuador.

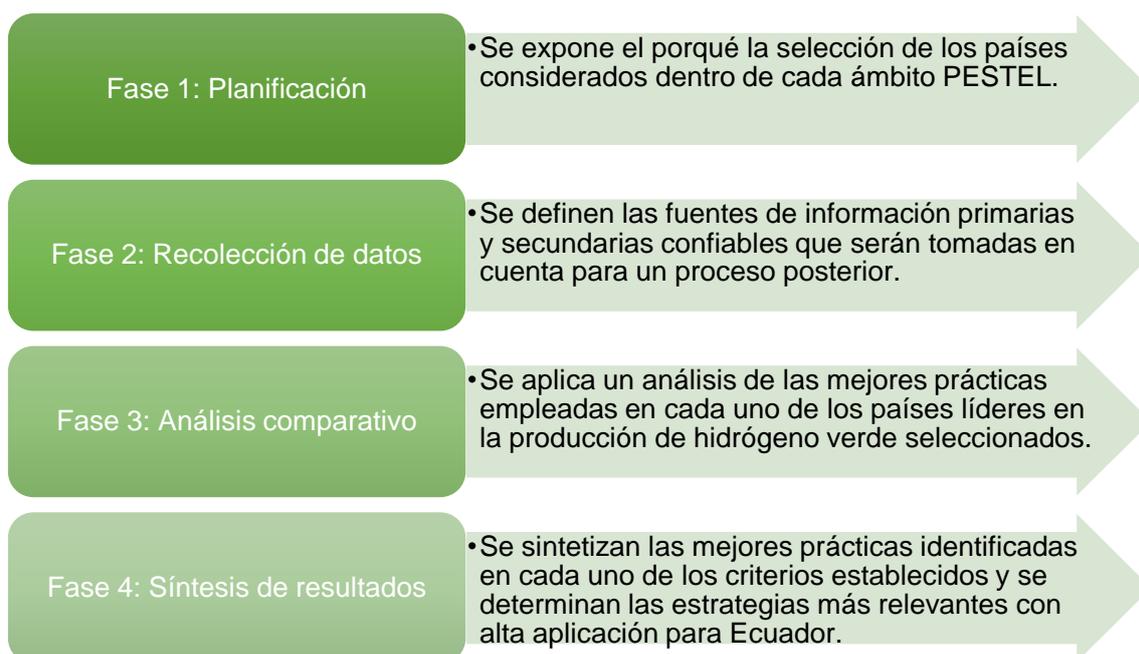
Como primera fase, se exponen el porqué de la selección de países adecuados o semejantes para cada ámbito de la metodología PESTEL. Esto, debido a que no todas las prácticas publicadas en las estrategias internacionales pueden ser viables en un contexto nacional. Por ejemplo, si nos referimos a un ámbito político, las estrategias adecuadas vendrían de países que tengan una situación semejante a las que se vive dentro del Ecuador.

A continuación, se describen las fuentes de información primarias y secundarias a tomar en cuenta para un proceso posterior, mismas que deben obtenerse de fuentes confiables y verídicas como sitios web oficiales de gobiernos, organizaciones internacionales, entre otros.

Como siguiente paso, se describen las mejores prácticas que se han adoptado o se planean adoptar, para poder cumplir con los objetivos planificados en cada plan estratégico. Aquí, se toma en cuenta que las medidas tengan una posibilidad de aplicación en un contexto local.

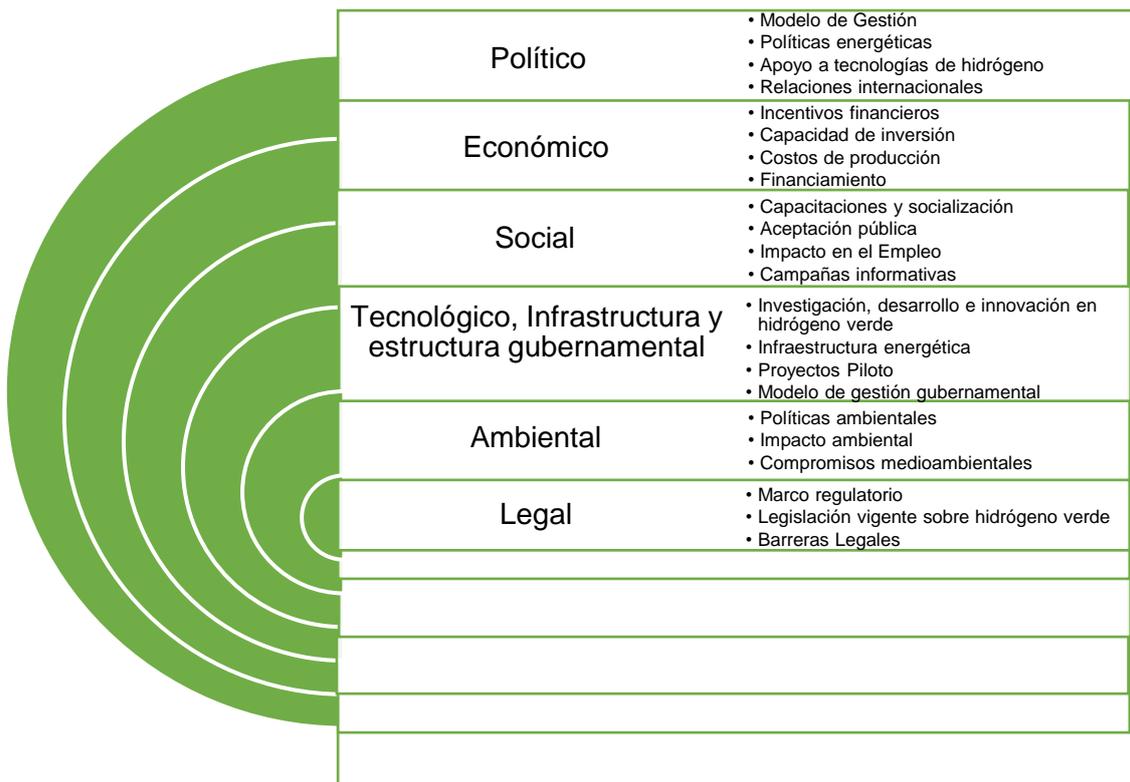
Una vez culminada la búsqueda de las mejores prácticas, se sintetizan los resultados en cada uno de los ámbitos PESTEL mediante una tabla resumen. Cada medida se clasifica en función de los criterios de comparación especificados posteriormente.

Por último, se compara entre las estrategias descritas en la hoja de ruta del Ecuador y las medidas encontradas en cada país de estudio. Esto, con el objetivo de tener una visión amplia sobre los puntos fuertes de la hoja de ruta local y poder estructurar medidas de mejora.



2.2.2 Diseño de criterios de análisis PESTEL adaptado al benchmarking

Con el propósito de obtener medidas mucho más específicas, se han establecido criterios principales de comparación que se analizan en cada uno de los escenarios PESTEL. Estos criterios se han estructurado en función la Tabla 2.1, que describe los ejes estratégicos de implementación para cada hoja de ruta en la producción de hidrógeno verde.



2.3 Aplicación Benchmarking PESTEL enfocado en hidrógeno verde para Ecuador

2.3.1 Análisis PESTEL del contexto ecuatoriano actual

Como punto de partida, se realiza un análisis PESTEL acerca de la hoja de ruta actual que presenta el Ecuador para la producción de hidrógeno verde, elaborada por el Ministerio de Energía y Minas en el año 2023 [6]. Esta hoja de ruta define escenarios a corto, mediano y largo plazo, y establece como ejes estratégicos de implementación la cooperación internacional, la infraestructura, la normativa y regulación, así como la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) y capacitación.

2.3.1.1 Ámbito Político

- **Modelo de Gestión:** La hoja de ruta provee un modelo de gestión que incluye la formación de un comité especializado en hidrógeno verde, que actúa como órgano central de coordinación y supervisión, encargado de la implementación de políticas, regulaciones y estándares técnicos. Además, el modelo promueve la colaboración interinstitucional entre el gobierno, el sector privado, las instituciones educativas y la sociedad civil, para fomentar la investigación y el desarrollo, así como la formación de capacidades y la divulgación de información. La estrategia también

contempla la implementación de regulaciones que faciliten el acceso a financiamiento y la atracción de inversiones, asegurando un entorno legal y regulatorio favorable para los proyectos relacionados con el hidrógeno verde.[6].

- **Políticas energéticas:** Se plantea promover políticas y programas que favorezcan el despliegue de energías renovables no convencionales para la producción de hidrógeno verde, aprovechando la alta participación de energía hidráulica en la matriz eléctrica del país. Se designa a la Agencia de Regulación de Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables para la definición de reglas para la producción de hidrógeno, así como el esquema de remuneración para su comercialización. Además, como acción relevante a corto plazo, se describe la necesidad de especificar las condiciones de producción de hidrógeno para ser denominado como verde a través de promover la alineación de regulaciones con otros países de la región para facilitar la homologación futura y el comercio internacional de hidrógeno [6].
- **Apoyo a tecnologías de hidrógeno:** Se describe la necesidad de establecer un marco regulatorio que impulse la implementación de proyectos de hidrógeno verde, incluyendo incentivos y beneficios tributarios [6].
- **Relaciones internacionales:** Se dispone a conformar una alianza estratégica con países más avanzados en la producción de hidrógeno verde para intercambiar conocimiento y tecnologías, además de posibles fuentes de financiamiento. Algunos de estos actores son Corea del Sur, la Unión Europea, Japón y Estados Unidos. Por otro lado, se propone una alianza regional para establecer un posible mercado de hidrógeno con países como Brasil, Chile y Colombia [6].

2.3.1.2 Ámbito Económico

- **Incentivos financieros:** Se resalta la necesidad de tener medidas regulatorias que faciliten mecanismos de financiamiento público-privado, como préstamos con bajas tasas de interés, rondas de financiamiento público y emisión de bonos, además de desarrollar una estrategia diplomática que facilite la obtención de recursos de cooperación internacional. En este contexto, se plantea una destinación de 1.000 millones de dólares para incentivos a proyectos derivados del hidrógeno verde [6].
- **Capacidad de inversión:** Para llegar al objetivo a mediano plazo de obtener una capacidad de electrolisis de 1 GW, se describe una posible inversión de 3.327 millones de dólares para proyectos solares y fotovoltaicos, y un total de 1.000

millones de dólares para promover proyectos relacionados con hidrógeno verde y derivados. Para el largo plazo, se plantea capacidad de electrolisis de 3 GW, se describe una posible inversión de 24.400 millones de dólares para proyectos con energías renovables, y un total de 2.102 millones de dólares para promover proyectos relacionados con hidrógeno verde y derivados [6].

- **Costos de producción:** La producción de hidrógeno verde presenta altos costos iniciales, por lo que se propone la implementación de proyectos piloto que involucren a las energías renovables a bajo costo. Además, se menciona una gestión del sector público a nivel internacional comprometido con un aporte de entre 25% al 30% de las inversiones iniciales requerida. En este contexto, se prevé una necesaria destinación del Gobierno Nacional de Ecuador de 1.000 millones de dólares para incentivar el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde a 2030 [6].

2.3.1.3 Ámbito Social

- **Capacitación y socialización:** Dentro del corto plazo, crear programas de formación para capacitar al personal en el manejo de tecnologías y equipos relacionadas con el impulso de la cadena de valor del hidrógeno verde, es decir, a la producción, transporte y almacenamiento [6].

Para el mediano y largo plazo, realizar capacitaciones técnicas a empleados de la industria que hoy en día usan hidrógeno en el manejo de tecnologías afines al hidrógeno verde y sus derivados, además de promover el intercambio de conocimientos y experiencias académicas. También se resalta la importancia de capacitar a las entidades gubernamentales en aspectos regulatorios y técnicos vinculados a la cadena de valor del hidrógeno verde [6].

- **Aceptación pública:** Se dispone a promover campañas informativas para aumentar la aceptación pública y promover el uso del hidrógeno verde como nueva fuente de energía limpia [6].
- **Impacto en el Empleo:** La implementación de la hoja de ruta en Ecuador podría provocar una industrialización verde, dando como resultado la generación de empleos a lo largo de la cadena de valor, y en áreas de investigación y desarrollo [6].

- **Campañas informativas:** Se planea llevar a cabo campañas informativas en las comunidades para destacar los beneficios y ventajas de integrar proyectos piloto de hidrógeno verde en sus territorios [6].

2.3.1.4 **Ámbito Tecnológico, Infraestructura y modelo de gobernanza**

- **Investigación, desarrollo e innovación en hidrógeno verde:** Dentro del corto, mediano y largo plazo, establecer programas de maestría y especialización enfocados en proyectos de hidrógeno verde, además de programas de formación. Esto, mediante la creación de alianzas estratégicas para promover la investigación colaborativa a través de centros de investigación y universidades nacionales e internacionales [6].
- **Infraestructura energética:** Se plante evaluar la capacidad actual y los futuros requerimientos para la transmisión y distribución de energía, para promover planes de expansión efectivos. Estimar el posible uso futuro de la red actual de transporte de gas natural o la viabilidad de su adaptación y expansión para el transporte de hidrógeno. Y coordinar la planificación de la infraestructura nacional con los desarrollos necesarios para el hidrógeno y sus derivados [6].
- **Proyectos Piloto:** Se describen proyectos de desarrollo e investigación colaborando entre el sector académico y el industrial para estudiar la cadena de valor del hidrógeno, su uso en nuevas aplicaciones y su transformación en productos derivados, considerando las condiciones locales. También se describe el uso y creación de “Sanboxes regulatorios para la transición energética” con el objetivo de garantizar las condiciones seguras de operación en los procesos de la cadena de valor del hidrógeno [6].

Para la estructura gubernamental, dentro de la Figura 2.1 se presenta la propuesta integrada en la hoja de ruta.

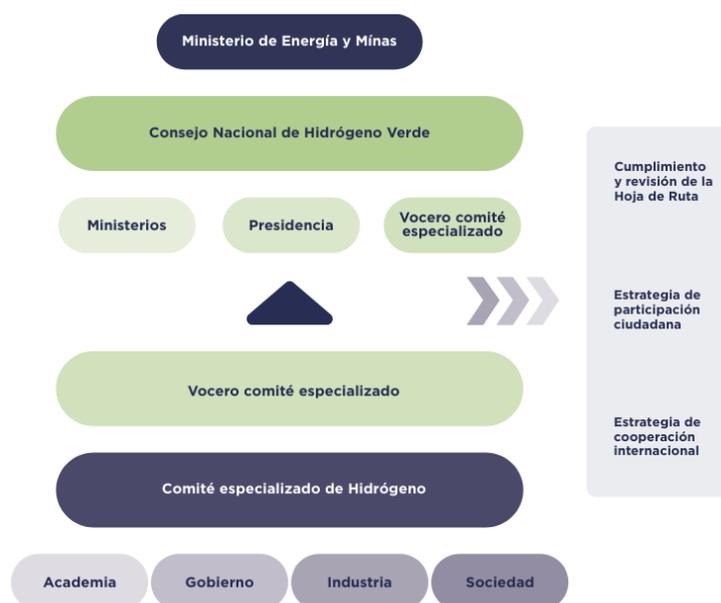


Figura 2.1. Modelo de gobernanza para el hidrógeno verde en Ecuador [6].

2.3.1.5 Ámbito Ambiental

- **Políticas ambientales:** Se plantea establecer una regulación clara que promueva el buen uso hídrico en procesos de obtención de hidrógeno verde y sus derivados, que tenga una orientación íntegra desde los planteamientos de proyectos, y considerar la competitividad por el agua en áreas con poblaciones vulnerables [6].
- **Impacto ambiental:** Se están considerando estudios para medir los impactos ambientales de la producción de hidrógeno verde y sus derivados, promoviendo prácticas sostenibles [6].
- **Compromisos medioambientales:** El país está centrando sus esfuerzos en áreas estratégicas como el impulso de la movilidad eléctrica, la conservación de sus ecosistemas, la promoción de la eficiencia energética y la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible [6].

2.3.1.6 Ámbito legal

- **Marco regulatorio:** A corto plazo, se plantea establecer un marco normativo que establezcan lineamientos del mercado, otorgando seguridad a posibles inversionistas y desarrolladores de proyectos [6].

A mediano plazo, implementar o adaptar un esquema de certificación de origen para la electricidad, el hidrógeno verde y sus derivados. Además de establecer

normativas para la infraestructura de transporte, distribución y almacenamiento de hidrógeno, y para la instalación de estaciones de recarga y su utilización en el sector del transporte [6].

A largo plazo, desarrollar un marco normativo acerca de la cadena de valor del hidrógeno verde [6].

- **Legislación vigente sobre hidrógeno verde:** Hoy en día, Ecuador no cuenta con una legislación vigente sobre hidrógeno verde. Sin embargo, se están estableciendo políticas para el despliegue de tecnologías de hidrógeno y normativa para el desarrollo de infraestructura [6].
- **Barreras Legales:** La hoja de ruta aborda la necesidad de eliminar barreras legales y ofrecer seguridad de inversión, garantizando un entorno favorable para el desarrollo del hidrógeno verde [6].

2.3.2 Aplicación Benchmarking PESTEL de países líderes en hidrógeno verde

2.3.2.1 Ámbito Político

En el marco del ámbito político, se seleccionaron países con características socioeconómicas, políticas y ambientales similares al Ecuador, incluyendo condiciones climáticas, geográficas, recursos naturales, políticas públicas para la transición energética, y estrategias de cooperación internacional. Como casos de estudio, los países seleccionados son Chile, Colombia y Argentina. Estos países destacan por sus enfoques proactivos, colaboración interinstitucional y políticas energéticas innovadoras en el ámbito del hidrógeno verde.

Como fuentes de información principales, se eligen las hojas de ruta para la producción de hidrógeno verde, además de los planes de acción publicados por los distintos ministerios de energía de los países seleccionados. Se complementa la información a través de documentos de las diferentes páginas web desarrolladas por cada ministerio.

2.3.2.1.1 Chile

- 1. Desarrollar hojas de ruta regionales en el marco del Plan de Acción.** Esta medida propone la creación de una gobernanza regional encabezada por los Gobiernos Regionales, que incluirá a otras autoridades locales y actores clave del ecosistema regional. Se establecerán medios de comunicación y retroalimentación

con la gobernanza nacional a través del Consejo Ministerial. El objetivo es fomentar el desarrollo social y la capacidad productiva local, alineándose con la realidad ambiental y social de la región, utilizando los recursos disponibles de manera eficiente y equilibrada [22].

2. **Instalar un sistema de seguimiento del Plan con metodología de gestión de proyectos (PMO).** Esto, para tener un seguimiento y monitoreo de los compromisos descritos en el plan de acción. Esta metodología va a contribuir con la visualización de los avances para priorizar las coordinaciones necesarias, además de levantar las alertas en posibles desviaciones respecto a lo planificado [22].
3. **Actualizar la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde.** Esto, mediante una actualización en línea con lo comprometido en la estrategia vigente cuando se cumplan 5 años desde su publicación. Se tendrá énfasis en el desarrollo de una Política Industrial de Desarrollo Sostenible [22].
4. **Disponer e identificar información relacionada con industrias proveedoras de servicios relacionadas con la producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno verde.** Esta medida permite disponer de información sobre empresas proveedoras que logren suplir las futuras necesidades y brechas de bienes y servicios que se identifiquen con las nuevas tecnologías del hidrógeno, en consideración de los correspondientes criterios de seguridad y/o certificación, potenciando el desarrollo local [22].
5. **Fomentar la creación de fábricas dedicadas a la electrólisis en Chile.** Se busca presentar a empresas nacionales e internacionales propuestas a través de un Request for Proporsal (RFP) para fomentar la industria de ensamblaje y fabricación de electrolizadores dentro del país, definiendo incentivos y/o políticas públicas que logren desplegar y acelerar la inserción del hidrógeno verde [22].
6. **Captar inversiones internacionales para la industria de hidrógeno renovable y derivados.** Con esta medida se pretende atraer inversión facilitando el acceso al mercado mediante promoción, acompañamiento y apoyo, alineando los intereses de los inversionistas con las oportunidades de negocios disponibles en el país. Para cumplir este objetivo, se dispone a difundir a grupos de interés, tanto nacionales como extranjeros, información acerca de los avances y propuestas acerca del desarrollo potencial del hidrógeno verde [22].
7. **Disponer un sistema de certificación de sostenibilidad para el hidrógeno mediante el desarrollo de un plan energético.** Aquí, se planea profundizar dichos componentes relacionados con la estructura de certificación que garantice el cumplimiento de los requisitos de importación discutidos en Europa, como Japón,

Alemania, entre otros, aplicados a hidrógeno y sus derivados. También, se impulsarán un esquema de certificación en función de los requisitos propuestos por la región de América Latina y el Caribe [22].

2.3.2.1.2 Colombia

- 1. Monitorear y actualizar la Hoja de Ruta del Hidrógeno.** Disponer revisiones periódicas en ciclos suficientemente cortos. Esta revisión se llevará a cabo con una frecuencia mínima de cada 3 años, y podría realizarse anualmente si se considera necesario debido a cambios y tendencias del mercado. Las investigaciones tendrán su base en estudios técnicos especializados y se podrá evaluar el grado de implementación de las medidas, cuantificar su impacto y comprobar el estado de cumplimiento para las metas establecidas [8].
- 2. Estructurar la hoja de ruta del hidrógeno mediante las facetas de implementación de la política de cambio climático nacional, haciendo principal énfasis en los Planes Integrales de Gestión de Cambio Climático Sectoriales y Territoriales (PIGCCs).** Mediante la intervención de la Comisión Intersectorial de Cambio Climático la inclusión y aprobación del hidrógeno dentro de los PIGCCs. Con esta medida se busca alinear la hoja de ruta con las estrategias de neutralidad de carbono y descarbonización de la economía [8].
- 3. Estudiar la contribución de los electrolizadores en la provisión de servicios de flexibilidad para la red eléctrica.** Esto, para optimizar la regulación del sistema eléctrico, se propone hacer una revisión que se enfoque en la evaluación de los costos y beneficios de la flexibilidad de los electrolizadores, verificando que dicha tecnología cumpla con los requisitos técnicos exigidos [8].
- 4. Examinar la disminución de los costos eléctricos en la generación de hidrógeno renovable.** Se plantea disminuir costos de electricidad para los sistemas de producción de hidrógeno por electrólisis que posean certificados de origen que demuestren una baja huella de carbono. Se considerará eximirlos del pago de ciertos costos del sistema eléctrico, para aumentar su competitividad [8].
- 5. Diseñar un sistema de garantías de origen y certificaciones para el hidrógeno.** Colombia establece la intervención en grupos internacionales de trabajo que incluyan representantes de diversos países. Esta participación permitirá adoptar las mejores prácticas internacionales y desarrollar un sistema de garantías y certificación nacional alineado con el de los posibles países importadores [8].
- 6. Fomentar la participación en foros y comités internacionales de hidrógeno.** Esto, mediante instituciones internacionales como el Banco Interamericano de

Desarrollo (BID), la Asociación Internacional de la Energía (IEA), la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), el Consejo Mundial de la Energía (WEC) o la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) [8].

2.3.2.1.3 Argentina

1. **Implementar un esquema de certificación basados en criterios de emisiones sin preferencia tecnológica y coordinadas con países de la región.** Este tipo de sistema contará con un mecanismo para medir las emisiones de manera flexible frente a los avances tecnológicos y conforme a las demandas de los mercados competitivos [16].
2. **Desarrollar proveedores para la cadena de valor del hidrógeno renovable y sus derivados.** Esto facilitará satisfacer las demandas de equipos y servicios asociados en toda la cadena de valor, en línea con los objetivos de la estrategia nacional de hidrógeno [16].
3. **Fomentar la creación de prototipos de electrolizadores para la producción de hidrógeno.** Se propone la implementación de dos proyectos destinados al desarrollo de prototipos de electrolizadores alcalinos, además de establecer relaciones con empresas cercanas con la tecnología y fabricación de electrolizadores [16].
4. **Coordinar estrategias normativas, comerciales y productivas con países vecinos para atraer inversión extranjera directa, aprovechando los marcos institucionales y políticos de la integración regional.** Esto, con el objetivo de posicionar a América Latina como una potencia exportadora de hidrógeno mediante la colaboración y coordinación regional dentro del fortalecimiento en redes de proveedores, perfeccionamiento de infraestructura, esquemas ambientales, y certificaciones [16].
5. **Promover la creación de alianzas o consorcios público-privadas para impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico.** Esta colaboración busca combinar los recursos y la experiencia del sector público con la agilidad y la capacidad de innovación del sector privado [16].

2.3.2.2 Ámbito Económico

En el marco del ámbito económico, se seleccionaron países con propuestas y políticas firmes que logran establecer el posicionamiento del hidrógeno como nuevo vector

energético. Como casos de estudio, tenemos a Chile, España y Japón. Estos países destacan por sus ambiciosos planes de inversión y desarrollo de infraestructuras de hidrógeno, junto con una fuerte política de incentivos financieros para promover tecnologías limpias.

Como fuentes de información principales, se seleccionaron las hojas de ruta para la producción de hidrógeno verde publicadas por los ministerios de energía de los países seleccionados. Como fuente secundaria, se tienen páginas web oficiales presentadas por los diferentes ministerios en donde se encuentra documentación confiable.

2.3.2.2.1 Chile

- 1. Proponer una tasa de progreso para la inversión, permitiendo a las empresas disminuir los impuestos de primera categoría a través de inversiones que mejoren la productividad empresarial.** Mediante la reducción del 25% para impuestos de primera categoría y estableciendo un impuesto del 2% deducibles a empresas dentro del régimen general de tributación mediante inversiones que apoyen la productividad de las tecnologías relacionadas al hidrógeno verde [22].
- 2. Establecer un fondo de créditos tributarios aplicables al impuesto de primera categoría para inversiones de alto impacto relacionadas con hidrógeno, incluyendo criterios ambientales.** En el marco de la Ley de Reforma del Impuesto a la Renta, se creará incentivos tributarios elegibles para empresas que implementen proyectos de inversión productiva que impulsen la transferencia y desarrollo de tecnologías innovadoras de hidrógeno verde [22].
- 3. Implementar una agilidad de financiamiento para proyectos relacionados con hidrógeno verde y su cadena de valor, respaldada por el estado y con el apoyo de bancos multilaterales.** A través del Corfo (Corporación de Fomento de la Producción), se habilitará una facilidad financiera que permita captar inversión privada con respaldo del Estado. Este instrumento permitirá financiar proyectos enfocados a la producción de hidrógeno verde [22].
- 4. Acompañar a los proyectos de producción y consumo de hidrógeno verde respecto a instrumentos de financiamiento.** Mediante mecanismos de asistencia financiera (FSA), se acompañarán proyectos de hidrógeno verde y derivados en toda la cadena de valor, para asegurar su sostenibilidad financiera. Esto, para seguir un modelo de financiamiento basado en el sistema H2Global [23], el cual es un instrumento desarrollado por el gobierno alemán que promueve la protección del medio ambiente, así como la promoción de la ciencia y la investigación en hidrógeno verde. Su principal función es equilibrar la disparidad entre los precios

de la oferta y la demanda. Específicamente, se establecen contratos de compraventa de hidrógeno a diez años con los productores antes de realizar subastas para vender el hidrógeno, cubriendo la diferencia de precio con una subvención gubernamental [22].

- 5. Acelerar la aplicación de los primeros proyectos industriales de hidrógeno verde mediante rondas de financiación.** Apoyo a la construcción de proyectos de escala industrial de hidrógeno, a través de subsidios que apoyen las decisiones finales de inversión, y cuya implementación permita conocer los costos reales de producción para el hidrógeno verde [22].

2.3.2.2.2 España

- 1. Establecer una línea de crédito específica proyectos vinculados a la cadena de valor del hidrógeno verde en los próximos Planes Estatales de Investigación Científica, Técnica e Innovación.** Mediante la incorporación entre sus líneas estratégicas de I+D+i de la Estrategia Española de Ciencia el uso del hidrógeno renovable en la industria y su aplicación como recurso para combatir el cambio climático. La creación de esta línea de financiamiento busca asegurar que los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en el ámbito del hidrógeno renovable reciban el apoyo necesario para avanzar. Esto incluye desde la producción de hidrógeno verde hasta su aplicación en diferentes sectores industriales [2].
- 2. Crear planes que proporcionen incentivos para la adquisición de vehículos con pila de combustible y la implementación de infraestructura adecuada.** Dentro de esta medida, se propone desarrollar un plan dedicado a la gradual adopción de soluciones basadas en la tecnología de la pila de combustible en el transporte público urbano de pasajeros [2].
- 3. Amplificar los instrumentos financieros nacionales e internacionales predestinados al soporte de iniciativas y proyectos con desarrollo de I+D.** Este tipo de proyectos destinan mecanismos de financiamiento para grandes proyectos de investigación industrial y de desarrollo experimental. Algunos ejemplos son Proyectos CIEN, que es un mecanismo de financiación del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) que ofrece ayudas parcialmente reembolsables. Está orientado a grandes proyectos de investigación industrial y desarrollo experimental, sin limitarse a ningún sector o tecnología en particular. "Innovation Fund", uno de los programas de financiamiento más significativos para proyectos de tecnologías innovadoras con reducidas emisiones de carbono, contando con un presupuesto de

aproximadamente 10.000 millones de euros para el periodo 2020-2030. El Plan MOVES II, un programa de subvenciones diseñado para avanzar en la descarbonización del sector del transporte, incentivando el uso de energías alternativas. Este programa impulsa iniciativas que promueven la movilidad eficiente desde el punto de vista energético, la sostenibilidad y la adopción de energías alternativas, entre otros [2].

- 4. Fomentar la creación de electrolizadores a gran escala que ofrezcan márgenes más rentables y eficientes, además de promover su producción en serie.** Esto, para reducir el costo de producción del hidrógeno renovable. Esto incluye el apoyo financiero para la instalación de electrolizadores y otras infraestructuras necesarias para la producción de hidrógeno [2].

2.3.2.2.3 Japón

- 1. Establecer tratamientos fiscales para inducir la inversión privada hacia la descarbonización.** La media pretende implementar nueva demanda mediante la comercialización temprana de productos con un efecto de reducción de gases de efecto invernadero y promover la descarbonización del proceso de producción actualmente en aplicado [24].
- 2. Fortalecer incentivos a la inversión positiva del sistema fiscal de I+D.** Con esta medida, las empresas pueden deducir los costos de investigación y desarrollo hasta el 25% del monto del impuesto corporativo, además de reforzar el deseo de las empresas de invertir en la creación de innovación para lograr la neutralidad de carbono [24].
- 3. Creación de un “Fondo de innovación verde” para un apoyo continuo a empresas con proyectos relacionados con I+D.** Esto, a través de una inversión total de 2 billones de yenes, y un apoyo continuo durante los próximos 10 años para empresas comprometidas con proyectos basados en la investigación y desarrollo [24].
- 4. Atraer inversión privada utilizando fondos gubernamentales.** Según la Estrategia de Financiamiento de la Innovación Climática, el gobierno de Japón tomará medidas para atraer inversión privada hacia iniciativas ecológicas, de transición y de innovación [24].
- 5. Promover iniciativas para alentar la inversión de empresas privadas en equipos avanzados.** Mediante el método de arrendamiento, que consiste en un método de pago por el uso de un activo durante un período de tiempo determinado, Japón plantea tener un efecto significativo en la inducción de inversiones de capital,

y apunta a inducir inversiones de 150 mil millones de yenes o más para los proyectos que contribuyan al desarrollo con bajas emisiones de carbono [24].

2.3.2.3 Ámbito Social

Dentro del ámbito social, se seleccionaron países con enfoques diversos y complementarios en cuanto a capacitaciones, aceptación pública, impacto en el empleo y campañas informativas. Como casos de estudio, tenemos a Chile, España y Colombia. Chile se destaca por sus programas de formación técnica y participación comunitaria, España por su enfoque en la educación y la consulta ciudadana, y Colombia por su énfasis en el desarrollo económico local y la reconversión laboral.

Como fuentes de información principales, se aplicaron las mismas referencias descritas en los ámbitos político y económico.

2.3.2.3.1 Chile

- 1. Elaborar recursos informativos y educativos dirigidos a la ciudadanía sobre el hidrógeno verde.** Esta medida se realizará mediante la difusión en canales informativos como páginas web oficiales, redes sociales, entre otros. Tiene como meta instruir a la población sobre el impacto, beneficios y desafíos para la industria del hidrógeno verde, ayudando así a reducir la desinformación entre diferentes sectores de la sociedad [22].
- 2. Desarrollar un sistema general y centralizado de consulta e información sobre hidrógeno verde.** Esto, mediante la creación de una plataforma web dinámica que contenga información consolidada para distintas escalas territoriales, etapas de los proyectos de hidrógeno, y aspectos más que sirva como herramienta para transparentar la industria en beneficios y costos, participación ciudadana y participación de comunidades [22].
- 3. Fomentar la educación en hidrógeno verde mediante la creación del programa “Educa Sostenible”.** La propuesta describe a través de la inclusión de la temática del hidrógeno verde en los materiales educativos y recursos didácticos del programa, promoviendo una educación energética que permita a las comunidades educativas entender los avances del sector energético con miras a un desarrollo sostenible, con un enfoque particular en la educación media técnico-profesional [22].

- 4. Implementar consejos regionales público-privados de hidrógeno verde, con presencia de pueblos indígenas y la sociedad civil, centrada en regiones donde se planean implementar proyectos piloto.** Mediante la implementación o la adaptación de una gobernanza regional de hidrógeno verde, se plantea robustecer la dimensión participativa y de sustentabilidad dentro del cambio en la matriz energética, tomando en cuenta implicaciones ambientales y socioeconómicas de las regiones. Esta medida busca encontrar un equilibrio entre el desarrollo y transición de la industria conservando valores tradicionales y culturales, otorgando oportunidades de trabajo adecuado en el país [22].

2.3.2.3.2 España

- 1. Implementar un sitio de información accesible para todo público, gestionado mediante el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) para aumentar el conocimiento acerca de las tecnologías y oportunidades del hidrógeno.** Esta medida se establece para disminuir el alto grado de desconocimiento tanto laboral como social, acerca de las nuevas tecnologías del hidrógeno verde. El sitio se diseñará para ser accesible a todos los públicos y dará información detallada sobre las aplicaciones y ventajas del hidrógeno como vector energético. Además, ofrecerá recursos educativos, noticias sobre avances tecnológicos, oportunidades de inversión y datos sobre proyectos en curso, fomentando así una mayor comprensión y aceptación del hidrógeno como una alternativa energética viable y sostenible [2].
- 2. Fomentar el estudio tecnológico del hidrógeno verde dentro de los planes educativos a nivel de grado universitario, como proyectos de titulación presentes que integren una relación temática.** Por un análisis previo de las universidades y autoridades educativas competentes, el requerimiento en proyectos de titulación relacionados con el desarrollo y conocimiento al hidrógeno verde y sus derivados [2].
- 3. Incentivar la producción de hidrógeno mediante biogás en situaciones que suponga un mayor beneficio medioambiental y económico que el renovable basado en la electrólisis.** Esta medida busca aprovechar los residuos del sector industrial y agrícola, alineándose con los principios de la economía circular. Se centra en las oportunidades que ofrecen los residuos agrícolas en áreas rurales, contribuyendo al desarrollo económico y creación de empleo para evitar la despoblación [2].

- 4. Desplegar nuevos núcleos energéticos para la obtención de hidrógeno verde que ayude a impedir la despoblación rural y cumplir con los retos demográficos planificados, prestando énfasis en regiones de transición justa.** Como grupos implicados, se perfilan áreas de Transición Justa, en las cuales se ha destinado el cierre de centrales térmicas de generación a corto plazo, además de plantas cementeras, y de transformación de minerales no metálicos y metálicos. De esta forma, se logrará generar muchos empleos, aumentar la actividad económica e impulsar la innovación en torno a la emergente industria del hidrógeno, mitigando los efectos socioeconómicos causados por el cierre de industrias [2].

2.3.2.3.3 Colombia

- 1. Elaborar un programa de socialización abierta a las comunidades acerca de las nuevas tecnologías de hidrógeno.** La medida se realizará impulsando campañas y estrategias de comunicación dirigidas a posibles industrias y empresas consumidoras, para difundir los beneficios y el potencial del hidrógeno. Esto permitirá reducir la percepción de riesgo y dar a conocer las oportunidades de descarbonización e industrialización que ofrece [8].
- 2. Promover la inversión al sector privado con apoyo público en proyectos relacionados con la cadena de valor del hidrógeno verde.** A través de esta medida, se plantea la creación de empleo y riqueza. Particularmente, se estima entre 7.000 y 15.000 empleos indirectos y directos mediante el desarrollo de proyectos de producción, transporte y demanda del hidrógeno verde y sus derivados [8].
- 3. Ejecutar el plan de socialización para el intercambio de mejores prácticas y experiencias con entidades de toda índole para el desarrollo del hidrógeno y sus derivados.** Esto, para compartir todos los avances que se han llevado a cabo en la ejecución de la hoja de ruta para un análisis posterior. Entre las entidades, se tiene a Ingenierías, Asociaciones y grupos empresariales, Productores y consumidores de hidrógeno, entidades públicas, entre otros [8].
- 4. Integrar al hidrógeno dentro de los planes existentes de formación profesional.** Esta iniciativa busca impulsar el desarrollo tecnológico del hidrógeno verde mediante planes de transferencia de conocimientos y tecnologías a través de empresas y universidades, además de programas de financiamiento para la

formación profesional en este ámbito, con el objetivo de formar profesionales altamente calificados que contribuyan al crecimiento y competitividad del sector [8].

2.3.2.4 Ámbito Tecnológico, Infraestructura y modelo de gobernanza

Para el ámbito tecnológico, Infraestructura y estructura gubernamental, se escogieron a países que brindan una propuesta ambiciosa para el desarrollo de las nuevas tecnologías del hidrógeno verde, así como políticas estratégicas para una correcta integración dentro de la matriz energética. Estos países son Alemania, reconocida por su liderazgo en la innovación tecnológica y su infraestructura avanzada. Chile, con su gran potencial en energías renovables, está invirtiendo fuertemente en I+D para mejorar las tecnologías de producción y uso del hidrógeno verde. Y España, con una estrategia nacional ambiciosa y un sector industrial dinámico, está adoptando tecnologías avanzadas y participando en colaboraciones internacionales para impulsar la innovación en el sector del hidrógeno.

Como fuentes de información, se escogieron documentos oficiales publicados por cada ministerio, integrados en cada página web. Como fuentes secundarias, se utilizarán traducciones oficiales para tener un mayor alcance de las medidas y estrategias publicadas.

2.3.2.4.1 Alemania

- 1. Fomentar el desarrollo de una industria competitiva de fabricantes de sistemas de pilas de combustible.** Esta medida se plantea a través de la creación de una base industrial para la producción a gran escala de proveedores de pilas de combustible para vehículos. Además del estudio correspondiente para establecer un centro de innovación y tecnologías del hidrógeno que promueva el desarrollo de plataformas de vehículos con propulsión a pilas de combustible [25].
- 2. Desarrollar una hoja de ruta para establecer una economía de hidrógeno en conjunto con la comunidad científica, empresas y sociedad civil.** Básicamente, se busca posicionar a Alemania dentro del mercado internacional como principal proveedor de tecnologías de hidrógeno verde en el mercado global [25].
- 3. Poner en marcha los proyectos piloto que guarden relación con la cadena de valor del hidrógeno verde con la colaboración de investigadores.** El objetivo es abordar aspectos fundamentales, desarrollar tecnología óptimas y relaciones de suministro, y probar soluciones sólidas y modulares a nivel internacional [25].

4. **Crear una nueva ofensiva interministerial de investigación denominado “Tecnologías del Hidrógeno 2030”.** Esto, para unir estratégicamente las tecnologías clave del hidrógeno con las medidas de investigación. Los elementos de la ofensiva son “Sandboxes Regulatorios de la transición energética”, proyectos de investigación a gran escala para la industria, atlas de potencial y estudios de viabilidad, cooperaciones internacionales en I+D, y la implementación de una nueva red de investigación sobre tecnologías del hidrógeno verde y sus derivados [25].

Para su modelo de gobernanza, Alemania propone la siguiente estructura.

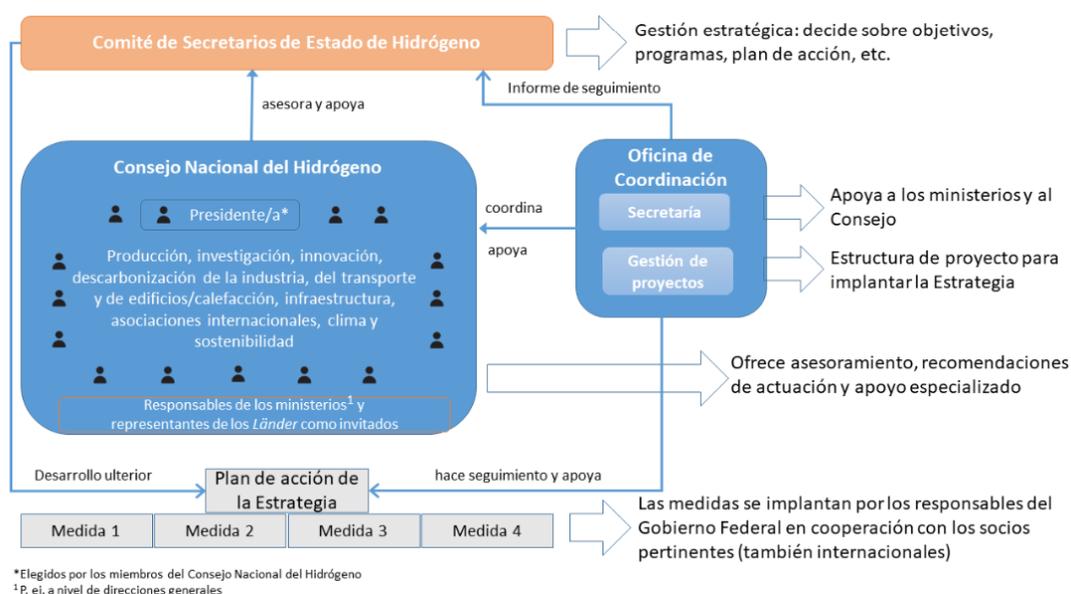


Figura 2.2. Modelo de gobernanza para el hidrógeno verde en Alemania [25].

2.3.2.4.2 Chile

1. **Destinar y licitar a la industria de hidrógeno verde y sus derivados terrenos fiscales.** Para acelerar la infraestructura existente, se planea desarrollar un plan de licitaciones que asignen terrenos fiscales para proyectos existentes y futuros relevantes con la cadena de valor del hidrógeno renovable y derivados, considerando aspectos de factibilidad económica, criterios de sostenibilidad y compatibilidad territorial. De igual manera, en el proceso se estudiarán garantías, incentivos de renta concesional, además de coordinación para la asignación de terrenos que prioricen proyectos en escala industrial [22].
2. **Planificar el avance y desarrollo para la infraestructura habilitada para el posicionamiento de la industria de hidrógeno verde y derivados.** Para ello, se considerará iniciativas e inversiones público-privada que aseguren la coherencia

frente al posicionamiento territorial y, mejoras metodológicas que apoyen a una correcta planificación de infraestructura territorial. Esta medida se dispone a implementar a través del desarrollo de Planes Maestros Lógicos (PLM) [22].

- 3. Implementar estrategias de inversión para infraestructura relacionada con el hidrógeno verde y sus derivados.** Mediante una colaboración entre inversión privada y público-directa, esta medida plantea el desarrollo y ejecución de la infraestructura habilitante del hidrógeno, dentro de los instrumentos territoriales vigentes y en el marco de la planificación intersectorial [22].
- 4. Incentivar dentro de la industria local el manejo y consumo de hidrógeno verde mediante cofinanciación a proyecto piloto relacionados con la cadena de valor.** A través de una reconversión industrial de procesos relacionados con hidrógeno verde, se plantea fomentar transformaciones productivas locales mediante el programa Aceleradora de Hidrógeno Verde (AH2V) impulsado por el Ministerio de Energía. Este programa adoptará el cofinanciamiento para proyectos de producción y/o consumo a pequeña y mediana escala [22].
- 5. Desarrollar el proyecto piloto de un bus a hidrógeno dentro del transporte público.** Esta medida se presenta con el objetivo de evaluar económica, social y técnicamente el desplazamiento de estas nuevas tecnologías. El proyecto piloto considera ejecutar las pruebas totales para obtener los datos que permitan ayudar en la toma de decisiones en base a evidencias, respecto a la integración de esta nueva tecnología [22].
- 6. Implementar un concurso de investigación, desarrollo e innovación con la participación de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) afines respectivos en la aplicación de la cadena de valor del hidrógeno verde.** Mediante el apoyo financiero para la ejecución de los proyectos que tengan aplicación tecnológica y científica, con impacto potencial social y económico, y centrados en hidrógeno verde. Actualmente existen dos concursos, el primero denominado FONDEF Concursos IDeA & IDea Tecnologías avanzadas, que se propone al apoyo de proyectos destinados al ámbito del desarrollo tecnológico y de investigación aplicada que requieran largos periodos de aplicación, elaboración de prototipos y pruebas a nivel de laboratorio. El segundo denominado FONDEF Concurso Investigación Tecnológica, que prevé validar y desarrollar soluciones científicas tecnológicas con varias etapas para obtener la suficiente madurez avanzada y aplicación al mercado [22].
- 7. Fomentar la creación de Centros de Desarrollo Tecnológico de Hidrógeno Verde para impulsar el desarrollo tecnológico.** Esta medida tiene como objetivo

de gestionar la innovación tecnológica y fortalecer la capacidad de desarrollo, centrada en la generación económica local y de información técnica, para transferir experiencias de conocimiento y tecnología con áreas interinstitucionales, además de ecosistemas nacionales e internacionales, relacionados con el hidrógeno y sus derivados [22].

Chile propone un modelo de gobernanza simple y concreto como de describe en la Figura 7.



Figura 2.3. Modelo de gobernanza para el Hidrógeno Verde Chile [22].

2.3.2.4.3 España

1. **Fomentar el desarrollo e innovación tecnológica empresarial para una economía de hidrógeno mediante la creación del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) para el impulso de proyectos e intermediario para la internacionalización en innovación.** Esto, mediante el continuo financiamiento en desarrollo tecnológico e innovación en la cadena de valor del hidrógeno mediante proyectos económicos, como el Proyecto CIEN, Proyecto Misiones Ciencia e Innovación, Plan MOVES II, entre otros [2].
2. **Fortalecer el rol que cumple el Centro Nacional de Hidrógeno (CNH2) como base de las I+D+i público de referencia.** Aquí, el Centro Nacional de Hidrógeno se posiciona como un actor fundamental en el impulso de la investigación, el desarrollo y la innovación en tecnologías relacionadas con el hidrógeno. Su labor se centra en dos áreas estratégicas: el apoyo científico-técnico a las empresas y la colaboración internacional con centros de referencia en el ámbito del hidrógeno. En este sentido, se han establecido y reforzado programas de cooperación con centros

Europeos de referencia, como el Laboratorio Nacional de Energía e Geología de Portugal (LNEG). Estas alianzas estratégicas permiten al CNH2 mantenerse a la vanguardia de las últimas tecnologías y tendencias del sector, a la vez que contribuyen a la consolidación de su posición como referente internacional en materia de hidrógeno [2].

- 3. Impulsar las I+D+i dentro de las tecnologías de reciclaje para pilas de combustible, electrolizadores, entre otros componentes que guarden relación con la cadena de valor del hidrógeno verde.** Esta iniciativa busca promover la investigación y desarrollo en tecnologías para reciclar electrolizadores, pilas de combustible y otros sistemas y componentes empleados en la cadena de valor del hidrógeno. Este impulso es esencial para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de estas tecnologías, permitiendo un uso más extendido y eficiente del hidrógeno verde en diversas aplicaciones [2].
- 4. Fomentar el impulso de tecnologías de producción de calor que usen hidrógeno, incluyendo cogeneración a través de pilas de combustible.** Estas tecnologías son clave para reducir las emisiones en procesos industriales y generación de energía, obteniendo mejor eficiencia energética. La promoción de estas tecnologías contribuirá significativamente a la descarbonización del sector energético [2].
- 5. Impulsar el establecimiento de un Centro de Excelencia dedicado a la investigación en almacenamiento energético, con un enfoque particular en el almacenamiento mediante hidrógeno verde.** Esta iniciativa se alinea con la Estrategia de Almacenamiento y el Plan de Choque para la Ciencia y la Innovación, los cuales promueven la creación de centros de excelencia a medio y largo plazo para avanzar en la investigación y el desarrollo de tecnologías avanzadas de almacenamiento energético [2].
- 6. Impulsar la industria automotriz para beneficiar la producción de vehículos eléctricos impulsados por pilas de combustible alimentadas con hidrógeno.** Aquí, se pretende impactar en la industria de componentes y equipos para la automoción. Para alcanzar este objetivo, se propone la medida de Innovación Industrial en Hidrógeno Renovable, la cual tiene como objetivo utilizar las capacidades actuales para impulsar el uso de hidrógeno verde en el transporte público y privado [2].

España por su parte, no ha definido un modelo de gobernanza relacionado con el hidrógeno verde.

2.3.2.5 Ámbito Ambiental

En el aspecto ambiental, se seleccionaron países con planes ambientales en marcha, para menorar el impacto que ocasionaría la implementación del hidrógeno renovable dentro de la producción, transporte y usos finales. En este contexto, se escoge a Chile, España y Argentina debido a sus enfoques ejemplares en la inclusión y participación ambiental. Chile ha liderado la región con ambiciosas metas de descarbonización y una amplia aceleración en energías renovables, incluyendo el hidrógeno verde. España, por su parte, ha implementado políticas ambientales integrales que promueven la transición energética y la reducción de emisiones de CO₂. Argentina muestra un firme compromiso con la sostenibilidad y la reducción de su huella de carbono, impulsando proyectos que integran el hidrógeno verde como una solución clave para su matriz energética.

Como fuentes de información principales, se utilizaron las mismas fuentes de información descritas en el aspecto político y económico.

2.3.2.5.1 Chile

- 1. Generar y elaborar criterios técnicos relacionados con la generación, transporte y almacenamiento del hidrógeno verde para la evaluación ambiental de proyectos.** Para esto, se plantea destinar a organismos públicos la elaboración de instructivos, criterios y guías para la evaluación ambiental a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para proyectos que tengan relación con la cadena de valor del hidrógeno renovable [22].
- 2. Robustecer el Servicio de Evaluación Ambiental y servicios involucrados en los procesos de evaluación ambiental para promover proyectos relacionados con hidrógeno renovable.** Mediante el incremento de recursos al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) tanto nacional como regional, se plantea afrontar con mayor eficiencia la evaluación de proyectos relativos con el hidrógeno renovable, complementando con el fortalecimiento a instituciones que brinden los permisos críticos [22].
- 3. Estudiar los usos finales en el sector industrial para un recambio en combustibles.** Mediante un mapeo e identificación de la demanda potencial de la industria en donde se pueda reducir el uso de combustibles de origen fósiles, se puede lograr una transición al uso del hidrógeno renovable y sus derivados, descarbonizando progresivamente la industria [22].

4. **Fomentar la reconversión de centrales termoeléctricas, implementado combustibles alternativos basados en hidrógeno.** Esto se llevará a cabo mediante un estudio que evaluará la implementación de alternativas para reconvertir las termoeléctricas al uso de condensadores sincrónicos y tecnologías de hidrógeno. El estudio también incluirá el análisis de dos opciones tecnológicas para la reconversión de las centrales termoeléctricas y su integración en el Sistema Eléctrico Nacional, utilizando combustibles a base de hidrógeno, ya sea a través de combustión o mezcla [22].
5. **Adoptar normativa internacional como referencia para la evaluación de proyectos ambientales.** Mediante la selección de estándares y normativa internacional como referencia para aspectos no normados y tengan potencial considerable en el proceso de operación y construcción de la industria [22].

2.3.2.5.2 *España*

1. **Promover la adaptación de dispositivos que utilicen gas en la generación de electricidad o en la industria para asegurar el buen funcionamiento con mayores concentraciones de hidrógeno verde.** Esta medida incluye la implementación de nuevas tecnologías y la modificación de equipos existentes para que sean compatibles con las propiedades del hidrógeno, como su menor densidad energética y mayor reactividad [2].
2. **Evaluar la gradual integración del hidrógeno para el uso doméstico dentro de artefactos que usen gas como fuente energética, como calefactores, cocinas, etc.** Mediante la implementación de un estudio que considere aspectos económicos, técnicos, ambientales y de seguridad [2].
3. **Considerar los efectos positivos del hidrógeno verde al medio ambiente dentro de los impuestos directos en el marco de la fiscalidad verde.** La medida pretende incentivar el uso de hidrógeno verde en comparación con el cuyo origen no se pueda rastrear [2].

2.3.2.5.3 *Argentina*

1. **Incorporar dentro del esquema de certificaciones de origen instrumentos que permitan el monitoreo continuo sobre cómo el hidrógeno verde contribuye a reducir el cambio climático y abordar los retos del desarrollo sostenible.** Además, este tipo de esquemas deben ser capaces de evaluar el impacto positivo en aspectos clave del desarrollo sostenible, como la eficiencia energética, la

disminución en la dependencia de combustibles fósiles, la creación de empleo en sectores verdes, y la mejora de la calidad del aire [16].

2. **Ejecutar una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE).** Esto, para tener un fuerte enlace entre las metas ambientales y los objetivos productivos, cumpliendo con la normativa ambiental vigente. Además de generar mayor certidumbre ante posibles inversionistas [16].
3. **Detectar vacíos normativos y promover la elaboración de nuevas regulaciones para una gestión ambientalmente eficiente y segura del hidrógeno renovable, así como de los lugares para su almacenamiento.** Esto, con el objetivo de eliminar cualquier barrera regulatoria que ralentice la integración del hidrógeno como nuevo vector energético [16].

2.3.2.6 Ámbito Legal

Dentro del aspecto legal, se consideraron a países con propuestas estratégicas aplicadas dentro de su legislación vigente, mismas que permitan una adecuada integración del hidrógeno. En este contexto, se escoge a Chile, Portugal y España como casos de análisis debido a sus enfoques progresistas en la implementación y regulación del hidrógeno verde.

Como fuentes de información, se aplicaron los planes de acción u hojas de ruta descritos por cada gobierno, así como la legislación vigente en páginas web oficiales.

2.3.2.6.1 Chile

1. **Desarrollar e implementar un plan de trabajo para regulaciones que faciliten el crecimiento de la industria del hidrógeno renovable y sus derivados.** Esta medida basará su actuación en función del plan de trabajo regulatorio, en la que se establece una propuesta de un marco regulatorio para la integración del hidrógeno en la industria. También, cada ministerio habilitante será responsable de realizar posibles modificaciones y actualizaciones a las regulaciones planteadas [22].
2. **Modificar el Decreto de Ley N°2.224 para incluir al hidrógeno y combustibles que utilizan hidrógeno en las competencias del sector energético.** Para esto, se plantea intercalar, dentro del artículo 3°, entre la palabra “solar” y la coma que lo precede, la palabra “hidrógeno y combustible a partir de hidrógeno”; y entre las palabras “fuentes energéticas” y el punto y aparte, la expresión “y vectores energéticos” [26].
3. **Integrar modificaciones dentro del inciso primero del artículo segundo del decreto con fuerza de ley N°1.** Para esto, se plantea intercalar, entre la palabra

“importación,” y la palabra “refinamiento”, la palabra “exportación”. Además, intercalar entre la expresión “biocombustibles líquidos,” y la palabra “gases”, la expresión “hidrógeno y combustibles a partir de hidrógeno,” [26].

- 4. Adaptar un guía de Proyectos Especiales de Hidrógeno de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).** Al no existir una regulación del hidrógeno como marco energético, esta medida busca orientar la validación y aprobación de proyectos de hidrógeno con instalaciones asociadas con la cadena de valor del hidrógeno renovable [27].

2.3.2.6.2 Portugal

- 1. Aprobar los procedimientos necesarios aplicables a la concesión de licencias a las instalaciones de producción de hidrógeno.** Para esta medida, se tomará en cuenta las diferentes configuraciones, incluido un mecanismo de licencia simplificado para las instalaciones de producción de hidrógeno cuando estén directamente asociadas a un centro de producción de electricidad renovable existente [17].
- 2. Regular y dotar de un marco tarifario para la prestación de servicios de sistemas y flexibilidad por parte de electrolizadores.** Esta medida implica definir claramente las reglas y las condiciones bajo las cuales los electrolizadores pueden ofrecer servicios de flexibilidad. Esto incluye la remuneración por la prestación de estos servicios, lo cual incentiva a los operadores de electrolizadores a participar activamente en el mercado. La remuneración adecuada y los incentivos fiscales pueden hacer que la inversión en tecnologías de electrolizadores sea más atractiva, promoviendo así su desarrollo y utilización [17].
- 3. Adaptar la normativa para permitir la introducción del hidrógeno en la movilidad y el sector del transporte.** Para ello, se plantea establecer estándares de calidad y seguridad para el uso del hidrógeno en vehículos, infraestructura de suministro y sistemas de almacenamiento. Además de promover incentivos fiscales y subvenciones para estimular la adopción de tecnologías de hidrógeno en el sector del transporte. Esto podría incluir exenciones fiscales para la compra de vehículos de hidrógeno, subsidios para la edificación de estaciones de servicio de hidrógeno y financiamiento para proyectos de investigación y desarrollo que guarden relación con la cadena de valor [17].

2.3.2.6.3 España

1. **Revisar la clasificación de la producción de hidrógeno verde in situ en las estaciones de servicio como una actividad industrial.** Esta medida tiene como objetivo distinguir entre la producción de hidrógeno verde y la producción de hidrógeno mediante procesos industriales, debido a las diferencias en su impacto ambiental [2].
2. **Examinar los procedimientos para la aprobación y operación de instalaciones de producción de hidrógeno verde en pequeñas cantidades.** Esto, mediante la aplicación de un estudio que avale y certifique criterios ambientales y de sostenibilidad [2].
3. **Promover la implementación de medidas regulatorias que faciliten y simplifiquen el desarrollo de líneas directas de electricidad destinadas a la producción de hidrógeno verde dentro del marco normativo del sector eléctrico.** Esto se realizará considerando criterios de proximidad entre los puntos de producción, almacenamiento y uso final, para la expansión de nueva infraestructura [2].
4. **Implementar una legislación dedicada a las hidrogeneras, donde se especifiquen los mecanismos administrativos y describa los permisos para su gestión y construcción.** Esta medida, mediante la modificación del Real Decreto 919/2006, que aprueba el reglamento técnico para la distribución y el uso de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias, que incluye al hidrógeno como gas que puede ser distribuido en las Estaciones de Servicio [2].

2.4 Comparación y síntesis de resultados entre Ecuador y países estudiados

Es evidente que Ecuador presenta una buena propuesta dentro de su hoja de ruta. Sus medidas a pequeño, mediano y largo plazo dan la iniciativa adecuada para la integración dentro de la matriz energética.

En lo político, un punto fuerte que propone la hoja de ruta es designar a la Agencia de Regulación de Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) como intermediario para disponer de definiciones y reglas para la producción de hidrógeno renovable, así como el esquema de remuneración para su comercialización. La Agencia será encargada de la implementación de estándares de calidad y normativas técnicas, asegurando así eficiencia y seguridad dentro de la generación, transporte y usos finales.

Además, podrá coordinar con otras instituciones gubernamentales y actores del sector privado para facilitar el acceso a financiamiento y promover la inversión en infraestructura. Esto permite acortar barreras legales que pueden generarse conforme se va desarrollando la cadena de valor del hidrógeno verde.

Una de las medidas que se relacionan tanto en Ecuador como en otros países es la formación de alianzas estratégicas, nacionales como internacionales. Esto, debido a que el hidrógeno es una fuente energética en auge, por lo que el intercambio de información acerca de buenas prácticas y la identificación de posible financiamiento son importantes, logrando así una transferencia de conocimientos y oportunidades para asegurar inversiones y colaboraciones que impulsen el desarrollo sostenible del sector del hidrógeno.

Entre los puntos más destacados dentro del ámbito económico, está el gran incentivo financiero destinados a proyectos de Energías Renovables No Convencionales, como la solar, hidráulica, biomasa y eólica, así como para proyectos relacionados con hidrógeno verde y sus derivados. Con esto, se logrará obtener la capacidad de electrólisis establecida a mediano y largo plazo, consiguiendo un despliegue de fuentes energéticas amigables con el medio ambiente, cumpliendo con el objetivo principal de descarbonizar la matriz energética nacional.

Otro punto clave relacionado con los casos de estudio es la integración de incentivos financieros en cada país. Estos incentivos incluyen Tasas de Desarrollo para la reducción de impuestos para empresas que inviertan en proyectos relacionados con la cadena de valor del hidrógeno, Rondas de Financiamiento que establezcan fondos y facilidades de crédito específicas para apoyar proyectos de hidrógeno verde, y Estrategias Diplomáticas que buscan promocionar acuerdos y alianzas internacionales que faciliten la obtención de recursos de cooperación internacional atrayendo así inversión extranjera directa.

En el ámbito social, uno de los puntos más fuertes y que guarda relación con las estrategias internacionales son las campañas informativas, planes de socialización y las capacitaciones al personal técnico que operará todo el esquema de la cadena de valor del hidrógeno verde. Con esto, se logrará tener una mayor aceptación pública sobre los beneficios del hidrógeno verde, además de garantizar que el personal esté debidamente preparado para manejar las tecnologías y procesos asociados con una base de conocimientos adecuada.

Para el ámbito tecnológico e infraestructura, la hoja de ruta local e internacionales destacan por su propuesta de involucrar a instituciones educativas en esta nueva transición

energética. Esto, mediante la implementación de programas de maestría y especialización enfocados en proyectos de hidrógeno verde. Además, se dispone la colaboración entre universidades, centros de investigación y la industria, creando alianzas estratégicas que impulsen la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector, logrando así un mejor entendimiento sobre las nuevas tecnologías que se involucrarán dentro del país.

Otro punto fuerte es la propuesta de su estructura de gobernanza la cual, comparada con los países líderes en hidrógeno como Chile y Alemania, presentan una gran similitud. Aquí, en cada modelo se designa la creación de un Consejo Nacional de Hidrógeno Verde el cual, que para el caso ecuatoriano se encuentra solo por debajo del Ministerio de Energía y Minas. Este comité, compuesto por representantes de varios ministerios, agencias regulatorias, instituciones académicas y el sector privado, coordinará y supervisará la aplicación de las políticas y proyectos relacionados con el hidrógeno verde, colaborando con los actores relevantes y garantizando que las acciones detalladas sean consistentes con los objetivos nacionales de sostenibilidad y descarbonización.

En el ámbito ambiental, cada una de las propuestas destaca la importancia de crear una regulación que promueva el uso eficiente y sostenible del agua en los procesos de obtención de hidrógeno verde y sus derivados. Además, se enfatiza la necesidad de realizar estudios exhaustivos para medir los impactos ambientales tanto positivos como negativos que resultarían de la producción de hidrógeno verde. Estas medidas incluyen la promoción de prácticas sostenibles y la elaboración de criterios técnicos específicos para toda la cadena de valor del hidrógeno verde.

Por último, en el ámbito legal, cada hoja de ruta resalta la importancia de establecer un marco normativo específico para el hidrógeno verde. Este marco debe definir los lineamientos necesarios para introducir el hidrógeno verde de manera adecuada en el mercado energético. Esto puede lograrse mediante la modificación de la legislación existente o la promoción de un nuevo marco normativo que proporcione seguridad y confianza a los posibles inversionistas y desarrolladores de proyectos relacionados con el hidrógeno.

Además, se destaca la necesidad de implementar o adaptar un esquema de certificación de origen para la electricidad, el hidrógeno verde y sus derivados. Este esquema de certificación es importante ya que garantiza la trazabilidad y autenticidad del hidrógeno producido, asegurando que cumpla con los estándares ambientales y de sostenibilidad.

Para complementar las ideas desarrolladas en la hoja de ruta del Ecuador, se dispone dentro del Anexo I las medidas que pueden ser integradas dentro de un contexto local, mejorando así las buenas prácticas a implementar.

2.5 Propuestas de mejora a ser incluidas en la hoja de ruta de hidrógeno verde del Ecuador

En base al análisis realizado dentro de las hojas de ruta y estrategias internacionales publicadas, se proponen nuevas medidas con alta probabilidad de aplicación en los ámbitos político, económico, tecnológico, social y legal, como se detalla a continuación.

2.5.1 Propuestas dentro del Ámbito Político

1. Implementar un sistema de seguimientos del Plan con metodología de gestión de proyectos (PMO).

Objetivo: Monitorear y evaluar el progreso del plan, asegurando así su cumplimiento y ajustando acciones necesarias. Aquí es posible la designación a la ARCERNNR como agente para el seguimiento y control.

2. Revisar y actualizar la hoja de ruta de hidrógeno verde para integrar avances acerca de las nuevas tecnologías, mercados energéticos y cambios regulatorios.

Objetivo: Evaluar el grado de ejecución de las medidas, su impacto y verificar el logro de los objetivos establecidos. Para esto, un tiempo adecuado será entre 4 a 5 años desde la publicación original, y como encargado principal estaría el Ministerio de Energía y Minas, autor de la propuesta existente.

3. Evaluar y promover medidas que reduzcan los costos de electricidad, como el uso de energías renovables y la implementación de tarifas especiales para la producción de hidrógeno verde.

Objetivo: Atraer inversión local y extranjera al introducir tarifas especiales para productores de electricidad que usen como fuentes principales energías renovables o hidrógeno verde. Como grupos de interés local que pueden ser beneficiarios de esta medida serían los grandes consumidores de energía como son, según la ARCERNNR, NOVOPAN DEL ECUADOR S.A. y EMPAQPLAST S.A [28].

4. Disponer información con industrias proveedoras de servicios relacionados con la cadena de valor del hidrógeno verde.

Objetivo: Facilitar el acceso a información relevante sobre proveedores de servicios y tecnologías en toda la cadena de valor para facilitar el despliegue del hidrógeno verde en el país.

5. Promover la participación de Ecuador en foros, conferencias y comités internacionales dedicados al hidrógeno.

Objetivo: Conocer las mejores prácticas, innovaciones y políticas desarrolladas sobre el hidrógeno verde y su cadena de valor, además de facilitar el establecimiento de alianzas e inversiones internacionales. Las instituciones involucradas serían el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Asociación Internacional de la Energía (IEA), la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), el Consejo Mundial de la Energía (WEC) o la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) [8].

6. Coordinar estrategias normativas, comerciales y productivas con países de la región para atraer inversión extranjera directa.

Objetivo: Establecer un mercado regional de hidrógeno verde atractivo para la inversión extranjera con gobiernos interesados en hidrógeno verde como Chile, Colombia, Uruguay, Argentina, entre otros, generando un crecimiento económico y la integración de tecnologías de hidrógeno en América Latina.

7. Fomentar la Conformación de Consorcios Públicos-Privados para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Ecuador.

Objetivo: Unir recursos y conocimientos de entidades públicas, empresas privadas, instituciones académicas y centros de investigación para fomentar la investigación y desarrollo (I+D) en tecnologías de producción, almacenamiento y uso del hidrógeno verde.

2.5.2 Propuestas dentro del Ámbito Económico

En cuanto al aspecto económico y recordando la fuerte propuesta de inversión establecida en la hoja de ruta, se pueden estructurar las siguientes propuestas:

1. Implementar una tasa de desarrollo que permita a las empresas reducir su carga fiscal mediante inversiones que incrementen su productividad y contribuyan al desarrollo de infraestructura de hidrógeno verde.

Objetivo: Incentivar a empresas privadas a invertir en el uso de tecnologías que guarden relación con la cadena de valor del hidrógeno, promoviendo así su adopción y expansión, mientras se beneficia a las empresas con una reducción de impuestos. Aquí, los principales interesados serían empresas con mayor facturación del Ecuador entre las que se encuentran, según el diario Primicias, la Corporación Favorita, Corporación El Rosado, Industria Pesquera Santa Priscila, entre otras [29].

2. Establecer un fondo destinado a financiar la investigación, desarrollo y proyectos piloto de tecnologías relacionadas con el hidrógeno verde.

Objetivo: Proporcionar un soporte financiero a las empresas que innoven y desarrollen nuevas tecnologías, fortaleciendo el ecosistema de hidrógeno y asegurando el avance continuo del sector.

3. Establecer una facilidad de financiamiento que cuente con respaldo estatal y el apoyo de bancos multilaterales para proyectos de hidrógeno verde.

Objetivo: Proporcionar seguridad financiera para atraer inversiones significativas en la cadena de valor del hidrógeno, asegurando así que los proyectos tengan los recursos necesarios para su correcta implementación y desarrollo.

4. Implementar incentivos fiscales específicos para proyectos que contribuyan a la descarbonización, tales como exenciones fiscales y créditos tributarios.

Objetivo: Incentivar a las empresas a invertir en proyectos sostenibles, promoviendo la descarbonización y la sostenibilidad ambiental a través del uso de hidrógeno verde.

5. Brindar apoyo financiero y técnico a proyectos de producción y consumo de hidrógeno verde mediante diversos instrumentos de financiamiento.

Objetivo: Eliminar barreras financieras y técnicas dentro de los proyectos piloto, asegurando un correcto despliegue del hidrógeno en la matriz energética local.

2.5.3 Propuestas dentro del Ámbito Social

Dentro del aspecto social, se presentan las siguientes estrategias de mejora:

1. Crear y distribuir materiales educativos e informativos que expliquen qué es el hidrógeno verde, sus beneficios, y su importancia para la sostenibilidad.

Objetivo: Aumentar la aceptación pública y el conocimiento sobre el hidrógeno verde mediante campañas educativas, programas de concienciación, colaboraciones con instituciones educativas, y la difusión de información a través de medios de comunicación y redes sociales.

2. Crear una plataforma web centralizada para el acceso a información actualizada sobre el hidrógeno verde, sus aplicaciones, y avances.

Objetivo: Proporcionar toda la información acerca de los avances acerca del hidrógeno, así como medidas a adoptar teniendo así un conocimiento a través de información confiable, aumentando la transparencia y el conocimiento público sobre el hidrógeno verde, fortaleciendo su apoyo a largo plazo.

3. Desarrollar proyectos de hidrógeno verde en áreas rurales para generar grandes plazas de empleo y evitar la despoblación demográfica.

Objetivo: Promover el desarrollo económico en áreas rurales, ayudando a frenar la despoblación y mejorando la calidad de vida, mientras se avanza en la producción sostenible de hidrógeno.

4. Implementar un plan para compartir mejores prácticas y experiencias sobre el hidrógeno verde entre diversas entidades gubernamentales.

Objetivo: Acelerar el desarrollo y la implementación de tecnologías de hidrógeno verde a través de la participación múltiple con entidades gubernamentales, beneficiando a todas las partes involucradas.

2.5.4 Propuestas dentro del Ámbito Tecnológico, Infraestructura y modelo de gobernanza

Ecuador cuenta con un buen planteamiento para su modelo de gobernanza. Sin embargo, no se especifican las instituciones que participarán en toda la cadena de valor del hidrógeno verde. Por ello, para complementar la estructura integrada en la hoja de ruta, se presenta en el Anexo II una propuesta de modelo de gobernanza que incluye las instituciones públicas y privadas involucradas, detallando sus roles y responsabilidades. Por otro lado, en cuanto a las tecnologías e Infraestructura, se presentan las siguientes medidas:

1. Promover la creación y el crecimiento de una industria nacional que fabrique sistemas de pilas de combustible, incluidos los componentes necesarios.

Objetivo: Impulsar la industria local, generando empleo y fortaleciendo la capacidad tecnológica del país. Además, fomentará la autosuficiencia y reducirá la dependencia de importaciones.

2. Organizar competencias para proyectos de I+D+i en hidrógeno verde, involucrando a todos los actores industriales.

Objetivo: Fomentar la investigación y el desarrollo en proyectos de I+D+i mediante la organización de competencias con premios económicos significativos. Estas competencias no solo atraerán a investigadores y desarrolladores talentosos, sino que también incentivarán la innovación y la creación de soluciones avanzadas en el campo del hidrógeno verde.

3. Asignar terrenos fiscales estratégicos para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde.

Objetivo: Impulsar la implementación de proyectos piloto que guarden relación con la cadena de valor del hidrógeno verde, reduciendo costos iniciales y promoviendo el crecimiento de la industria.

4. Implementar un proyecto piloto de un autobús impulsado por hidrógeno en el sistema de transporte público.

Objetivo: Determinar los costos reales de implementar el hidrógeno renovable en aplicaciones básicas, como el transporte público, para demostrar la viabilidad de nuevas tecnologías. Estos estudios servirán como modelo para futuras expansiones, aumentando la aceptación pública y gubernamental. Además de poder identificar oportunidades de optimización y ahorro, facilitando la toma de decisiones ante futuras inversiones en infraestructura y tecnología de hidrógeno.

5. Ofrecer cofinanciamiento para proyectos piloto que utilicen hidrógeno verde en la industria local.

Objetivo: Reducir el riesgo financiero para las empresas que inviertan en hidrógeno verde mediante la implementación de mecanismos de garantía y seguros específicos para proyectos de hidrógeno. Esto incluye la creación de fondos de apoyo y programas de cofinanciamiento que cubran parte de los costos iniciales y operativos.

6. Apoyar a la industria automotriz en la producción de vehículos eléctricos con pilas de combustible de hidrógeno.

Objetivo: Dentro de la industria automotriz, promover la adopción de una movilidad sostenible, reduciendo así las emisiones de carbono y creando un mercado para los vehículos de hidrógeno, alineándose con las tendencias globales de descarbonización.

2.5.5 Propuestas dentro del Ámbito Ambiental

Dentro de lo ambiental, se presentan las siguientes estrategias:

- 1. Utilizar normativas internacionales reconocidas como referencia para evaluar proyectos ambientales de hidrógeno verde.**

Objetivo: Acortar barreras legales a través de la adaptación de una normativa internacional certificada, para la evaluación y aprobación de los proyectos de hidrógeno verde y sus derivados hasta contar con una normativa local.

- 2. Realizar una Evaluación Ambiental Estratégica para proyectos de hidrógeno verde.**

Objetivo: Proporcionar una visión acerca de los impactos ambientales a pequeña, mediana y gran escala que podrían resultar de la integración de hidrógeno renovable dentro del país, ayudando así a tener un panorama completo, resultando de esto una mejor planificación, mitigando riesgos y maximizando beneficios.

- 3. Desarrollar una investigación de cómo el hidrógeno verde puede reemplazar los combustibles fósiles en el sector industrial.**

Objetivo: Promover la transición energética dentro del sector industria hacia el uso de combustibles más limpios, reduciendo las emisiones y alineándose con los objetivos de descarbonización.

- 4. Estudiar la posibilidad de disminuir el uso de combustibles fósiles dentro de centrales termoeléctricas para usar hidrógeno renovable como combustible principal.**

Objetivo: Reducir significativamente las emisiones de carbono de las plantas termoeléctricas de energía mediante el uso de hidrógeno verde como combustible principal.

2.5.6 Propuestas dentro del Ámbito legal

Es necesario resaltar que Ecuador aún no cuenta con una propuesta o modelo de marco regulatorio que ayude a la integración del hidrógeno dentro de su matriz energética. Por lo tanto, la principal apuesta que debe ser centrada dentro de la hoja de ruta es promover la

realización o una posible adaptación de un marco normativo adecuado para su incorporación. Para complementar esa idea, se presentan las siguientes estrategias:

1. Desarrollar o adaptar un plan específico de regulaciones que faciliten el crecimiento de la industria del hidrógeno renovable.

Objetivo: Crear un entorno regulatorio claro y predecible para fomentar la inversión y facilitar el desarrollo de proyectos de hidrógeno. Esto incluye la implementación de normas y estándares específicos para el sector del hidrógeno, así como la simplificación de los procedimientos de permisos y licencias mediante la adaptación de una normativa internacional avalada por organismos internacionales mientras se implemente un marco normativo local.

2. Adaptar una normativa que permita la introducción del hidrógeno en la movilidad y el sector del transporte.

Objetivo: Facilitar la transición hacia una movilidad sostenible, promoviendo el uso del hidrógeno como una alternativa limpia a los combustibles fósiles.

3. Establecer procedimientos claros para la concesión de licencias de producción de hidrógeno.

Objetivo: Acelerar la obtención de licencias que permitan el despliegue de proyectos relacionados con hidrógeno verde, obteniendo un desarrollo más rápido y eficiente de la industria.

4. Realizar modificaciones específicas en la legislación existente para incluir al hidrógeno en las competencias del sector energético.

Objetivo: Asegurar que las leyes reflejen las nuevas tecnologías y necesidades del mercado del hidrógeno, proporcionando un marco legal actualizado conforme a las metas establecidas en la hoja de ruta.

5. Elaborar o adaptar una Guía para Proyectos Especiales de Hidrógeno en Ecuador.

Objetivo: Desarrollar una guía específica para proyectos especiales de hidrógeno. Esta guía incluirá procedimientos claros y detallados para la presentación, evaluación y aprobación de proyectos relacionados con la producción, almacenamiento, transporte y uso del hidrógeno verde en el país. Esta medida podría estar a cargo del Comité Especializado en Hidrógeno Verde en colaboración con el Gobierno ecuatoriano.

6. Desarrollar una Legislación Específica para Hidrogeneras en Ecuador.

Objetivo: Elaborar una legislación específica para regular la construcción y operación de hidrogeneras (estaciones de servicio de hidrógeno) en el país. Esta normativa establecerá los procedimientos administrativos y técnicos necesarios para la obtención de permisos de construcción y operación, incluyendo criterios de seguridad, estándares ambientales, y requisitos de infraestructura.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 RESULTADOS

En función del análisis realizado, se obtiene como resultado final la hoja de ruta para la producción de hidrógeno verde en Ecuador. Las medidas que integra la hoja de ruta se encuentran con letra normal, mientras que las estrategias incluidas se encuentran subrayadas con negrita. Cabe mencionar que las medidas fueron adaptadas al modelo estructural que integra la hoja de ruta actual [6].

Tabla 3.1. Propuesta de hoja de ruta para la producción de hidrógeno verde en Ecuador

	Fase 1 2023-2025	Fase 2 2025-2030	Fase 3 Más allá del 2030
I+D+i y capacitación	Capacitar personal técnico. Desarrollar programas de formación universitario. Implementar un sistema de seguimientos del Plan metodología de gestión de proyectos (PMO). Crear y distribuir materiales educativos e	Capacitar las industrias. Continuar con la capacitación en la educación técnica y universitaria. Crear grupos de I+D. Revisar y actualizar la hoja de ruta de hidrógeno verde. Organizar competencias para proyectos de I+D+i en hidrógeno	Consolidar los programas de capacitación. Fortalecer las labores de investigación. Establecer un fondo destinado a financiar la investigación, desarrollo y proyectos piloto de tecnologías relacionadas con el hidrógeno verde.

	<p>informativos que expliquen qué es el hidrógeno verde, sus beneficios, y su importancia para la sostenibilidad.</p> <p>Crear una plataforma web centralizada para el acceso a información actualizada sobre el hidrógeno verde, sus aplicaciones, y avances.</p>	<p>verde, involucrando a todos los actores industriales.</p> <p>Asignar terrenos fiscales estratégicos para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde.</p> <p>Implementar un proyecto piloto de un autobús impulsado por hidrógeno en el sistema de transporte público.</p> <p>Fomentar la Conformación de Consorcios Públicos-Privados para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Ecuador.</p>	<p>Desarrollar una investigación de cómo el hidrógeno verde puede reemplazar los combustibles fósiles en el sector industrial.</p> <p>Estudiar la posibilidad de disminuir el uso de combustibles fósiles dentro de centrales termoeléctricas para usar hidrógeno renovable como combustible principal.</p>
Normativa y regulación	<p>Desarrollar el marco normativo.</p> <p>Establecer definiciones de FERNC.</p> <p>Establecer responsabilidades.</p> <p>Establecer políticas para el despliegue de las FERNC.</p>	<p>Establecer un esquema de garantías de origen para la electricidad H2 verde y sus derivados.</p> <p>Establecer normativa para el desarrollo de infraestructura.</p>	<p>Fortalecer el sistema de mercados de carbono.</p> <p>Evaluar el retiro progresivo de subsidios a los combustibles fósiles</p> <p>Establecer un marco formativo</p>

	<p>Establecer condiciones de producción de H2 para que sea considerado verde.</p> <p>Desarrollar mecanismos de financiación.</p> <p>Establecer reglas de uso de electricidad.</p> <p>Desarrollar o adaptar un plan específico de regulaciones que faciliten el crecimiento de la industria del hidrógeno renovable.</p> <p>Elaborar o adaptar una Guía para Proyectos Especiales de Hidrógeno en Ecuador.</p>	<p>Establecer normativa para usos del H2 en el sector transporte.</p> <p>Evaluar y promover medidas que reduzcan los costos de electricidad, como el uso de energías renovables y la implementación de tarifas especiales para la producción de hidrógeno verde.</p> <p>Adaptar una normativa que permita la introducción del hidrógeno en la movilidad y el sector del transporte.</p>	<p>para los derivados del hidrógeno.</p> <p>Implementar una tasa de desarrollo que permita a las empresas reducir su carga fiscal mediante inversiones que incrementen su productividad y contribuyan al desarrollo de infraestructura de hidrógeno verde.</p> <p>Desarrollar una Legislación Específica para Hidrogeneras en Ecuador.</p>
Infraestructura	<p>Evaluar las capacidades actuales y requerimientos a futuro.</p> <p>Evaluar el uso de la red de gas natural.</p> <p>Llevar a cabo la planeación nacional de la infraestructura.</p>	<p>Establecer planes de expansión y producción.</p> <p>Desarrollar infraestructura portuaria.</p> <p>Disponer información con industrias proveedoras de servicios</p>	<p>Continuar con la implementación de la expansión de infraestructura.</p> <p>Evaluar continuamente los planes de expansión.</p> <p>Implementar incentivos fiscales específicos para</p>

	<p>Establecer una facilidad de financiamiento que cuente con respaldo estatal y el apoyo de bancos multilaterales para proyectos de hidrógeno verde.</p> <p>Ofrecer cofinanciamiento para proyectos piloto que utilicen hidrógeno verde en la industria local.</p> <p>Utilizar normativas internacionales reconocidas como referencia para evaluar proyectos ambientales de hidrógeno verde.</p> <p>Realizar modificaciones específicas en la legislación existente para incluir al hidrógeno en las competencias del sector energético.</p>	<p>relacionados con la cadena de valor del hidrógeno verde.</p> <p>Desarrollar proyectos de hidrógeno verde en áreas rurales para generar grandes plazas de empleo y evitar la despoblación demográfica.</p> <p>Realizar una Evaluación Ambiental Estratégica para proyectos de hidrógeno verde.</p> <p>Establecer procedimientos claros para la concesión de licencias de producción de hidrógeno.</p>	<p>proyectos que contribuyan a la descarbonización, tales como exenciones fiscales y créditos tributarios.</p> <p>Promover la creación y el crecimiento de una industria nacional que fabrique sistemas de pilas de combustible.</p> <p>Apoyar a la industria automotriz en la producción de vehículos eléctricos con pilas de combustible de hidrógeno.</p>
<p>Cooperación internacional</p>	<p>Establecer alianzas a nivel mundial.</p>	<p>Afianzar y expandir las alianzas internacionales.</p>	<p>Establecer nuevos acuerdos de</p>

	<p>Establecer alianzas regionales.</p> <p>Promover la participación de Ecuador en foros y comités internacionales dedicados al hidrógeno.</p>	<p>Coordinar estrategias normativas, comerciales y productivas con países de la región para atraer inversión extranjera directa.</p>	<p>cooperación y financiación.</p> <p>Implementar un plan para compartir mejores prácticas y experiencias sobre el hidrógeno verde entre diversas entidades gubernamentales.</p>
--	--	---	---

3.2 Conclusiones

- El hidrógeno verde se perfila como una nueva fuente energética a nivel mundial, gracias a sus características y beneficios que ofrece. Su capacidad para ser producido a partir de fuentes renovables, su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y su versatilidad para ser utilizado en múltiples aplicaciones industriales, de transporte y generación de energía, lo posicionan como un componente clave en la transición hacia la neutralidad de carbono. Además, el desarrollo de tecnologías de hidrógeno verde promueve la innovación, la creación de empleos y la diversificación de las matrices energéticas.
- Al realizar una comparación de la hoja de ruta local con las distintas estrategias internacionales, podemos observar que Ecuador ha incorporado varios elementos clave similares a los utilizados en otros países líderes en hidrógeno verde. Esto incluye la creación de un marco normativo, la implementación de programas educativos especializados, y la formación de alianzas estratégicas. Sin embargo, también se identifican áreas de mejora, como la facilidad de financiamiento e incentivo a proyectos piloto de hidrógeno verde, así como aumentar la orientación en la sostenibilidad ambiental y la participación comunitaria.
- Para Ecuador, la elaboración de un Plan de Acción específico para la incorporación del hidrógeno verde es uno de los siguientes pasos a seguir. Este plan permitirá desglosar las medidas establecidas en la hoja de ruta en acciones concretas, con responsables, plazos y recursos asignados. Además de proporcionar la claridad y

certeza necesarias para facilitar la implementación coordinada de las iniciativas planificadas.

- Para una correcta integración del hidrógeno verde en Ecuador, la necesidad de un marco normativo específico es una de las principales apuestas a corto plazo que debería ser prioridad dentro de la hoja de ruta. Mientras se desarrolla una normativa nacional, una alternativa más rápida sería adaptar una propuesta existente que ya cuente con el aval y la certificación de organismos internacionales. Esta estrategia permitiría un despliegue más ágil y eficiente del hidrógeno verde, garantizando el cumplimiento de los objetivos principales de la hoja de ruta.
- Una de las fortalezas de la propuesta ecuatoriana es el significativo incentivo financiero destinado a proyectos de energías renovables. Sin embargo, en los últimos años, la escasez de recursos hídricos ha impedido satisfacer plenamente la demanda energética del país. Por lo tanto, para alcanzar la capacidad de energía renovable y electrólisis establecida en la hoja de ruta, es fundamental que los incentivos se enfoquen principalmente en proyectos de energía solar y eólica, que tienen un gran potencial de desarrollo en la región.
- Dado que el hidrógeno verde presenta una elevada inversión inicial para su producción, la implementación de un modelo de gestión público-privado en Ecuador resultaría ser la alternativa más viable. Con ello, se permitiría compartir riesgos y costos entre el sector público y el privado, aligerando la carga fiscal del gobierno. Además, fomentaría la inversión y el desarrollo de infraestructura necesaria para el despliegue del hidrógeno verde, acelerando así su integración en la matriz energética del país.

3.3 Recomendaciones

- Se recomienda actualizar la hoja de ruta con un intervalo no mayor a cinco años desde su publicación original. Esta actualización debería ser liderada por el Ministerio de Energía y Minas, responsable de la propuesta actual. El propósito de esta revisión es evaluar el grado de cumplimiento de las iniciativas planificadas, identificar posibles desviaciones y ajustar las estrategias para mejorar su efectividad. Además, permitiría incorporar nuevas tecnologías, adoptar mejores prácticas internacionales y adaptarse a los cambios en las condiciones del mercado y la regulación.

- Dentro de la hoja de ruta para la producción de hidrógeno verde en Ecuador, se sugiere implementar un plan estructurado a través de una Oficina de Gestión de Proyectos (PMO) para el seguimiento y monitoreo de los compromisos establecidos. Además de delegar esta responsabilidad a la ARCERNNR, que se encargaría de verificar el cumplimiento de los objetivos y la adaptación a posibles cambios en el entorno.
- Para futuros trabajos acerca del hidrógeno verde, se recomienda revisar información actualizada dentro de las diferentes páginas web oficiales de organismos gubernamentales, instituciones internacionales y centros de investigación especializados.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Naciones Unidas, “Paris Agreement Spanish”, 2015, Consultado: el 13 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf
- [2] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “Hoja de Ruta del Hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable”, Madrid, 2020. Consultado: el 9 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/hidrogeno/hojarutahidrogenorenovable_tcm30-525000.PDF
- [3] I. Giménez, “Retos del hidrógeno verde”, *ECONOMÍA ARAGONESA*, jun. 2021, Consultado: el 13 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://negociosostenible.camaravalencia.com/wp-content/uploads/2021/07/ECONOMA-ARAGONESA-revista-73-Hidrogeno-Verde-2.pdf>
- [4] W. Liu, Y. Wan, Y. Xiong, y P. Gao, “Green Hydrogen Standard in China: Standard and Evaluation of Low-Carbon Hydrogen, Clean Hydrogen, and Renewable Hydrogen”, *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 47, núm. 58, pp. 24584–24591, 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.10.193.
- [5] International Renewable Energy Agency, “Creating a global hydrogen market: Certification to enable trade”, 2023, Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.irena.org/>

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jan/IRENA_Creating_a_global_hydrogen_market_2023.pdf?rev=cad6962f55454a46af87dec5f2e6c6e8

- [6] Ministerio de Energía y Minas, “Hoja de Ruta del Hidrógeno Verde en Ecuador”, Quito, 2023. Consultado: el 9 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/Hoja-de-Ruta-del-Hidrogeno-Verde-en-Ecuador.pdf>
- [7] OLADE, “Ecuador presenta la Hoja de Ruta y la Estrategia para la Producción de Hidrógeno Verde”. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.olade.org/noticias/ecuador-presenta-la-hoja-de-ruta-y-la-estrategia-para-la-produccion-de-hidrogeno-verde/>
- [8] Ministerio de Minas y Energía, “Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia”, Bogotá, 2021. Consultado: el 9 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf
- [9] E. R. Sadik-Zada, “Political economy of green hydrogen rollout: A global perspective”, *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, núm. 23, 2021, doi: 10.3390/su132313464.
- [10] International Energy Agency, “The Future of Hydrogen”, jun. 2019, Consultado: el 18 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf
- [11] J. Xu y W. Lin, “Integrated hydrogen liquefaction processes with LNG production by two-stage helium reverse Brayton cycles taking industrial by-products as feedstock gas”, *Energy*, vol. 227, p. 120443, jul. 2021, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.120443.
- [12] IRENA, “GLOBAL RENEWABLES OUTLOOK”, 2020, Consultado: el 1 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_Global_Renewables_Outlook_2020.pdf?rev=1f416406e50d447cbb2247de30d1d1d0
- [13] L. Fahey y V. K. Narayanan, *Macroenvironmental analysis for strategic management (The west series in strategic management)*. Minnesota: West Publishing Company, 1986.

- [14] J. Song, Y. Sun, y L. Jin, “PESTEL analysis of the development of the waste-to-energy incineration industry in China”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 276–289, dic. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.066.
- [15] D. Elmuti y Y. Kathawala, “An overview of benchmarking process: a tool for continuous improvement and competitive advantage”, *Benchmarking for Quality Management & Technology*, vol. 4, núm. 4, pp. 229–243, dic. 1997, doi: 10.1108/14635779710195087.
- [16] Secretaría de Asuntos Estratégicos, “Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno”, Buenos Aires, 2023. Consultado: el 9 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/07/estrategia_nacional_de_hidrogeno_sae_2023.pdf
- [17] Diário da República, “Plano Nacional do Hidrogénio”, 2020, Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3d%3dBQAAAB%2bLCAAAAAAABAAzNDC2MAAAFEkqvQUAAA%3d>
- [18] M. Correa, C. Barría, y B. Maluenda, “ESTRATEGIA NACIONAL DE HIDRÓGENO VERDE”, Santiago de Chile, nov. 2020.
- [19] BMWi, “Report of the Federal Government on the Implementation of the National Hydrogen Strategy”, Berlín, 2021. Consultado: el 8 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: www.bmwi.de
- [20] ASOCIACIÓN MEXICANA DE HIDRÓGENO, “Hidrógeno Verde: El vector energético para descarbonizar la economía de México”. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://h2lac.org/wp-content/uploads/2022/05/FF-Presentacio%CC%81n-final-25-de-Mayo.pdf>
- [21] World Economic Forum, “Enabling Measures Roadmap for Low-Emission Hydrogen Japan”, 2023, Consultado: el 8 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Accenture_Enabling_Measures_Roadmap_for_Low_Emission_Hydrogen_Japan_2023.pdf
- [22] Ministerio de Energía, “Plan de acción Hidrógeno Verde”, Santiago de Chile, 2023. Consultado: el 9 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_de_accion_hidrogeno_verde_2023-2030.pdf

- [23] “H2Global Foundation”. Consultado: el 6 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.h2-global.de/>
- [24] Ministry of Economy Trade and Industry, “Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050”, 2021.
- [25] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, “Estrategia Nacional de Hidrógeno de Alemania”, abr. 2021, Consultado: el 30 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://mediafra.admiralcloud.com/customer_609/65763d50-066e-4065-8bf9-4e268b8c703f?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3D%22GER_20210423_Estrategia%20Nacional%20de%20Hidr%C3%83%C2%B3geno%20de%20Alemania_Traducci%C3%83%C2%B3n.pdf%22&Expires=1719890879&Key-Pair-Id=K3XAA2YI8CUDC&Signature=Ce-OmZx9T7jwiNGOysFprPqK0bzqNAopZ0LRpOEjVxWF6LAUN0-YNgspe3nWyMmUdqyIYsr0tF~nit~cQEPXAB-dGNovJS6gpFDGGphnnF7UAXWzsmEjR2k-qquxXmANhBsnnEIJK~O3ixKhLQd2Og93clvqYxKVtXUQnD1WixkKGtZ~dfFYQ3MeHs43CkkiWMjy4K
- [26] “Ley Chile - Ley 21305 - Biblioteca del Congreso Nacional”. Consultado: el 6 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1155887>
- [27] “REGULACIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS – H2Chile”. Consultado: el 6 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://h2chile.cl/regulacion-y-politicas-publicas/>
- [28] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, “INFORME DE SUSTENTO REGULACIÓN «CALIFICACIÓN Y HABILITACIÓN DE LOS GRANDES CONSUMIDORES EN EL SECTOR ELÉCTRICO» ”, ago. 2021. Consultado: el 27 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/08/Informe-de-Sustento-GC-Versi%C3%B3n-3.0-2021.08-DAfinal.pdf>
- [29] “Gobierno espera USD 190 millones al mes de liquidez de Favorita, mineras y cerveceras”. Consultado: el 27 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/grandes-contribuyentes-autorretencion-sri-impuesto-renta/>

5 ANEXOS

ANEXO I: Resumen estrategias internacionales aplicación

Benchmarking PESTEL

	Ámbito Político
Modelo de Gestión	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar hojas de ruta regionales en el marco del Plan de Acción. • Instalar un sistema de seguimientos del Plan con metodología de gestión de proyectos PMO. • Alentar la conformación de consorcios públicos-privados para el desarrollo tecnológico y la innovación.
Políticas energéticas	<ul style="list-style-type: none"> • Actualizar la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. • Analizar la reducción de costos de la electricidad en la producción de hidrógeno. • Diseñar un sistema de garantías de origen y certificaciones para el hidrógeno.
Apoyo a tecnologías de hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • Disponer información con industrias proveedoras de servicios con la cadena de valor del hidrógeno verde. • Promover la construcción de prototipos de electrolizadores para la producción de hidrógeno. • Analizar la participación de electrolizadores en servicios de flexibilidad de red.
Relaciones internacionales	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la participación en foros y comités internacionales de hidrógeno. • Coordinar estrategias normativas, comerciales y productivas con los países de la región para atraer IED.

	Ámbito Económico
Incentivos financieros	<ul style="list-style-type: none"> • Proponer una tasa de desarrollo para la inversión, permitiendo a las empresas reducir los impuestos de primera categoría. • Desarrollar planes que proporcionen incentivos para la adquisición de vehículos y la implementación de infraestructura. • Establecer tratamientos fiscales para inducir la inversión privada hacia la descarbonización.

Capacidad de inversión	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer un fondo de créditos tributarios aplicables al impuesto de primera categoría para inversiones con alto impacto multiplicador. • Creación de un “Fondo de innovación verde” para un apoyo continuo a empresas con proyectos relacionados con I+D.
Costos de producción	<ul style="list-style-type: none"> • Acompañar a los proyectos de producción y consumo de hidrógeno verde respecto a instrumentos de financiamiento. • Fomentar el desarrollo nacional de electrolizadores que ofrezcan mejores márgenes de eficiencia y rentabilidad.
Financiamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Crear una facilidad de financiamiento para proyectos de hidrógeno verde y su cadena de valor, respaldada por el estado y con el apoyo de bancos multilaterales. • Establecer una línea de financiamiento exclusiva para proyectos relacionados con la cadena de valor del hidrógeno renovable. • Atraer inversión privada utilizando fondos gubernamentales.

	Ámbito Social
Capacitaciones y socialización	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar recursos informativos y educativos dirigidos a la ciudadanía sobre el hidrógeno verde. • Integrar al hidrógeno dentro de los planes existentes de formación profesional.
Aceptación pública	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un sistema general y centralizado de consulta e información sobre hidrógeno verde. • Fomentar nuevos núcleos energéticos para la producción de hidrógeno verde que ayude a evitar la despoblación rural y a cumplir con los retos demográficos planificados. • Ejecutar el plan de socialización para el intercambio de mejores prácticas y experiencias con entidades de toda índole para el desarrollo del hidrógeno y sus derivados.
Impacto en el Empleo	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivar la producción de hidrógeno mediante biogás en situaciones que suponga un mayor beneficio medioambiental y económico que el renovable basado en la electrólisis. • Promover la inversión al sector privado con apoyo público en proyectos relacionados con la cadena de valor del hidrógeno verde.

<p>Campañas informativas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la educación en hidrógeno verde mediante la creación del programa “Educa Sostenible”. • Implementar un sitio de información accesible para todo público, gestionado mediante el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) para aumentar el conocimiento acerca de las tecnologías y oportunidades del hidrógeno.
------------------------------	---

<p>Ámbito Tecnológico e Infraestructura</p>	
<p>Investigación, desarrollo e innovación en hidrógeno verde</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar el desarrollo de una industria competitiva de fabricantes de sistemas de pilas de combustible. • Implementar un concurso de investigación, desarrollo e innovación con la participación de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo. • Fomentar la creación de Centros de Desarrollo Tecnológico de Hidrógeno Verde para impulsar el desarrollo tecnológico.
<p>Infraestructura energética</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Destinar y licitar a la industria de hidrógeno verde y sus derivados terrenos fiscales. • Planificar el avance y desarrollo para la infraestructura habilitada para el posicionamiento de la industria de hidrógeno verde y derivados. • Impulsar las I+D+i dentro de las tecnologías de reciclaje para pilas de combustible, electrolizadores, entre otros componentes que guarden relación con la cadena de valor del hidrógeno verde.
<p>Proyectos Piloto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar el proyecto piloto de un bus a hidrógeno dentro del transporte público. • Incentivar dentro de la industria local el manejo y consumo de hidrógeno verde mediante cofinanciación a proyecto piloto relacionados con la cadena de valor. • Impulsar la industria automotriz para favorecer la producción de vehículos eléctricos impulsados por pilas de combustible alimentadas con hidrógeno. • Fomentar el impulso de tecnologías de producción de calor que usen hidrógeno, a través de pilas de combustible.

	Ámbito Ambiental
Políticas ambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Generar y elaborar criterios técnicos relacionados con la cadena de valor del hidrógeno verde para la evaluación ambiental de proyectos. • Adoptar normativa internacional como referencia para la evaluación de proyectos ambientales. • Detectar vacíos normativos y promover la elaboración de nuevas regulaciones para una gestión ambientalmente eficiente y segura del hidrógeno renovable.
Impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer el Servicio de Evaluación Ambiental y servicios involucrados en los procesos de evaluación ambiental para promover proyectos relacionados con hidrógeno renovable. • Ejecutar una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE).
Compromisos medioambientales	<ul style="list-style-type: none"> • Estudiar los usos finales en el sector industrial para un recambio en combustibles. • Fomentar la reconversión de centrales termoeléctricas, implementado combustibles alternativos basados en hidrógeno. • Evaluar la gradual integración del hidrógeno para el uso doméstico dentro de artefactos que usen gas como fuente energética, como calefactores, cocinas, etc.

	Ámbito Legal
Marco regulatorio	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar e implementar un plan de trabajo de regulaciones habilitantes para la industria del hidrógeno renovable y derivados. • Implementar una legislación específica para hidrogeneras, que especifique los mecanismos administrativos y delimite los permisos para su gestión y construcción. • Reformar la clasificación como actividad industrial de la producción de hidrógeno verde in situ en las estaciones de servicio.
Legislación vigente sobre hidrógeno verde	<ul style="list-style-type: none"> • Modificar decretos para incluir al hidrógeno y combustibles que utilizan hidrógeno en las competencias del sector energético. • Implementar una legislación específica para hidrogeneras, que especifique los mecanismos administrativos y delimite los permisos para su gestión y construcción.

Barreras Legales	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptar un guía de Proyectos Especiales de Hidrógeno de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. • Aprobar los procedimientos necesarios aplicables a la concesión de licencias a las instalaciones de producción de hidrógeno. • Fomentar el despliegue de medidas regulatorias que faciliten y simplifiquen el desarrollo de líneas directas de electricidad designadas a la producción de hidrógeno verde dentro del marco normativo del sector eléctrico.
------------------	--

ANEXO II: Propuesta Modelo de Gobernanza de Hidrógeno Verde para Ecuador

