



Septiembre 2022

Índice

Definiciones.....	7
Prólogo.....	8
Resumen ejecutivo	9
1. Hidrógeno y la oportunidad para Costa Rica.....	11
1.1.Contexto global del hidrógeno	11
1.2.Antecedentes de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde de Costa Rica	16
1.3.Fortalezas de Costa Rica para la adopción del hidrógeno verde	17
2. Contexto regulatorio nacional y el rol del hidrógeno verde en la descarbonización de Costa Rica.....	21
2.1.Vinculación con políticas, Planes Nacionales y marco regulatorio	21
2.2.Rol del hidrógeno para descarbonizar Costa Rica	24
3. Producción de hidrógeno verde	25
3.1.Potencial de energía renovable	25
3.2.Producción de hidrógeno verde en 2030 y 2050	27
4. Demanda de hidrógeno verde.....	30
4.1.Demanda por sectores 2030 y 2050	31
4.2.Demanda total a 2030 y 2050	35
5. Estrategia y horizonte a largo plazo.....	35
5.1.Componentes fundamentales de esta Estrategia Nacional de Hidrógeno	35
5.2.Metas estratégicas 2030	37
6. Plan de acción. Habilitadores de la Estrategia	39
6.1.Mapa de actuación	39
6.2.Condiciones habilitantes	40
6.3.Eje 1. Descarbonización del sector transporte e industria	49
6.4.Eje 2. Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde	63
6.5.Eje 3. Exportación de hidrógeno	75
6.6.Acciones del corto plazo para el hidrógeno en Costa Rica y sus responsables	83
7. Modelo de gestión y gobernanza	87
Anexo 1. Indicadores de seguimiento de la Estrategia.....	90

Anexo 2. Plan de Socialización	99
Anexo 3. Mapeo de políticas, planes nacionales y marco regulatorio en Costa Rica.....	102
Anexo 4. Fuentes de Información.....	108

Lista de Figuras

Figura 1. Variación de la temperatura mundial promedio respecto a la era preindustrial.....	11
Figura 2. Proyecciones internacionales de demanda de hidrógeno.....	14
Figura 3. Fortalezas de Costa Rica para el despliegue del hidrógeno verde.....	18
Figura 4. Línea de tiempo de regulación en torno al hidrógeno verde.....	22
Figura 5. Inventario Nacional de Emisiones de GEI de Costa Rica (Gg de CO ₂ eq)	24
Figura 6. Reducción de emisiones de Costa Rica a 2050.....	25
Figura 7 - Matriz eléctrica de Costa Rica en 2021.....	26
Figura 8. Mapa del potencial solar (izquierda) y eólico (derecha) de Costa Rica.....	27
Figura 9. Costos nivelados de producción de hidrógeno (LCOH) en Costa Rica.....	29
Figura 10. Formas de producción de hidrógeno en Costa Rica.....	30
Figura 11. Escenarios de demanda de hidrógeno verde en Costa Rica (2022 - 2050).....	31
Figura 12. Sectores objetivo de adopción del hidrógeno verde en Costa Rica.....	32
Figura 13. Demanda nacional de hidrógeno en Costa Rica (2030 y 2050)	35
Figura 14. Metas estratégicas de Costa Rica para la adopción del hidrógeno en 2030.....	37
Figura 15. Ejes de actuación de la Estrategia del Hidrógeno Verde de Costa Rica.....	40
Figura 16. Bloque 1. Condiciones habilitantes.....	41
Figura 17. Bloque 2. Descarbonización del sector transporte e industria.....	50
Figura 18. Bloque 4. Tecnología e Innovación.....	64
Figura 19. Bloque 3. Infraestructura y Generación	76

Abreviaturas y acrónimos

ARESEP	Autoridad Reguladora de Servicios Públicos
CAPEX	Gasto en Capital (inglés: capital expenditure)
CO_{2eq}	Dióxido de carbono equivalente
FC	Celda de combustible (inglés: Fuel Cell)
FCEV	Vehículo eléctrico a celda de combustible (inglés. Fuel Cell Electric Vehicle)
GEI	Gases de efecto invernadero
GoOs	Esquemas de certificación de Garantías de Origen (inglés: Guarantees of Origin)
H₂	Hidrógeno
HDV	Camión de carga pesada (inglés: Heavy Duty Vehicle)
IEA	Agencia Internacional de energía (inglés: International Energy Agency)
IRENA	Agencia Internacional de energías renovables (inglés: International Renewable Energy Agency)
IPPU	Procesos industriales y uso de producto (inglés: Industrial Process and Product Use)
LCOE	Costo nivelado de producción de electricidad (inglés: Levelized cost of energy)
LCOH	Costo nivelado de producción de hidrógeno (inglés: Levelized cost of hydrogen)
LPG	Gas licuado de petróleo (inglés: liquefied petroleum gas)
MEIC	Ministerio de Economía, Industria y Comercio
MER	Mercado Eléctrico Regional Centroamericano
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transporte
MOU	Memorando de Entendimiento (inglés: Memorandum of understanding)

NAMA	Acciones de Mitigación Apropriadas a Nivel Nacional (inglés: Nationally Appropriate Mitigation Actions)
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada (inglés: National determined contribution)
ODS	Objetivo(s) de Desarrollo Sustentable
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNE	Plan Nacional de Energía
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROCOMER	Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica
RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SEPSE	Secretaría de Planificación Subsector Energía
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental
T-UD	Tarifa de Usuarios Directos

Definiciones

Acoplamiento sectorial: Integración de los sectores económicos como el residencial, transporte e industria, con el sector productor de energía renovable.

Carbono neutralidad: Lograr que las emisiones de dióxido de carbono netas sean iguales a cero. Este objetivo se alcanza cuando se emite la misma cantidad de CO₂ a la atmósfera de la que se retira por distintas vías.

Celda de combustible: Dispositivo que produce electricidad mediante una reacción química controlada, usualmente entre el hidrógeno y oxígeno. El hidrógeno actúa como elemento combustible, y el oxígeno es obtenido directamente del aire.

Descarbonización: Proceso de reducción de la intensidad del carbono, disminuyendo la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), con el fin de reducir su impacto en el clima.

Electrólisis: Proceso de descomposición de compuestos iónicos, como el agua, en sus elementos mediante el paso de una corriente eléctrica directa. Por ejemplo: hidrógeno y oxígeno a partir de agua.

Hidrógeno: Elemento químico más abundante, ligero y de mayor contenido energético en masa del Universo. Es un vector energético que permite electrificar de forma indirecta los usos difíciles de descarbonizar en la economía contemporánea.

Hidrógeno Verde: Hidrógeno producido mediante la división del agua en hidrógeno y oxígeno utilizando fuentes de energía renovables. También se le conoce como hidrógeno renovable.

Hub de hidrógeno: Conocidos también como clústeres o valles de hidrógeno, son regiones en las que se reúnen varios usuarios de hidrógeno de distintos mercados para minimizar el coste de las infraestructuras y favorecer las economías de escala en la producción y el suministro de hidrógeno a los clientes.

Transición energética: Proceso de reducción de emisiones de carbono en la generación de energía, al tiempo que se introducen tecnologías de la información, tecnologías de almacenamiento de energía y el uso de vectores energéticos, entre otras tecnologías. El objetivo de la transición energética es garantizar el suministro eléctrico que garantice el bienestar social y crecimiento económico de manera sostenible.

Vector energético: Sustancias o dispositivos que permiten almacenar y transferir, en el espacio y en el tiempo, una cantidad de energía de forma controlada.

Prólogo

Costa Rica apunta a contar con una economía descarbonizada en 2050, que haya alcanzado la carbono neutralidad, de manera consistente con la meta climática global – es decir; la meta de contener el incremento de la temperatura media mundial a 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales. Este compromiso ha sido plasmado en la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) publicada en el 2020, la cual entre sus metas de mitigación establece que el país habrá desarrollado una estrategia para el desarrollo y la promoción del hidrógeno verde en el 2022. La NDC se informa del marco legal e institucional para la acción climática: el Plan de Descarbonización de Costa Rica, que menciona como actividades claves el diseño de un plan de impulso al hidrógeno y la implementación del plan de acción interinstitucional.¹

Costa Rica es uno de los pocos países del mundo que ha logrado generar más del 98% de su electricidad con fuentes de energía renovable, siendo un ejemplo en producción de energía eléctrica renovable. En el año 2021 la electricidad solo representó el 22,3% de la energía total consumida en el país, mientras que la biomasa representó un 9,7% y el restante 68% provino de derivados de petróleo. En el 2021, el sector transporte consumió 59,5% de la energía secundaria consumida y representó el 67% de las emisiones de GEI en el país. La gran dependencia del sector transporte en productos derivados del petróleo es uno de los mayores retos del país y su abordaje quedó plasmado en tres ejes del Plan de Descarbonización. Por eso la transición de este sector haciendo uso de todas las tecnologías disponibles y fuentes renovables, es clave en el proceso de descarbonización de la economía y logro de las metas establecidas.

Debido a su baja huella de carbono, a la adopción de energía eléctrica renovable y su gran versatilidad, el hidrógeno verde se posiciona como una opción importante para múltiples países, quienes lo plasman así en sus estrategias nacionales y hojas de ruta del hidrógeno. Este es el caso de Costa Rica, quien debido a su compromiso con el medio ambiente y vasta disponibilidad de recursos renovables, desarrolla la presente **Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en Costa Rica y Plan de Acción que establece la visión del país y los objetivos de corto, mediano y largo plazo.**

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde incluye intervenciones estratégicas, indicadores y metas, así como pretende atender las brechas regulatorias, técnicas, financieras, nuevos talentos y capacidades para el desarrollo de la industria del hidrógeno verde en Costa Rica generando oportunidades de empleo, desarrollo tecnológico y de comercio. Además, servirá de herramienta de coordinación entre partes interesadas tanto del sector público como del sector privado.

La presente Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde ha sido desarrollada en colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo, quien ha sido un aliado de Costa Rica en la exploración del hidrógeno como un energético y que ha financiado estudios como el **Análisis del mercado global de hidrógeno verde: el potencial de participación de Costa Rica en dicho mercado y estimaciones asociadas a su impacto macroeconómico**, desarrollado en 2021, y que ha servido como fuente de datos para esta Estrategia.

¹ Plan de Descarbonización Costa Rica 2018-2022

Resumen ejecutivo

Contexto global del hidrógeno. El hidrógeno está cobrando relevancia a nivel mundial como un **vector destacado para la descarbonización y la transición energética**. Más de 20 países, sumando el 90% del PIB mundial² ya han publicado estrategias de hidrógeno, según sus necesidades y recursos. La importancia del hidrógeno radica en **su versatilidad**, ya que puede ser utilizado como **materia prima industrial** (procesos como la producción de fertilizantes y de grasas alimenticias) y como **combustible** en procesos de combustión industrial o en transporte, principalmente en aquellas **aplicaciones de movilidad difíciles de abatir**. Además, su utilidad como **vector energético** le permite almacenar y distribuir energía aprovechando todo el potencial de las energías renovables, cuando existe exceso de generación.

El hidrógeno puede ser obtenido a partir de varias fuentes, como agua e hidrocarburos y, se clasifica dependiendo de su proceso de producción y materia prima. De cara a la descarbonización, cobra especial interés el hidrógeno producido a partir de energías renovables, conocido como **hidrógeno verde** debido a que **no genera emisiones de gases de efecto invernadero** en toda su cadena de valor.

Producción y demanda de hidrógeno de Costa Rica. La **Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica**, tiene por objeto el despliegue de este vector energético en Costa Rica contribuyendo al **objetivo de cero emisiones netas en el 2050** planteado en la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Costa Rica, con respecto al Acuerdo de París de 2015, la cual establece entre sus metas la elaboración de una estrategia para el desarrollo del hidrógeno verde para 2022. Tomando en cuenta las potencialidades del hidrógeno verde, el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 también incluye como uno de sus objetivos la promoción y el desarrollo del hidrógeno en el país. Se procurará en todo momento que los **costos ambientales y sociales de la producción de electricidad con fuentes renovables nacionales para producción de hidrógeno, se equilibren con los beneficios de los proyectos de hidrógeno**, en relación con el logro de los compromisos de la descarbonización.

Costa Rica cuenta con una situación muy singular al poseer **matriz altamente renovable cercana al 100%**, que podría aprovechar para una primera fase de adopción y producción de un **hidrógeno verde a partir de electricidad de la red, utilizando potenciales excedentes con valores entre 2 y 4 USD/kg H₂**, mientras se desarrollan proyectos de plantas de energías renovables dedicadas en el país. El costo nivelado del hidrógeno, a partir de energía eólica y solar fotovoltaica, irá en descenso a lo largo de las décadas, **pudiendo alcanzar valores entre 2 y 3 USD/kg H₂ a 2030**. Es importante destacar que **no debe ser una preocupación la competencia que se pudiera dar entre las demandas de electricidad para producir hidrógeno y la que se requiere para electrificación de otros usos** (movilidad eléctrica y electrificación de la industria), ya que esta Estrategia promueve junto con el hidrógeno, la **creación de nueva capacidad de generación eléctrica renovable**.

Un aspecto clave para la implementación del hidrógeno en el país es **activar su demanda**, principalmente en el **sector transporte que es el mayor contaminante a nivel nacional** (especialmente en camiones de carga

² World Energy Council

y buses de larga distancia), asimismo el hidrógeno también contribuirá al reemplazo progresivo de combustibles de origen fósil en la industria (gas LPG y búnker, principalmente). Se proyecta una demanda a 2030 de **20 ktonH₂/año**, la que para **2050** podría alcanzar los **420 ktonH₂/año** siendo el sector transporte el principal demandante.

Estrategia de Costa Rica frente al hidrógeno verde. Partiendo de las proyecciones de producción y demanda y de las fortalezas del país identificadas durante la construcción de este documento, se vislumbra una **visión del país a largo plazo** como base de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde:

“Costa Rica produce hidrógeno verde de manera competitiva aprovechando su matriz eléctrica renovable, contribuyendo a la descarbonización de los sectores transporte e industria, la independencia energética, y al crecimiento económico, y se posiciona como un hub regional de conocimiento y tecnología”

La Visión 2030 prevé una capacidad instalada de electrolizadores y proyectos en desarrollo entre 0,2 y 1 GW y una serie de hitos en el sector industrial y el transporte, para los cuales será preciso movilizar inversiones potenciales estimadas en 2500 millones de dólares, durante el periodo 2022-2030 y la creación de 30.000 empleos. En cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, se ha identificado que la adopción de hidrógeno verde en el país podría representar una reducción de hasta 2600 kton CO₂ equivalente.

Plan de Acción de la Estrategia del Hidrógeno Verde. La estrategia presenta un plan de acción cuyo objetivo principal es impulsar la fase inicial de adopción del hidrógeno en el país, para alcanzar las metas propuestas para 2030. El plan de acción cuenta con 77 acciones agrupadas en 16 líneas de acción que se encuentran distribuidas en **tres ejes alineados a la visión país del hidrógeno y un cuarto eje, transversal**, que contiene las acciones habilitantes para el mercado de hidrógeno en Costa Rica, según lo siguiente:

- **Condiciones habilitantes:** tiene como objetivo establecer las bases necesarias para que el desarrollo del hidrógeno verde, a lo largo de la cadena de valor, sea seguro, competitivo, coherente y confiable a largo plazo.
- **Descarbonización del sector transporte e industria:** busca lograr la integración del hidrógeno verde y sus derivados en los sectores transporte e industria, para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional a través de financiamiento, integración del hidrógeno en los planes de producción, transporte, distribución y fomento de la demanda.
- **Desarrollo de un hub tecnológico:** su objetivo es detonar las acciones que conviertan al país en un hub tecnológico mediante la atracción de socios comerciales y tecnológicos para el desarrollo de emprendimientos, negocios, innovación y empleos asociados al hidrógeno; tal que permita el aprovechamiento y desarrollo de ventajas competitivas a nivel nacional y en la región.
- **Exportación de hidrógeno:** este bloque plantea acciones para desarrollar alianzas estratégicas, acuerdos internacionales, garantías de origen, atracción de inversión extranjera, que permitan a Costa Rica incursionar en el mercado internacional del hidrógeno verde.

1. Hidrógeno y la oportunidad para Costa Rica

1.1. Contexto global del hidrógeno

Cambio Climático y necesidad de descarbonización

Definido por la Organización de las Naciones Unidas como “el conjunto de cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos del planeta”³, el cambio climático es una de las mayores preocupaciones de las naciones alrededor del mundo. De acuerdo con datos de la Organización Meteorológica Mundial, el 2020 fue uno de los tres años más cálidos de los que se tiene constancia. La temperatura media mundial fue de aproximadamente 1,2 °C superior a los niveles preindustriales (1850-1900) y no es un fenómeno aislado, ya que los seis años transcurridos desde 2015 han sido los más cálidos de los que se tienen datos y al mismo tiempo, la década de 2011 a 2020 fue la más cálida registrada en la historia.⁴

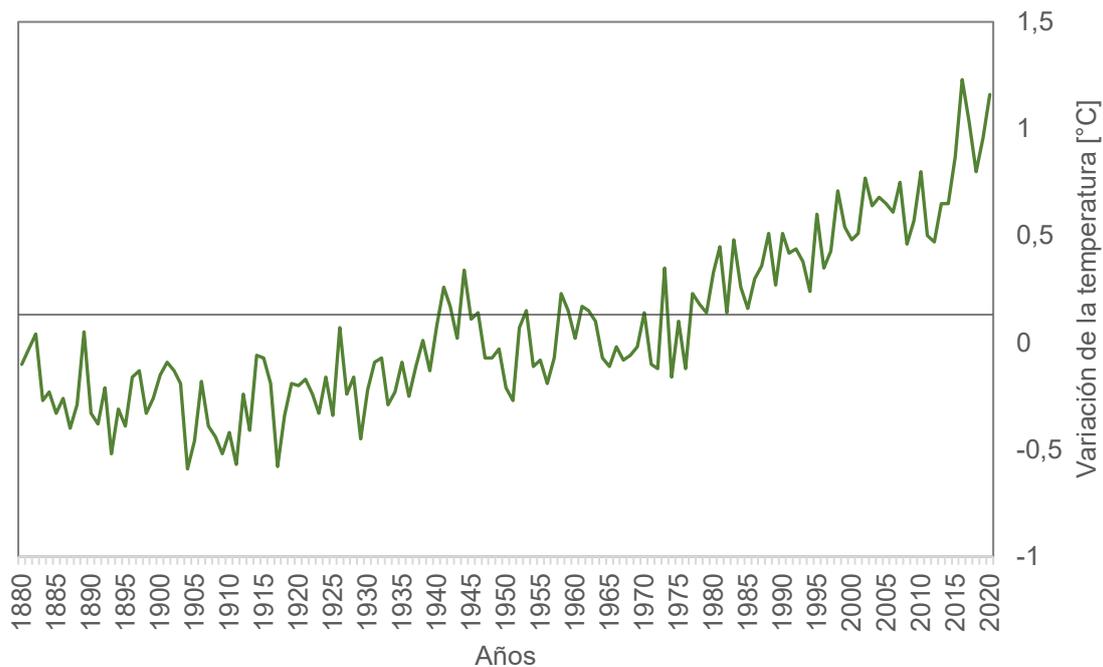


Figura 1. Variación de la temperatura mundial promedio respecto a la era preindustrial. Fuente: Climate.Gov (2022): *Climate Change: Global Temperature*

El cambio climático es un fenómeno asociado al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que provienen principalmente del uso de combustibles fósiles y de distintas actividades humanas, que van desde el transporte terrestre, marítimo y aéreo, hasta su uso como materia prima en procesos de producción de acero y fertilizantes, y sin dejar a un lado otras actividades humanas, como la ganadería y la agricultura.

Para frenar los impactos negativos que este fenómeno tiene en el planeta, los líderes mundiales que asistieron a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) llegaron a un acuerdo el día 12 de diciembre de 2015, el llamado “Acuerdo de París”. En él, los firmantes se comprometieron a reducir

³ Naciones Unidas (2022), ¿Qué es el cambio climático?

⁴ Organización Meteorológica Internacional (2021), Los indicadores empeoraron y los impactos del cambio climático se agravaron en 2020

sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el aumento de la temperatura global en este siglo a 2 °C y esforzarse para limitar este aumento, a tan solo el 1.5 °C, respecto a los niveles preindustriales. Hasta el momento, el Acuerdo de París ha sido firmado por 192 países y por la Unión Europea.

Costa Rica, como firmante del Acuerdo de París, suscribió su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) en el 2015 y la actualizó en 2020, con los resultados de un proceso robusto que incluyó modelación climática, construcción de escenarios narrativos y consultas ciudadanas. Esta actualización de la NDC aumentó la ambición y comprometió a Costa Rica a tomar acciones alineadas con la meta global más ambiciosa: la de limitar el aumento de la temperatura media mundial a 1.5 °C. El compromiso suscrito por Costa Rica es el de un presupuesto máximo absoluto de emisiones netas para el periodo 2021 al 2030, de 106,53 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}), incluyendo todas las emisiones y todos los sectores cubiertos por el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero⁵.

A nivel mundial, la Agencia Internacional de Energía reporta que, durante el 2021 las emisiones de CO₂ en el planeta alcanzaron los 36,3 giga toneladas⁶, de las cuales, el 73% se emitieron en el sector energético: 24% en uso industria, 16% en el transporte, 17% en el sector residencial y 16% en otros usos no localizados. Lo anterior, hace necesario que los países hagan cambios sustanciales en sus formas de producir y consumir la energía, lo que ha dado lugar a la llamada “transición energética”.

La transición energética es un proceso de cambio significativo en las formas de producción y consumo de energía que incluye medidas de eficiencia energética, adopción de renovables, electrificación de procesos y uso de vectores energéticos, como las pilas electroquímicas, comúnmente llamadas baterías y el hidrógeno.

Hidrógeno verde como vector energético para la descarbonización

El hidrógeno es el elemento más pequeño presente en la naturaleza. En condiciones normales es un gas incoloro, inodoro e insípido, compuesto de moléculas di-atómicas. Su símbolo H₂, corresponde al átomo de hidrógeno (H) que consta de un núcleo de unidad de carga positiva y un solo electrón. Además, tiene un número atómico 1 y peso atómico de 1.00797. Es uno de los componentes principales del agua y de toda la materia orgánica y se encuentra distribuido de manera amplia no sólo en la Tierra sino en todo el universo

Durante los últimos años, el hidrógeno se ha posicionado como una pieza clave para la transición energética, ya que su alta densidad energética por unidad de masa, su capacidad de comprimirse o licuarse⁷ y su versatilidad para generar calor o electricidad, convertirse a electricidad o ser utilizado como materia prima lo hacen ideal para la descarbonización de procesos que serían difícilmente electrificables o que no han hallado sustitutos a las materias primas fósiles.

⁵ MINAE y DCC (2020), Contribución Nacionalmente Determinada 2020

⁶ IEA (2021), Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021

⁷ El hidrógeno posee una densidad energética por masa de 39.5 kWh/kg, lo cual es tres veces mayor a la del petróleo (13.1 kWh/kg) sin embargo, en condiciones normales de presión y temperatura el hidrógeno tiene una densidad volumétrica de 2.2 kWh/m³, significativamente menor a la del petróleo (10 445.3 kWh/m³). Es por esta razón que el hidrógeno necesita ser comprimido o licuado para poder ser transportado.

Durante el 2020, la demanda mundial de hidrógeno alcanzó los 90 millones de toneladas, de las cuales, el 90% fueron producidas a partir de gas natural o carbón y el 10% restante a partir de electrólisis del agua⁸ (proceso electroquímico donde se separa la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno mediante la aplicación de una corriente eléctrica) o como subproducto de otro proceso químico (por ejemplo: la producción de cloro o de etileno).

Actualmente, el hidrógeno se clasifica de acuerdo con la materia prima y el proceso que se aplica para producirlo. En este contexto, destaca el “hidrógeno verde” el cual es producido mediante electrólisis del agua, utilizando energía eléctrica proveniente de fuentes renovables. De acuerdo con el esquema de certificación de garantías de origen europeo, CertifHy⁹, para considerar a este hidrógeno como verde debe emitir 60% menos emisiones de carbono, respecto al hidrógeno de reformado de metano, el cual emite en promedio 91 g CO_{2eq}/MJ_{H₂}. Al hidrógeno verde se le conoce también como “hidrógeno renovable”.

Debido a su baja huella de carbono y a la adopción de energía eléctrica renovable, el hidrógeno verde se posiciona como una opción importante para múltiples países, quienes lo plasman así en sus estrategias nacionales y hojas de ruta del hidrógeno. Este es el caso de Costa Rica, que debido a su compromiso con el medio ambiente y vasta disponibilidad de recursos renovables, desarrolla la presente estrategia con un enfoque específico en este tipo de hidrógeno.

El impacto que la adopción de hidrógeno o verde y sus derivados (amoniaco, metanol, hidrocarburos sintéticos o *e-fuels*) podría tener en la descarbonización, ha hecho que crezca el interés en desarrollar la tecnología, implementar proyectos piloto y desarrollar estrategias adecuadas para cada país, de acuerdo con sus recursos, potencial renovable y tipo de actividades económicas.

Hasta el primer cuarto del 2022, 32 países, además de la Unión Europea, han publicado una estrategia, hoja de ruta o documento de política pública oficial para manifestar su posición para adoptar al hidrógeno como un vector energético: algunos países desde una visión de exportador, otros desde una visión de importador y otros como países autosuficientes. Todos con el objetivo común de descarbonizar la economía y la independencia energética.

Las agencias internacionales de energía como la *International Energy Agency* (IEA), *International Renewable Energy Association* (IRENA), entre otras, prevén que los nuevos usos del hidrógeno hagan crecer significativamente su demanda a nivel global, pasando de los 90 millones de toneladas anuales en 2020 a más de 500 millones de toneladas en 2050 en escenarios intermedios y hasta 800 millones de toneladas en escenarios más ambiciosos.¹⁰

⁸ IEA (2020), Global Hydrogen Review 2021

⁹ CertifHy (2016), CertifHy– Developing a European Framework for the generation of guarantees of origin for green hydrogen

¹⁰ Bloomberg New Energy Finance (2020), Hydrogen Economy Outlook

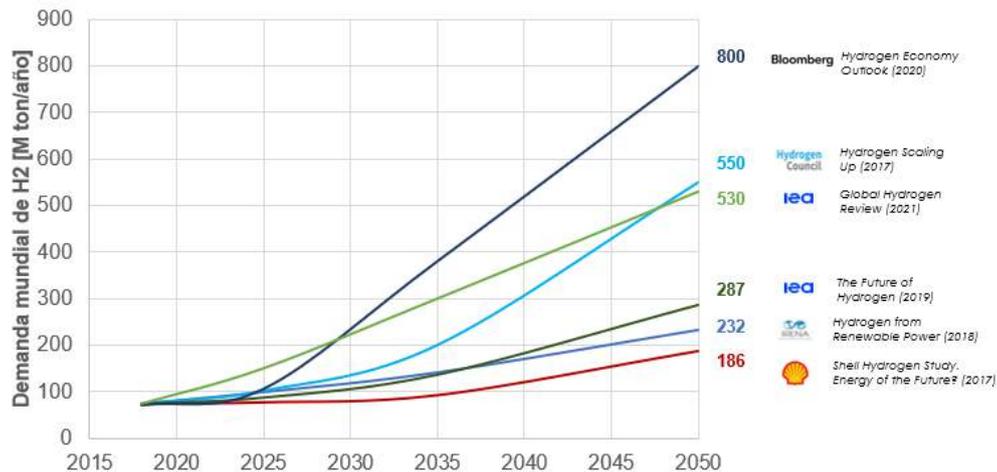


Figura 2. Proyecciones internacionales de demanda de hidrógeno. Fuente: NTT Data (2022), elaboración propia a partir de los documentos citados entre paréntesis en cada proyección

De acuerdo con la IEA¹¹, en 2050 la demanda de hidrógeno podría ascender a 530 millones de toneladas anuales, bajo su escenario *Net Zero*. De esa demanda, unos 100 millones de toneladas de hidrógeno podrían estar destinadas al transporte terrestre, 175 millones a la producción de combustibles sintéticos como el amoníaco, metanol y queroseno sintético, unos 110 millones de toneladas se destinarían al sector industrial; mientras que, el resto estaría distribuido entre la refinación de petróleo, el almacenamiento de energía, inyección a gasoductos y aplicaciones residenciales.

El hidrógeno verde como una oportunidad para impulsar el cumplimiento de Objetivos de Desarrollo Sostenible en Costa Rica

Es importante señalar que el hidrógeno verde, como vector energético, no solo es relevante por su capacidad de descarbonizar múltiples industrias y por vincular sectores económicos con las renovables (*sector coupling*); sino que, también es relevante para la generación de empleos y capital humano especializado. Adicionalmente, podría sustituir el uso de tecnologías que afectan actualmente la calidad del aire de comunidades, lo cual tiene un impacto positivo en la salud pública. En términos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, se identifica que la economía del hidrógeno apoya al cumplimiento de al menos 7 objetivos:



Objetivo 3 – Salud y Bienestar: La calidad del aire en las ciudades es un problema de salud pública, la alta concentración de contaminantes en el aire generada por el transporte y otras actividades económicas tiene repercusiones en la salud pública. La población expuesta a estos contaminantes es vulnerable a sufrir accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y neumopatías crónicas y agudas. Durante el 2020, científicos de la Universidad de Harvard encontraron una correlación entre la mortalidad por COVID-19 y el contenido en material particulado en ciudades de Estados Unidos, encontrando que un aumento de solo 1 µg/m³ en el material particulado PM 2.5 está asociado con un aumento del 8 % en la tasa de mortalidad por COVID-19 (intervalo de confianza [IC] del 95 %: 2 %,

¹¹ IEA (2021), Global Hydrogen Review

15 %) ¹². El hidrógeno puede contribuir a reducir los niveles de contaminación en las urbes, principalmente debido a su adopción en el transporte y la industria.

Objetivo 7 – Energía asequible y no contaminante: Ya que el hidrógeno verde tiene potencial de sustituir el uso de fuentes de energía derivadas de combustibles fósiles que son contaminantes, su desarrollo contribuye de manera directa a este ODS. En Costa Rica el hidrógeno podría ser asequible al producirse a partir de múltiples fuentes primarias de energía renovable a bajo costo, como la hidroelectricidad, la energía solar fotovoltaica, la eólica, entre otras.



Objetivo 8 – Trabajo decente y crecimiento económico: El hidrógeno verde, acoplado a la industria de energías renovables presenta altos factores de empleabilidad que permitirán que nuevos puestos sean creados y que ello tenga un impacto en la economía. Además, a nivel económico el hidrógeno representará para países no productores de combustibles fósiles como Costa Rica una oportunidad de frenar la importación de combustibles fósiles, aumentando aún más el impacto positivo del hidrógeno en este ODS.

Objetivo 9 – Industria, innovación e infraestructura: junto con la creación de un nuevo mercado energético, viene la oportunidad de crear nuevas industrias que produzcan los bienes que serán demandados (en el caso del hidrógeno verde: electrolizadores, celdas de combustible, entre otros) al tiempo que se hace indispensable crear infraestructura de soporte, como pueden ser redes de transmisión eléctrica, ductos, plantas de generación eléctrica, equipo de almacenamiento e infraestructura portuaria para el comercio de energéticos: todas ellas acciones que representan una oportunidad de innovación para Costa Rica.



Objetivo 11 – Ciudades y comunidades sostenibles: el hidrógeno ofrece la posibilidad de ser utilizado en ciudades y comunidades de dos principales formas: en aplicaciones móviles (buses, camiones, automóviles) y en aplicaciones estacionarias (residenciales). Si el hidrógeno es verde o generado con bajas emisiones de carbono, contribuye a la sustentabilidad desde lo renovable.

Objetivo 13 – Acción por el clima: este es otro Objetivo de Desarrollo Sostenible que es frontalmente abordado por el hidrógeno verde. El actual interés internacional por el desarrollo del hidrógeno verde surge precisamente como una respuesta ante la preocupación por el cambio climático provocado por las emisiones de GEI.



Objetivo 17 – Alianzas para lograr los objetivos: En la historia reciente, pocas actividades habían visto un número tan alto de sinergias y acuerdos de colaboración internacional como el hidrógeno verde. Al término del tercer cuarto de 2021 se registraban ya más de 15 acuerdos bilaterales entre Estados ¹³ y decenas más entre empresas

¹² Wu, X. Nethery, R. Harvard University, (2020) Fine particulate matter and COVID-19 mortality in the United States

¹³ IEA (2021), Global Hydrogen Review

públicas, privadas y organizaciones no gubernamentales. En este ámbito, Costa Rica no es la excepción, siendo el primer país a nivel mundial que ha sido autorizado para desarrollar un proyecto NAMA de hidrógeno.

1.2. Antecedentes de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde de Costa Rica

La investigación del hidrógeno en Costa Rica inició hace más de una década, lo que ha permitido conocer las tecnologías asociadas y comprender las ventajas, desventajas, retos y oportunidades que podría traer al país el uso de este vector energético. En esta ruta de aprendizaje se han ido sumando diversos actores y sectores, tanto del sector público, en la figura de ministerios e instituciones, como del sector privado, asociaciones como la Alianza por el Hidrógeno, la Asociación Costarricense de Hidrógeno y la Fundación Costa Rica Estados Unidos (CRUSA), organismos de cooperación internacional como la Agencia Alemana de Cooperación para el Desarrollo (GIZ) y la banca multilateral, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco Mundial.

Para resumir el trabajo que ha hecho el país en cuanto a hidrógeno verde, se presentan a nivel cronológico algunos de los hitos más relevantes:

- En el 2011, se firma un convenio de cooperación entre RECOPE y Ad Astra para formular un estudio de factibilidad para el diseño de una planta experimental de producción, compresión y almacenamiento de hidrógeno verde.
- Posteriormente, la iniciativa fue desarrollada por Ad Astra Rocket Company, empresa privada que ha trabajado en el desarrollo de la primera planta piloto de generación y dispensado de hidrógeno verde en el país y en la región Centroamericana. El proyecto que ha sido desarrollado en múltiples fases muestra la factibilidad técnica de generación de hidrógeno verde a partir de la electrólisis del agua utilizando energía renovable. El hidrógeno verde es utilizado en cuatro vehículos livianos de celdas de combustible (FCEV) y en un bus.
- En el año 2018, MINAE conformó la Comisión de Hidrógeno integrada por diferentes representantes de instituciones del sector energético y desarrolló el “Plan de Acción Interinstitucional para propiciar el uso del hidrógeno en el sector transporte”, incluyendo su implementación en el Plan Nacional de Energía 2015-2030 y en el Plan Nacional de Descarbonización.
- En el 2018, el BID aprobó la Cooperación Técnica: “Camino a la Descarbonización: Promoviendo la Economía de Hidrógeno en Costa Rica”, la cual permitió la creación de la “Alianza por el Hidrógeno”, alianza público-privada para promover el desarrollo de oportunidades de negocios de hidrógeno verde y la realización de 3 estudios:
 - i. Evaluación del ciclo de vida de los vehículos eléctricos (hidrógeno y baterías), (2020): el cual encontró que las emisiones de GEI asociadas con el ciclo de vida de los vehículos de baterías y de hidrógeno

se encuentran en el mismo orden de magnitud, por lo que ambos son una vía para la descarbonización del sector transporte en Costa Rica¹⁴.

- ii. Análisis de costo total de posesión de los vehículos eléctricos (hidrógeno y baterías) y escenarios de penetración, (2020): se encontró que el segmento de transporte de carga pesada podría estar fuertemente dominado por la tecnología de celda de combustible (FCEV) en los años a venir debido a su factibilidad técnica y económica. Por otro lado, se identificó que, para los buses, se espera que exista una combinación entre tecnologías de batería y de celdas de combustible en función de los requerimientos de autonomía diaria de cada bus, siendo el de hidrógeno más adecuado para largas distancias (>350 km/día)¹⁵.
 - iii. Estudio de mercado para la identificación del potencial de Costa Rica de Adopción y Producción de Hidrógeno y su impacto macroeconómico, (2021): donde se realizó una estimación del potencial de producción de hidrógeno renovable de Costa Rica y se hicieron estimaciones asociadas a su impacto macroeconómico, mismos que han sido utilizados como información de referencia para esta Estrategia¹⁶.
- Por medio del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), se creó el Comité Técnico Nacional de Hidrógeno en 2020, para la adecuación de las normas y estándares internacionales técnicos utilizados para el diseño de plantas de generación, almacenamiento, transporte, y distribución de hidrógeno verde.

Para el desarrollo de esta Estrategia se han analizado más de 19 documentos además de múltiples reuniones con los principales actores del sector energético de Costa Rica (MINAE, MOPT, SEPSE, BID, CRUSA, ICE, MIDEPLAN, ARESEP, RECOPE, entre otros) para obtener inputs técnicos adicionales para la elaboración de la Estrategia. En el Anexo 4, se muestra un resumen de la información que ha servido como fuente de datos y como referente metodológico para la creación de esta Estrategia.

1.3. Fortalezas de Costa Rica para la adopción del hidrógeno verde

Costa Rica es un país que ha apostado por el medio ambiente, prueba de esto es su matriz eléctrica donde más del 98% de la electricidad proviene de fuentes renovables. Su matriz se presenta como principal fortaleza en cuanto al despliegue del hidrógeno verde.

Adicionalmente, Costa Rica presenta otras fortalezas que serán de gran importancia para el despliegue de las tecnologías del mercado de hidrogeno verde en el país, las cuales fueron identificadas mediante un proceso participativo en el que los actores del ecosistema costarricense (Ministerios, empresas públicas,

¹⁴ BID (2020), Evaluación de Ciclo de Vida de Vehículos Eléctricos. Disponible [en esta liga](#)

¹⁵ BID (2020), Costo total de Posesión de Vehículos Eléctricos. Disponible [en esta liga](#)

¹⁶ BID (2021), Análisis del mercado de hidrógeno verde. Disponible [en esta liga](#)

privadas y academia) expusieron su punto de vista respecto al hidrógeno verde y los habilitadores que tiene el país para su impulso y desarrollo.

Estas fortalezas se resumen en la Figura 3 y se explican a continuación.



Figura 3. Fortalezas de Costa Rica para el despliegue del hidrógeno verde.

1.3.1 Recursos renovables y matriz eléctrica renovable

La **matriz eléctrica costarricense** actual constituye una ventaja para la generación de hidrógeno verde, adicionalmente, el **potencial de generación renovable** será clave para el despliegue del hidrógeno verde, así como la disponibilidad del recurso hídrico de Costa Rica para producirlo

En el camino de la transición energética uno de los primeros pasos que deben dar los países es descarbonizar su matriz de generación eléctrica y posteriormente tomar medidas de electrificación de procesos y adopción de vectores energéticos como el hidrógeno. Ese primer paso es uno que Costa Rica dio hace varios años, logrando en 2021 su sexto año consecutivo con una tasa de energía renovable anual superior a 98%¹⁷.

Contar con una matriz eléctrica renovable **permite adoptar el hidrógeno verde de manera acelerada**. Otros países con matrices eléctricas contaminantes requieren necesariamente del desarrollo de nuevos proyectos de generación renovable para asegurar la calidad “verde” o renovable de su hidrógeno, mientras que Costa Rica podría comenzar con proyectos piloto de **producción de hidrógeno utilizando la red eléctrica**, disminuyendo con eso tiempos de desarrollo de proyectos y el capital de inversión inmediata (CAPEX).

Comenzar la adopción del hidrógeno mediante el uso de la red eléctrica le da a Costa Rica un breve tiempo de planeación para el despliegue de plantas dedicadas de energías renovables aprovechando el potencial eólico y solar que tiene el país. Durante este tiempo de planeación, los actores interesados en el tema podrían desarrollar y aplicar estrategias para la instalación y financiamiento de proyectos integrados de generación renovable y producción de hidrógeno.

Otra ventaja es la posibilidad de producción de hidrógeno híbrida (entre un parque renovable y la red eléctrica) usando la red como un complemento para satisfacer la demanda de energía del electrolizador en momentos de intermitencia de renovables como la solar fotovoltaica y eólica. Esto tiene dos implicaciones: **la capacidad de energía demandada de la red es menor** y el **factor de planta del electrolizador se ve incrementado**, lo que resulta en un hidrógeno de menor costo.

¹⁷ CENCE (2022), Informe Anual CENCE 2021

1.3.2 Posicionamiento geográfico estratégico

Costa Rica posee una **ubicación geográfica** privilegiada con acceso a rutas marinas, próximo a mercados importantes, con **acceso a dos océanos y cercanía al canal de Panamá**.

Ubicado a la mitad de Centroamérica, Costa Rica tiene frontera con Nicaragua y Panamá, contando con dos principales formas de infraestructura de comunicación con ellos: carreteras (incluida la Carretera Interamericana, que comunica al país con el resto del continente) y redes de transmisión eléctrica que conectan a Costa Rica con el Mercado Eléctrico Regional.

A nivel marítimo, Costa Rica cuenta con acceso a dos océanos: el océano Atlántico y el océano Pacífico. Cuenta con 8 puertos marítimos a lo largo de sus costas entre los que destacan¹⁸:

- **Puerto Limón (Atlántico):** concentra casi el 80% de los servicios de fletes marítimos internacionales del país y se conecta con la capital, San José, vía ferrocarril y carretera.
- **Terminal Limón (Atlántico):** puerto designado para la manipulación de mercancías agrícolas, mercancías congeladas, fertilizantes y petróleo.
- **Terminal Moín:** es reconocido como uno de los puertos más eficientes de América Latina en el manejo de contenedores marítimos.
- **Puerto Caldera (Pacífico):** es el segundo puerto marítimo internacional más grande del país. Es la entrada principal para las mercancías importadas provenientes del Pacífico y está conectado por ferrocarril y carretera al interior del país.

Actualmente Costa Rica cuenta en el puerto del Atlántico con infraestructura de importación de petróleo y sus derivados. La producción de hidrógeno verde, aunada a su infraestructura portuaria y a las rutas logísticas de las que Costa Rica participa podrían representar una oportunidad para reconvertir y desarrollar nueva infraestructura para el comercio internacional del hidrógeno verde, el cual podría circular entre Costa Rica y Asia (lado Pacífico) o entre Costa Rica y Europa (lado Atlántico).

1.3.3 Talento humano

Costa Rica cuenta con **capital humano** técnico y profesional competente con experiencia adquirida en grandes proyectos de energía renovable, además cuenta con centros de formación que permitirán desarrollar el talento joven orientado a la industria del hidrógeno.

De acuerdo con el Índice Mundial de Innovación 2021¹⁹, Costa Rica ocupa el tercer lugar entre los países latinos y se encuentra dentro de los **50 países más innovadores a nivel mundial**.

Desde la década de 1990, Costa Rica se ha posicionado como un hub tecnológico y de innovación para América Latina, y prueba de lo anterior es la presencia en el país de grandes empresas del sector de tecnología de la información y comunicación, como Microsoft, Google, HP o Intel, quien tuvo operaciones en

¹⁸ Cargomax International Inc (2022), Puertos marítimos internacionales en Costa Rica.

¹⁹ OMPI (2021), Índice Mundial de Innovación

Costa Rica hasta el año 2014, pero que a pesar de trasladar su planta a Asia, dejó instalado en Costa Rica el “Megalab”, un centro de innovación de la compañía destinado a la exportación de conocimiento.

Costa Rica cuenta también con ecosistemas innovadores en otras áreas, como la aeroespacial, liderada por la empresa costarricense Ad Astra Rocket Company y en sectores como la medicina, agricultura, alimentos y farmacéutica, en donde se producen y exportan productos a más de 100 países.

El éxito en la innovación de Costa Rica ha sido su talento humano, siendo un país con una de las más altas tasas de alfabetización a nivel mundial y con importantes centros de innovación y universidades, las cuales ahora podrían destinar esfuerzos en preparar al capital humano que desarrolle tecnologías en la cadena de valor del hidrógeno.

1.3.4 Marca país verde

La **imagen internacional** de Costa Rica como un **país verde** y ambientalmente responsable le da visibilidad para atraer inversión extranjera y establecer alianzas claves para impulsar el hidrógeno verde en el país.

Durante décadas, Costa Rica se ha posicionado como un país líder en cuidado del medio ambiente a nivel global y en 2020, la nación ha ratificado ese compromiso mediante la actualización de su Contribución Nacionalmente Determinada, abrazando la mayor ambición: lograr su carbono neutralidad en el año 2050.

Adicionalmente, Costa Rica cuenta con la marca “esencial COSTA RICA”, la cual tiene dos ejes estratégicos:

- **Posicionamiento país:** enfocado a destacar las características que describen a los ciudadanos costarricenses: especializados, talentosos, carismáticos, “Pura vida”.²⁰
- **Competitividad país:** enfocado a garantizar que las empresas y productos bajo el sello “Esencial Costa Rica” representan los valores de excelencia, sostenibilidad, innovación, progreso social y vinculación costarricense.

El hidrógeno verde y la marca “esencial Costa Rica” podrían establecer sinergias: por un lado, el hidrógeno es una tecnología alineada al eje estratégico “Competitividad país” que podría fortalecer a la nación en su posicionamiento como país sostenible e innovador, y por el otro lado, el hidrógeno es un producto que podría aspirar al sello “esencial Costa Rica” y hallar un lugar en el comercio internacional tanto de hidrógeno como de sus derivados (amoniaco, metanol, entre otros).

1.3.5 Estabilidad política y marco regulatorio energético

Costa Rica cuenta con una estabilidad política que acompaña con iniciativas y **políticas favorables** para el desarrollo de soluciones ambientalmente amigables con el objetivo de alcanzar su carbono neutralidad en 2050.

El hidrógeno es un tema que se ha analizado en Costa Rica al menos desde el año 2011, cuando las empresas Ad Astra y RECOPE crearon un centro experimental de hidrógeno que derivó años después, con apoyo de

²⁰ Esencial Costa Rica (2022), ¿Qué es la Marca País?

otras organizaciones y empresas, en un proyecto de movilidad que puso en Costa Rica, los primeros cuatro vehículos ligeros de celda de combustible de América Latina.

Más tarde, se crearían en Costa Rica dos entidades para la promoción del Hidrógeno Verde en Costa Rica. La **Asociación Costarricense de Hidrógeno**²¹, como una entidad sin fines de lucro que promueve el uso del hidrógeno como vector energético y las energías renovables y su utilización en aplicaciones industriales, comerciales y domésticas, para propiciar prosperidad a sus asociados y al país en general, ejecutando acciones pertinentes para el logro de este fin. Posteriormente, en 2019, nació la **Alianza por el Hidrógeno**²², una iniciativa para impulsar y desarrollar en Costa Rica el ecosistema del hidrógeno como alternativa de energía sostenible. Ambas iniciativas han contado con el apoyo público y privado, además de la cooperación internacional, para que contribuya con los esfuerzos del país por lograr la descarbonización de la economía y se han desarrollado gracias al ecosistema estable con el que cuenta el país en el sector energético, debido principalmente a su marco regulatorio sectorial.

2. Contexto regulatorio nacional y el rol del hidrógeno verde en la descarbonización de Costa Rica

Costa Rica es un país comprometido con el medio ambiente, prueba de esto es su **Contribución Nacionalmente Determinada** (NDC por sus siglas en inglés). Este documento representa un compromiso voluntario de los países que forman parte del Acuerdo de París y recopila una serie de medidas y acciones en materia climática con el objetivo de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Costa Rica presentó su primera NDC en 2015 y en 2020 hizo oficial su actualización aumentando la ambición del país al comprometerse a tomar acciones alineadas con la meta global de limitar el aumento de la temperatura media mundial a 1.5°C. Entre las metas que plantea esta actualización, dentro del área de acción de Energía, se encuentra la elaboración de una estrategia para el desarrollo y promoción del hidrógeno verde en el país para el año 2022²³.

2.1. Vinculación con políticas, Planes Nacionales y marco regulatorio

En los últimos años se han aprobado varios decretos, directrices y planes que se vinculan directamente con el hidrógeno mediante menciones o acciones específicas. En la Figura 4 se aprecian estas medidas con el paso de los años.

²¹ [Asociación Costarricense del Hidrógeno](#)

²² [Alianza por el Hidrógeno](#)

²³ [Contribución Nacionalmente Determinada de Costa Rica](#), Contribución 3.5

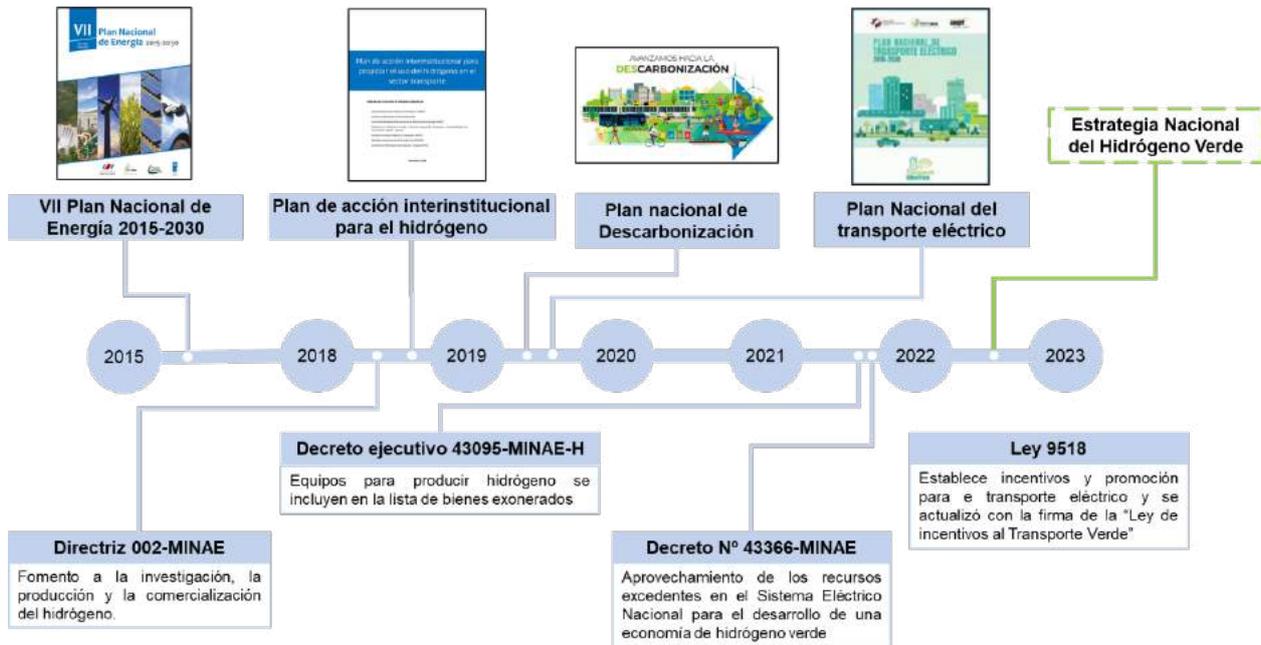


Figura 4. Línea de tiempo de regulación en torno al hidrógeno verde. Fuente: NTT Data (2022); elaboración propia con la información provista por el MINAE.

2.1.1. Planes Nacionales

Plan Nacional de Energía 2015-2030: política energética nacional sustentada en una visión comprensiva e integrada de las principales dimensiones que impactan la realidad energética nacional, además sus objetivos estratégicos se concretan en acciones de corto, mediano y largo plazo. Mediante esta política se reafirma la responsabilidad del Estado de asegurar un abastecimiento energético bajo en emisiones, el cual respete los principios del desarrollo sostenible al procurar equilibrio entre objetivos económicos, ambientales y sociales, de manera que se alcance el bienestar de la población actual sin poner en riesgo ese mismo derecho para las futuras generaciones; contexto dentro del cual, el hidrógeno, como vector energético sustentable viene a contribuir al cumplimiento de metas del plan.

Plan de acción interinstitucional para el hidrógeno: plan de acción construido a nivel interinstitucional a fin de propiciar la investigación, la producción y la comercialización del **hidrógeno como vector energético**.

Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050: documento estratégico que establece actuaciones claves para la **descarbonización de la economía costarricense** y alcanzar el objetivo de ser una economía con **cero emisiones netas** en el 2050. Para alcanzar estos objetivos, el plan define una serie de acciones contenidas en diez ejes de descarbonización y ocho estrategias transversales. Estas acciones se presentan en tres etapas, a) etapa inicial (2018-2022), b) etapa de inflexión (2023-2030) y c) etapa de normalización del cambio o despliegue masivo (2031-2050).

El plan enfoca sus esfuerzos en la electrificación del subsector transporte, tanto para transporte público, vehículos ligeros como vehículos de carga tal y como se recogen en los primeros tres ejes del plan relacionados con la movilidad:

- **Eje 1.** Desarrollo de un sistema de movilidad basado en transporte público seguro, eficiente y renovable, y en esquemas de movilidad activa.
- **Eje 2.** Transformación de la flota de vehículos ligeros a cero emisiones, nutrido de energía renovable, no de origen fósil.
- **Eje 3.** Fomento de un transporte de carga que adopte modalidades, tecnologías y fuentes de energía cero emisiones o las más bajas posibles.

Entre las medidas a destacar se señala “Diseñar y oficializar la Hoja de Ruta para consolidación de clúster de hidrógeno”.

Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030: tomando en cuenta que el transporte es el principal responsable de las emisiones de efecto invernadero en Costa Rica, este plan tiene como objetivo consolidar la electrificación del transporte nacional promoviendo el uso de **fuentes limpias y renovables de energía para reducir la dependencia de los combustibles fósiles**. El hidrógeno verde podría contribuir al cumplimiento de objetivos de este plan mediante su uso en vehículos de celda de combustible en los segmentos de carga pesada, de transporte público de larga distancia e incluso, podrían explorarse oportunidades de aplicación en movilidad ligera en aplicaciones de uso intensivo, como taxis, vehículos de reparto, entre otros.

2.1.2. Leyes y directrices

Directriz 002-MINAE (2018): establece la instrucción de crear un plan de acción articulado en las instituciones del sector ambiente y energía a efectos de desarrollar acciones para propiciar la **investigación, la producción y la comercialización del hidrógeno** como combustible.

Decreto ejecutivo 43095-MINAE-H (2018): actualización de la **lista oficial de bienes exonerados** conforme al artículo 38 de la Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía, Ley N°7447 del 03 de noviembre de 1994 y sus reformas (se **incluyen equipos para la producción de hidrógeno verde**).

Decreto N° 43366-MINAE (2021): política para el **aprovechamiento de los recursos excedentes** en el Sistema Eléctrico Nacional para el desarrollo de una economía de hidrógeno verde. Dicho decreto tiene como objetivo promover e incentivar una economía de hidrógeno verde en Costa Rica mediante el establecimiento de orientaciones para el desarrollo de un marco regulatorio por parte de la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), que facilite a las empresas distribuidoras aprovechar los excedentes del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), mediante su gestión comercial.

Ley 9518 (2018): ley que establece los incentivos y promoción para el transporte eléctrico, fue actualizada recientemente tras la firma de la Ley 10209, en junio del 2022 “Ley de Incentivos al Transporte Verde” que reforma el capítulo tres estableciendo una exoneración gradual del impuesto independiente del valor del auto eléctrico con el objetivo de fomentar la adquisición y el uso de vehículos eléctricos. Es importante anotar que esta ley abarca los vehículos de hidrógeno dado que define vehículos eléctricos como: “todo bien mueble impulsado con energía cien por ciento eléctrica o con tecnología de cero emisiones y que no contenga motor de combustión”.

2.2. Rol del hidrógeno para descarbonizar Costa Rica

De acuerdo con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de 2017²⁴, el 55% de las emisiones de GEI de Costa Rica provienen del sector energía, de las cuales, el 76% provienen del subsector transporte (o el equivalente al 42% de las emisiones nacionales) en el cual se ha identificado que el hidrógeno verde tiene un importante potencial de abatimiento, principalmente en los segmentos pesados, como el transporte de carga y los autobuses de pasajeros.

Dentro de la misma categoría, Energía, el Inventario Nacional de Emisiones identifica a la industria como la responsable de más de 1800 Gg de CO_{2eq}, correspondientes a casi el 8% de las emisiones a nivel nacional y en este sector, el hidrógeno verde también tiene un potencial rol como sustituto de los combustibles fósiles en procesos térmicos. Es claro que existen diferentes opciones tecnológicas y que serán los mercados quienes definirán la opción seleccionada, sin embargo, el hidrógeno se vislumbra como opción especialmente en aquellos casos de altas temperaturas (>400°C)²⁵ donde alternativas como la electrificación de procesos y el uso de calor por concentración solar, enfrentan retos tecnológicos.

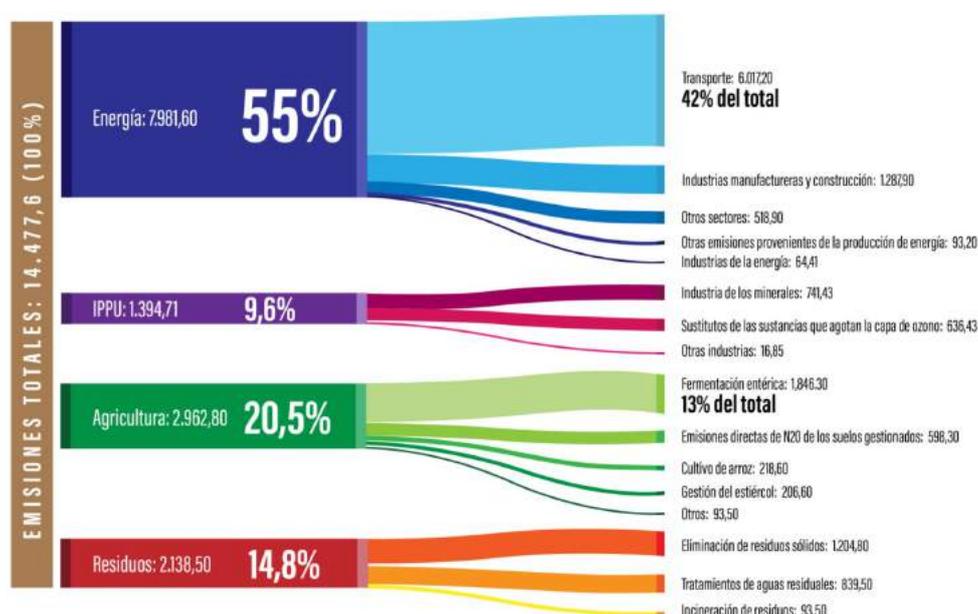


Figura 5. Inventario Nacional de Emisiones de GEI de Costa Rica (Gg de CO_{2eq}). Fuente: MINAE (2021): Nuevo Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero

Para reducir estas emisiones, el **Plan Nacional de Descarbonización** de Costa Rica se alinea con el objetivo más ambicioso del acuerdo de París: un **escenario de aumento de temperatura de 1,5 °C** el cual plantea una **descarbonización neta total a 2050**. El documento plantea la reducción de las emisiones de diversos sectores tal y como se aprecia en la Figura 6, alcanzando cero emisiones netas con el aporte del bloque de agricultura, ganadería y silvicultura que contempla la absorción de dióxido de carbono en las plantaciones forestales.

²⁴ MINAE (2017), Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero

²⁵ IEA (2018), Clean and efficient heat for industry

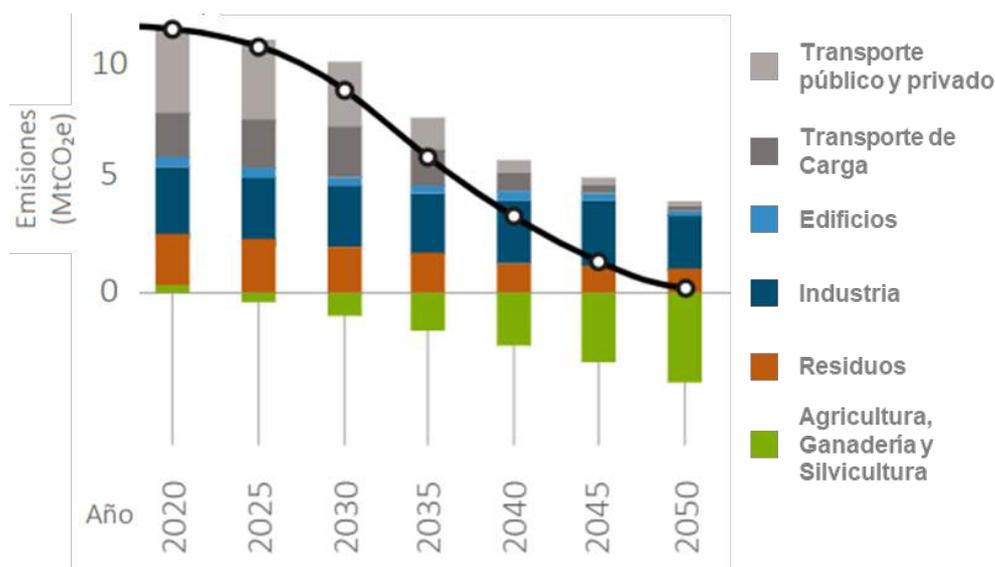


Figura 6. Reducción de emisiones de Costa Rica a 2050. Fuente: Dirección de Cambio Climático, MINAE (2019): Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

En la figura destaca el aporte del sector de Agricultura, Ganadería y Silvicultura debido a la absorción de CO₂.

Considerando la taxonomía que el inventario de emisiones de Costa Rica presenta y las ambiciones del país en cuanto a la reducción de emisiones, el hidrógeno se posiciona como una alternativa más para descarbonizar el país, ya que son precisamente la movilidad y su uso como energético en la industria, dos de los nuevos usos del hidrógeno que mayor penetración verán en los siguientes años. De acuerdo con el Hydrogen Council²⁶ para el 2050, el hidrógeno en el sector transporte podría representar 28% de la demanda global y en la energía en la industria podría alcanzar el 20%.

De acuerdo con el análisis hecho al Inventario de Emisiones de GEI y al potencial que el hidrógeno tiene de ser adoptado en dos de los tres sectores más contaminantes del país, es que esta Estrategia identifica al **transporte y a la industria** como los **sectores clave** para el **hidrógeno en Costa Rica**.

3. Producción de hidrógeno verde

La planeación alrededor del hidrógeno verde, parte de una caracterización de las formas en que un país podría producir esta sustancia y de los usos que se le pudiera dar al hidrógeno obtenido. En esta sección, se analizan los recursos con los que cuenta Costa Rica para producir su hidrógeno, el volumen de dichos recursos y el costo del hidrógeno que podría resultar de cada fuente de energía.

3.1. Potencial de energía renovable

Fuentes renovables de Costa Rica para la producción de hidrógeno

- **Sistema Eléctrico Nacional:** Costa Rica cuenta con una matriz de generación prácticamente descarbonizada que puede ser utilizada para la producción de hidrógeno en etapas tempranas de la adopción. En el 2021 el porcentaje de generación renovable representó el 99,92% y la “Política para el aprovechamiento de los recursos excedentes en el Sistema Eléctrico Nacional para el desarrollo

²⁶ Hydrogen Council (2017), Hydrogen scaling up

de una economía de hidrógeno verde”²⁷ señala que, en Costa Rica existe una **capacidad excedente** de generación (capacidad ociosa existente, una vez atendida la demanda y criterios de seguridad operativa según las mejores prácticas internacionales), que podría ser aprovechada para desarrollar proyectos de producción de hidrogeno verde.

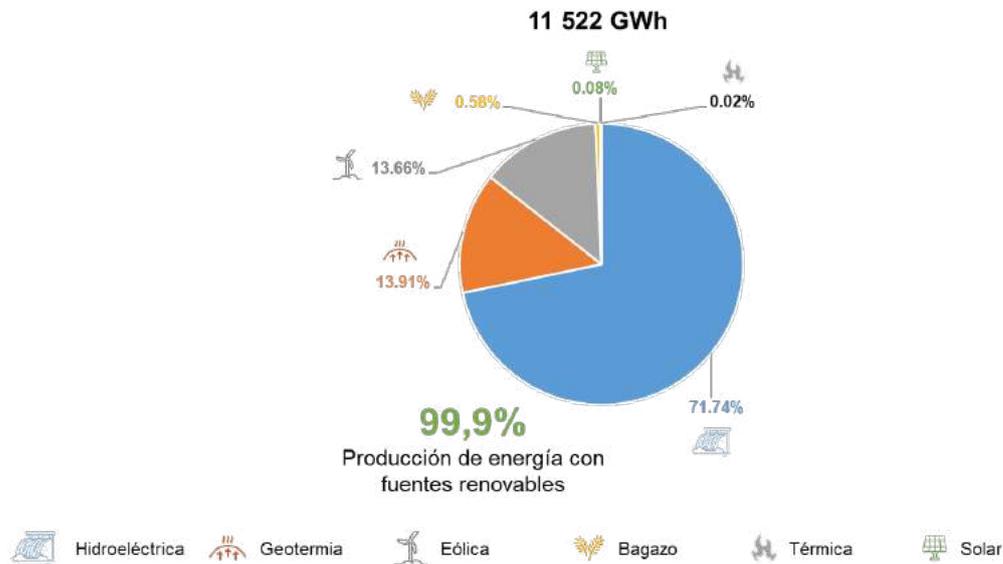


Figura 7 - Matriz eléctrica de Costa Rica en 2021. Fuente: ICE (2022): Informe de atención de demanda y producción de energía con fuentes renovables 2021

- **Solar fotovoltaica:** el potencial teórico técnico de Costa Rica para este recurso es de 180 TWh/año, lo que equivale a una capacidad instalada de aproximadamente 95 500 MW. (Capacidad instalada en Costa Rica al cierre del año 2021, sin tomar en cuenta la generación distribuida: 5,4 MW²⁸)
- **Eólica:** el potencial teórico técnico del país para generar electricidad a partir de energía eólica es de 25 TWh/año, correspondiente con una potencial capacidad instalada de 5 360 MW. (Capacidad instalada en Costa Rica al cierre del 2020: 393,5 MW²⁹)

²⁷ MINAE (2021), Política para el aprovechamiento de los recursos excedentes en el Sistema Eléctrico Nacional para el desarrollo de una economía de hidrógeno verde

²⁸ ICE, Centro Nacional de Control de la Electricidad (2021), Informe anual de la operación del Sistema Eléctrico Nacional.

²⁹ CEPAL (2021) Estadísticas del subsector eléctrico de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), 2019 y avances a 2020

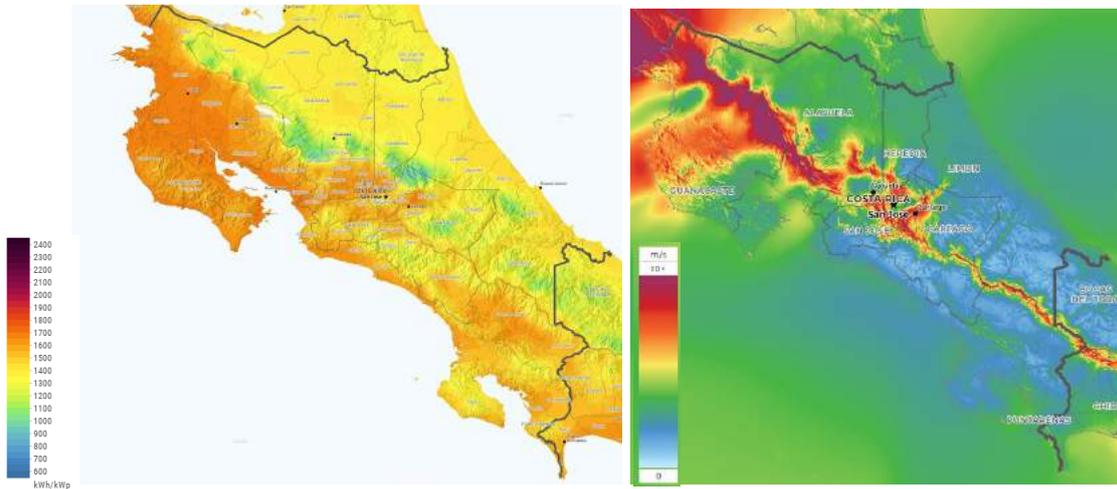


Figura 8. Mapa del potencial solar (izquierda) y eólico (derecha) de Costa Rica. Fuente: World Bank (2022), Global Solar Atlas y Global Wind Atlas

- **Geotermia e hidroelectricidad:** Las energías hidroeléctrica y geotérmica no se han estudiado por separado debido a que sus costos son mayores que los de las energías solar fotovoltaica y eólica y a que su mayor valor está en ser energías de despacho base del SEN. En esta Estrategia, su potencial en Costa Rica para la producción de hidrógeno se considera dentro de la red eléctrica, a través del aprovechamiento potencial de excedentes (que incluyen capacidad instalada ociosa, así como el derrame de embalses en época lluviosa o la excedentaria de hidroelectricidad de filo de agua). (capacidad instalada en Costa Rica al cierre del 2020: Hidroelectricidad: 2331,3 MW Geotermia: 261,9 MW³⁰)

3.2. Producción de hidrógeno verde en 2030 y 2050

Se han elegido como fuentes de energía para la producción de hidrógeno verde, a la capacidad instalada ociosa del SEN³¹, la eólica y la solar fotovoltaica por ser las formas de energía de más fácil despliegue, las que mejores proyecciones de costo de electricidad tienen hacia 2050 y para las cuales, Costa Rica presenta un potencial suficiente para satisfacer su demanda de hidrógeno verde.

De acuerdo con lo descrito para la producción de electricidad renovable en Costa Rica, la producción de hidrógeno ha sido modelada bajo dos escenarios:

- 1) **Escenario “Desarrollo Acelerado del Hidrógeno”:** Se presenta como el escenario de mayor decremento de costos. En él, el hidrógeno y las fuentes de energía renovable avanzan bajo una dinámica acelerada de desarrollo: las renovables, como la eólica y la solar, decrecen de costo por su aumento en la oferta y por su mejora tecnológica y cada vez se demanda más hidrógeno al ser un combustible accesible de bajo costo de producción, como consecuencia de la reducción de costos mencionada.

³⁰ ICE (2021), Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2020 - 2035

³¹ El LCOH con excedentes del SEN asume disponibilidad de excedentes en los años proyectados. La tarifa eléctrica de estos excedentes ha sido proyectada por NTT Data a partir de datos del Plan de Expansión de la Generación Eléctrica del ICE e información de tarifa de Usuarios Directos (T-UD) de ARESEP. El rango de valores representa el costo marginal y las últimas estimaciones de T-UD publicadas.

- 2) **Escenario “Desarrollo del Hidrógeno *Business as Usual* (BAU)”**: Este es un escenario más conservador, que prevé importantes decrementos de costos en 2030 y 2050 respecto a 2022, pero cuya trayectoria es menos drástica durante la década de los 2020 y principios de los 2030. En este escenario el impacto del hidrógeno en la trayectoria de costos de las fuentes de energía renovable es menor y, por tanto, el hidrógeno también tiene curvas de decremento de costos más conservadoras que el escenario Desarrollo Acelerado del Hidrógeno.

Ambos escenarios se utilizan, tanto para la proyección de costos de la energía renovable, como para la proyección de costos de producción de hidrógeno, de modo que **ambos valores son presentados en bandas o intervalos**.

Se han elegido las fuentes de energía para la producción de hidrógeno a la capacidad instalada ociosa del SEN³², la eólica, y la solar fotovoltaica por ser las formas de energía de más fácil despliegue, las que mejores proyecciones de costo de electricidad tienen hacia 2050 y para las cuales, Costa Rica presenta un potencial suficiente para satisfacer su demanda de hidrógeno **sin poner en riesgo el suministro de electricidad y otros procesos de electrificación proyectados en el plan de descarbonización y planes energéticos del país**.

Para estudiar el costo de producción de hidrógeno verde en Costa Rica, esta Estrategia usará el concepto de “Costo nivelado de producción de hidrógeno”, abreviado como LCOH por sus siglas en inglés (*Levelized Cost Of Hydrogen*). El LCOH se define como el costo de producción del hidrógeno de una planta, expresado en valor presente, considerando todos los gastos asociados a la construcción y operación de la planta, así como otros elementos necesarios para producir el hidrógeno. Los componentes del LCOH pueden resumirse como Costo de la electricidad (LCOE), costo de operación (OPEX) y costos de inversión (CAPEX).

³² El LCOH con excedentes del SEN asume disponibilidad de excedentes en los años proyectados. La tarifa eléctrica de estos excedentes ha sido proyectada por NTT Data a partir de datos del Plan de Expansión de la Generación Eléctrica del ICE e información de tarifa de Usuarios Directos (T-UD) de ARESEP. El rango de valores representa el costo marginal y las últimas estimaciones de T-UD publicadas.

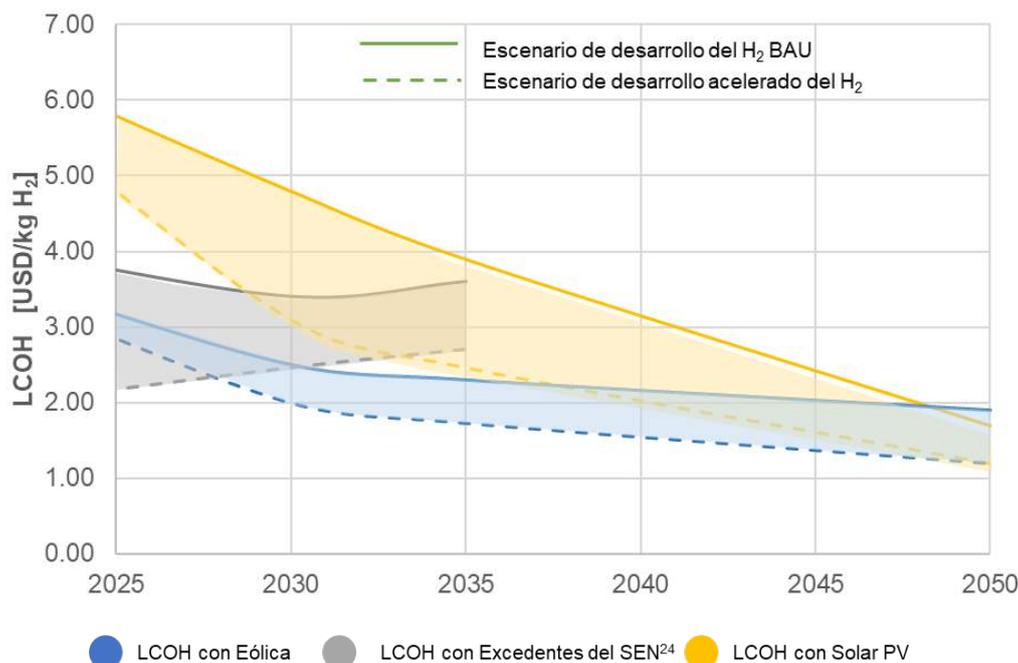


Figura 9. Costos nivelados de producción de hidrógeno (LCOH) en Costa Rica (2022-2050). Fuentes: NTT Data (2022): Cálculos propios ajustando valores del Estudio de Mercado BID 2021; ICE (2018): Plan de Expansión de la Generación, Decreto N° 43366-MINAE

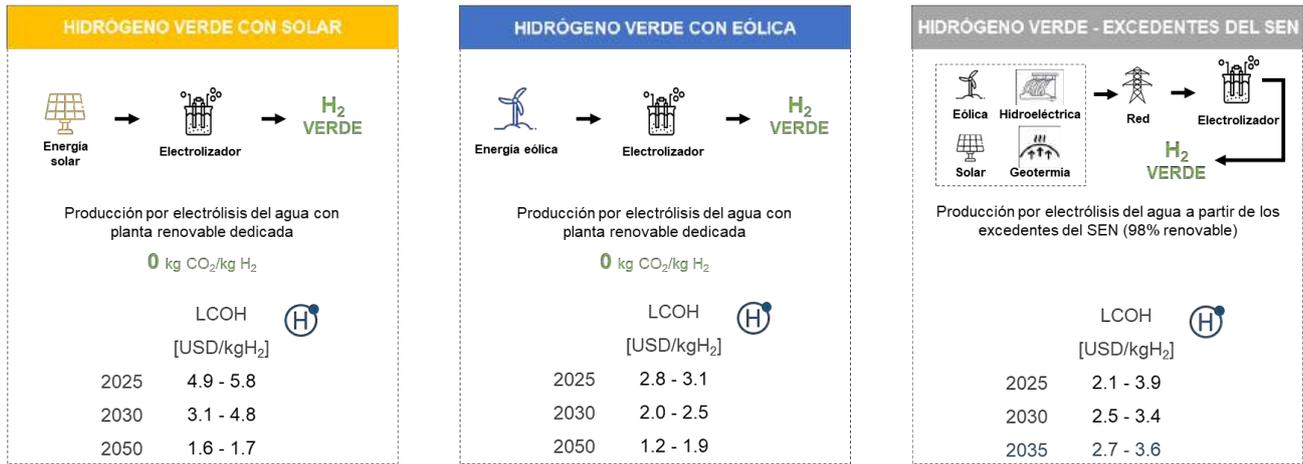
Las trayectorias descritas por las franjas del costo nivelado de producción de hidrógeno permiten distinguir tres periodos:

- En el **corto plazo**, entre el 2025 y el 2030 el costo de **energía eólica** está en la banda de costos del uso de excedentes de electricidad, a través de la red eléctrica. El costo del hidrógeno (LCOH) con energía eólica en 2025 está entre los 2,8 y 3,1 USD/kg, mientras que, usando los excedentes de la red eléctrica, el hidrógeno podría costar entre 2,1 y 3,9 USD/kg.
- Para el **mediano plazo**, en la década de 2030, la energía **eólica será más barata** que la red eléctrica, de modo que la relevancia de la red eléctrica está en la década de los 2020's, cuando podría ser más barata que las renovables variables.
- El **largo plazo** de la producción de hidrógeno, desde mediados de la década de los 2040 y en lo posterior, podría tener como fuente de energía más barata a la **solar fotovoltaica**, siendo esta además la que tiene un **mayor volumen potencial** de generación en Costa Rica.

Es importante destacar que **no debe ser una preocupación la competencia que se pudiera dar entre las demandas de electricidad para producir hidrógeno y la que se requiere para electrificación de otros usos** (movilidad eléctrica y electrificación de la industria), ya que esta Estrategia promueve junto con el hidrógeno, la **creación de nueva capacidad de generación eléctrica renovable**.

En la Figura 10 se presenta un resumen de los resultados del costo de hidrógeno verde (LCOH) en Costa Rica, a partir de las tres fuentes analizadas para los dos escenarios seleccionados:

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN COSTA RICA



*El valor inferior y superior de LCOH esta determinado por los escenarios considerados

Figura 10. Formas de producción de hidrógeno en Costa Rica. Fuente: NTT Data (2022)

4. Demanda de hidrógeno verde

En Costa Rica, **actualmente existe una demanda de hidrógeno muy pequeña**, debida principalmente a tres empresas en los rubros alimenticio (grasas hidrogenadas), de dispositivos médicos (uso no especificado) y del sector siderúrgico (proceso de galvanizado). Estos tres actores identificados satisfacen su demanda mediante el uso de electrolizadores de mediana capacidad, alimentados de energía de la red eléctrica, acumulando 475 kg/día³³ o lo que es equivalente, unas **170 toneladas anuales de hidrógeno**, las cuales ya se pueden considerar verdes o de bajas emisiones al proceder de la matriz eléctrica >98% renovable de Costa Rica.

El inexistente potencial de remplazo de hidrógeno fósil por hidrógeno verde en Costa Rica supone que la demanda futura del país estará dada por los nuevos usos y aplicaciones del hidrógeno, tales como la movilidad, el calor industrial o los combustibles sintéticos. A la vez, la disponibilidad de hidrógeno verde en Costa Rica podría acarrear el desarrollo de industrias como la de los fertilizantes nitrogenados, que actualmente no se producen en Costa Rica, o la incorporación de nuevos procesos en las industrias siderúrgica o de vidrio plano.

Existen actualmente algunas iniciativas piloto en estudio para activar la demanda de hidrógeno verde en Costa Rica, como la liderada por GIZ en el marco del programa de apoyo “NAMA Facility” donde uno de los objetivos es adquirir 10 camiones de carga impulsados por hidrógeno verde y alquilarlos a operadores de transporte de mercancías para demostrar la viabilidad y beneficios de la tecnología³⁴.

Para estimar la demanda futura de hidrógeno en Costa Rica, se han producido tres posibles escenarios: **(1) Potencial de hidrógeno**, que representa el volumen máximo de hidrógeno que Costa Rica podría adoptar localmente (LCOH utilizado: Desarrollo Acelerado del Hidrógeno), **(2) Plan Nacional de Energía con Estrategia de Hidrógeno Verde**, que representa la evolución energética planteada por el PNE, usando al hidrógeno como vector de descarbonización, de acuerdo con lo establecido en esta Estrategia (LCOH

³³ Información obtenida mediante entrevistas realizadas por NTT Data (2022)

³⁴ GIZ (2022): NAMA Support Project: Green hydrogen for a decarbonized economy in Costa Rica

utilizado: Desarrollo Acelerado del Hidrógeno) y **(3) Plan Nacional de Energía sin Estrategia de Hidrógeno Verde**, donde el país logra los lineamientos del PNE, pero el hidrógeno no recibe estímulos adicionales, ni hay cambios regulatorios en Costa Rica para promoverlo (LCOH utilizado: Desarrollo del Hidrógeno BAU).

Esta Estrategia usa el Escenario Plan Nacional de Energía con Estrategia de Hidrógeno, como el escenario de planeación de metas y ambiciones en el hidrógeno verde.

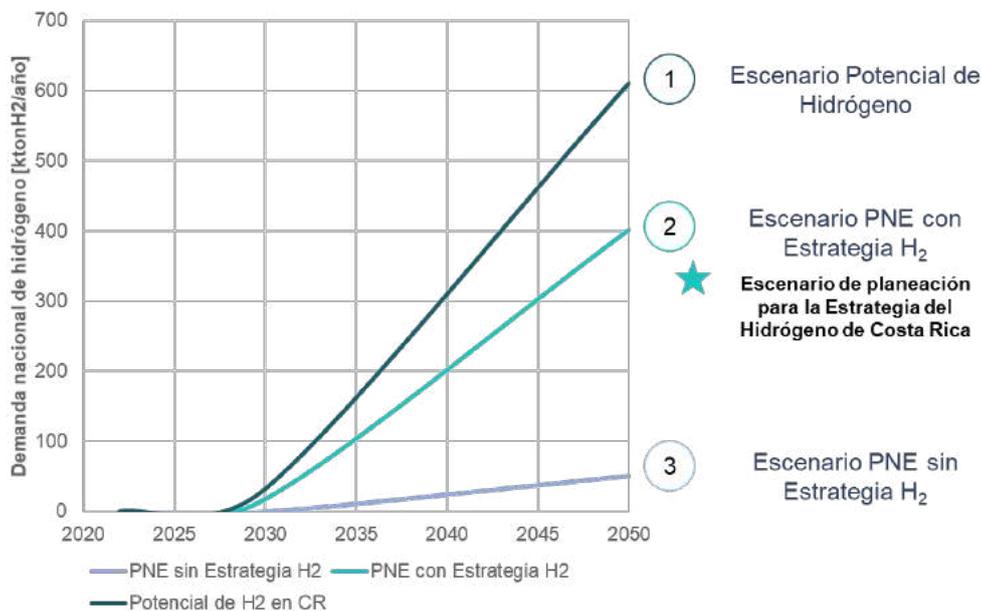


Figura 11. Escenarios de demanda de hidrógeno verde en Costa Rica (2022 - 2050). Fuente: NTT Data (2022), Elaboración propia con datos del BID & CRUSA (2021), Análisis del mercado global de hidrógeno verde y de UCR (2020), Modelado del Plan Nacional de Energía y análisis de impactos sobre el sector energético y eléctrico

4.1. Demanda por sectores 2030 y 2050

En el **sector transporte**, se han identificado **cinco segmentos** relevantes para Costa Rica: el transporte ligero, el transporte público de pasajeros en buses, el transporte de carga pesado, el transporte aéreo y el transporte marítimo.

El **sector industrial** se ha dividido en **dos categorías**: la del **calor industrial** y la de uso de hidrógeno como **insumo químico en la industria**; y para cada una de ellas, se han identificado actividades estratégicas que observar.

El calor industrial encuentra en el hidrógeno verde a un potencial vector de descarbonización en las actividades de producción de **madera**, producción de **papel**, producción de **químicos** y **otras industrias** (de acuerdo con la clasificación de actores industriales de SEPSE³⁵).

Por su parte, el hidrógeno como insumo químico en la industria, actualmente tiene una demanda modesta en Costa Rica (170 toneladas anuales), sin embargo, se identifica que el desarrollo de un mercado de hidrógeno verde en el país podría atraer el desarrollo de actividades como la producción de **fertilizantes y amoníaco**, **procesos siderúrgicos**, producción de **vidrio** y producción de **aceites vegetales y grasas hidrogenadas**.

³⁵ SEPSE (2022), Balance energético de Costa Rica 2021



Figura 12. Sectores objetivo de adopción del hidrógeno verde en Costa Rica

4.1.1. Transporte

Para esta Estrategia se ha clasificado al transporte en tres categorías: el transporte terrestre, transporte aéreo y el transporte marítimo.

Entre los tres tipos de transporte que se estudiaron, se identifica al terrestre como la primera prioridad para Costa Rica, debido a su alto volumen de emisiones de GEI, correspondiente al 42% de las emisiones del país, según el Inventario Nacional de Emisiones de 2017. En segundo orden de prioridad se ha identificado al transporte aéreo, el cual contribuye con menos del 2% de las emisiones de Costa Rica, y finalmente, se observa al transporte marítimo, el cual ahora no tiene un mercado en Costa Rica³⁶, pero que podría representar una oportunidad para desarrollar un nuevo mercado.

La **demanda de hidrógeno del sector transporte podría alcanzar las 16 ktonH₂/año en 2030 y hasta 378 ktonH₂/año en 2050.**

a. Transporte terrestre

El transporte es un sector estratégico para la descarbonización de Costa Rica y dentro de él se identifican tres grandes segmentos:

- **Automóviles ligeros:** donde el hidrógeno tendrá un nicho en vehículos de alta tasa de uso, como taxis, vehículos policía, etc. **En 2050 este sector representaría en torno al 5% de la demanda de hidrógeno del sector transporte.**
- **Transporte público de pasajeros:** donde el hidrógeno tendrá un rol complementario a los buses eléctricos a baterías. Podrán existir autobuses destinados a rutas de largo alcance (>400 km/día) y a rutas de bajo a medio alcance (<400 km/día), debido principalmente a las limitaciones en autonomía de alternativas de movilidad cero emisiones como las baterías.

³⁶ NTT Data (2022) a través de entrevistas con RECOPE y MINAE.

- **Transporte de carga:** donde el hidrógeno tendrá un rol determinante en la descarbonización. Ante los desafíos técnicos de peso y volumen de las baterías en este segmento, se prevé que el hidrógeno tenga un papel relevante. **Este segmento, englobado junto con el de transporte público de pasajeros, se consideran segmentos pesados y en conjunto, representarían en 2050 más del 60% de la demanda de hidrógeno del sector transporte.**

b. Transporte aéreo

El transporte aéreo actualmente no presenta demanda de hidrógeno, ni en Costa Rica, ni en otros países del mundo. Con la perspectiva tecnológica actual, la descarbonización del sector de la aviación se vislumbra a través de dos alternativas: **biocombustibles y combustibles sintéticos.**

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía³⁷, en 2050, los combustibles sintéticos podrían representar hasta el 16% de la demanda energética del sector, lo que le daría a Costa Rica la oportunidad de **producir hasta 35 ktonH₂/año y dedicarlos a la síntesis de jet-fuel sintético.**

c. Transporte marítimo

Este segmento es uno que actualmente no tiene un mercado en Costa Rica. Los navíos que hoy visitan el país no recargan combustible en él. Este segmento ha sido identificado como una oportunidad a estudiar a detalle más adelante, para cuantificar su tamaño y el impacto que tendría en Costa Rica participar de este mercado regional a través de amoniaco, metanol y otros biocombustibles.

4.1.2. Calor Industrial

El hidrógeno en el sector del calor industrial tiene un rol como sustituto de combustibles fósiles, principalmente el gas licuado de petróleo (LPG), queroseno y búnker.

En este sector, el hidrógeno tiene su mayor potencial en las aplicaciones de altas temperaturas (>400°C) donde alternativas como la electrificación o la concentración térmica solar presentan retos técnicos.

Hacia 2050, el hidrógeno podría representar entre el 6 y 10% de la demanda energética industrial, reemplazando hasta el 35% del LPG y del búnker a nivel nacional³⁸ en actividades como la producción de madera, de papel, de químicos y en otras industrias como la de acero o cemento. **La demanda de hidrógeno del sector en 2030 podría alcanzar 2 ktonH₂/año y para 2050, podría ascender a 25 ktonH₂/año.**

4.1.3. Insumo Químico Industrial

El hidrógeno como insumo químico actualmente tiene una demanda muy pequeña en Costa Rica, sin embargo, el país podría ver un desarrollo de industrias que consuman hidrógeno como resultado de la disponibilidad de esta sustancia. Algunas oportunidades se observan en:

³⁷ IEA (2020), Energy Technology Perspectives 2020

³⁸ Cálculos de demanda realizados por NTT Data (2022), considerando el tamaño de mercado de la energía industrial estimado en UCR (2020), Modelado del Plan Nacional de Energía y análisis de impactos sobre el sector energético y eléctrico

- **Producción de fertilizantes:** Costa Rica es un importante productor de alimentos que actualmente importa fertilizantes nitrogenados. El uso de hidrógeno verde para producir fertilizantes verdes abre una oportunidad de fortalecer la marca país de Costa Rica en el sector agrícola.
- **Manufactura de productos de acero:** Costa Rica cuenta con una industria del acero pequeña, en comparación con otros países latinoamericanos. Costa Rica tiene procesos de manufactura, trefilería y laminado de acero. Se identifica una oportunidad para incrementar la capacidad de la industria del acero en el país mediante la adopción de hidrógeno verde en procesos existentes o nuevos.
- **Producción de vidrio:** Costa Rica cuenta con fábricas de vidrio que producen botella para el consumo local y regional centroamericano. Se podría aprovechar la disponibilidad de hidrógeno renovable para participar en el mercado del vidrio plano / vidrio flotado.
- **Producción de grasas hidrogenadas:** Costa Rica es un importante productor de aceite de palma y otros aceites vegetales. Se podrían producir derivados de los aceites vegetales, a través de su hidrogenación dentro de Costa Rica.

4.1.4. Generación eléctrica y otros

El hidrógeno presenta otros usos, principalmente en la cadena de valor del sector eléctrico para los cuales se vislumbra un potencial menor a los sectores transporte e industria en Costa Rica. Estos usos son:

- **Almacenamiento de energía y gestión de redes:** el hidrógeno tiene importantes aplicaciones en el almacenamiento de energía estacional y como mitigante de la intermitencia de las renovables variables, sin embargo, Costa Rica aún cuenta con potencial hidroeléctrico y geotérmico con altos factores de capacidad, que podrían ayudar a gestionar la intermitencia ante la incorporación de un volumen importante de renovables variables a futuro.
- **Uso residencial:** el hidrógeno es capaz de proveer de calor y electricidad a nivel residencial, sin embargo, esta aplicación tiene poco espacio en Costa Rica dado el 99,4% de índice de cobertura eléctrica del país³⁹.

La demanda de hidrógeno se encuentra fundamentalmente en el transporte y la industria, considerando que son sectores prioritarios para la descarbonización de Costa Rica y que la demanda del sector ya existe, y actualmente es satisfecha por alguna alternativa fósil.

La demanda de hidrógeno de los sectores Insumo Químico Industrial y Generación Eléctrica son demandas no existentes actualmente en el país. La reducida demanda de hidrógeno, como materia prima, se satisface mediante pequeños electrolizadores y la generación eléctrica, en términos de despacho base, está dada por las hidroeléctricas de embalse y por plantas geotérmicas. En el largo plazo, sin embargo, estos sectores son una posibilidad de desarrollo de nuevos mercados para el hidrógeno en Costa Rica.

³⁹ ICE (2019), Índice de cobertura eléctrica 2019

4.2. Demanda total a 2030 y 2050

La **demanda de hidrógeno** prevista para Costa Rica en el **2030** es de **entre 18 y 20 ktonH₂/año**, misma que para **2050** podría alcanzar las **420 ktonH₂/año**.

El sector transporte proyecta a ser el principal demandante de hidrógeno, tanto en 2030 como en 2050, donde representará el 89 y 91% de la demanda nacional de hidrógeno, respectivamente, lo que podría representar entre un 30 y 35% de la demanda energética del sector en 2050.

En el sector de calor industrial, el hidrógeno podrá representar en 2050 hasta 6% de la demanda total de hidrógeno de Costa Rica, lo que representa entre un 6 y 8% de la demanda energética del sector. El resto de la descarbonización del sector puede ser lograda usando otras tecnologías.

La demanda nacional de hidrógeno podría aumentar si Costa Rica adopta procesos donde este se consuma como materia prima en insumos industriales. Los sectores de almacenamiento de energía y generación eléctrica tendrán menores potenciales en Costa Rica, dada su matriz eléctrica (hidroelectricidad y geotermia).

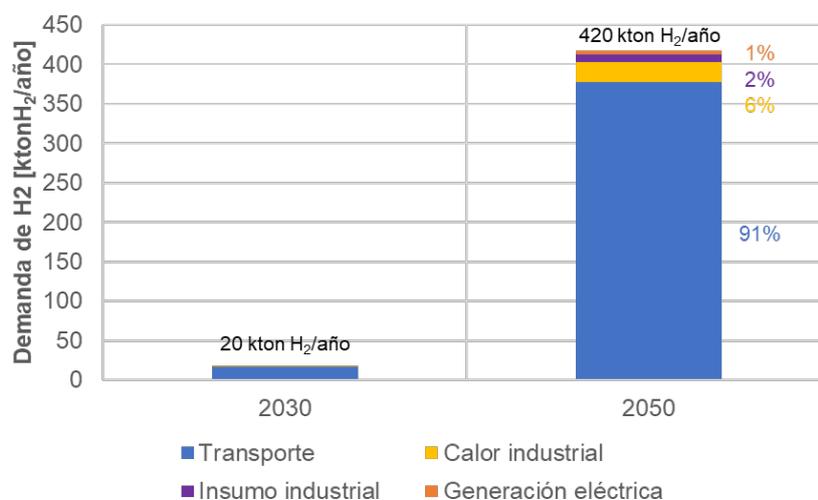


Figura 13. Demanda nacional de hidrógeno en Costa Rica (2030 y 2050)

5. Estrategia y horizonte a largo plazo

El desarrollo de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde consistió en un proceso colaborativo que involucró a diferentes actores del ecosistema costarricense. A través de la **ejecución de un plan de socialización** que contó con la realización de **talleres, entrevistas y consultas** en las que participaron los principales actores a nivel público y privado de Costa Rica, con potencial relación con el hidrógeno verde, se recopilaron las ideas claves aportadas que permiten definir los componentes de la estrategia (el detalle del plan de socialización se encuentra en el Anexo 2).

5.1. Componentes fundamentales de esta Estrategia Nacional de Hidrógeno

Para el desarrollo de la presente Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde, se han establecido una misión, una visión y valores rectores que han marcado la pauta para el establecimiento de metas y desarrollo de un

Plan de Acción para materializar la ambición de Costa Rica alrededor de la adopción del hidrógeno verde en el país.

Visión: tomando en cuenta los objetivos del país en cuanto al desarrollo de hidrógeno, las fortalezas de Costa Rica y la ambición de los distintos actores del ecosistema costarricense, la visión a 2050 presenta una imagen de cómo será Costa Rica en el 2050:

“Costa Rica produce hidrógeno verde de manera competitiva aprovechando su matriz eléctrica renovable, contribuyendo a la descarbonización de los sectores transporte e industria, la independencia energética, y al crecimiento económico, y se posiciona como un hub regional de conocimiento y tecnología”

Misión: para alcanzar la visión se establecen tres objetivos alineados a aspectos relevantes de la cadena de valor de hidrógeno como lo es la producción, demanda y además un aspecto transversal con componentes económicos y sociales:

- Producir **hidrógeno verde de manera competitiva** promoviendo su **cadena de valor** y proyectos de **energías renovables en Costa Rica** manteniendo la **matriz eléctrica renovable**.
- Contribuir a la **reducción de emisiones de GEI** a través de la **activación de la demanda de hidrógeno** en los sectores de transporte e industria.
- **Crear de un hub regional de mercados y empleos** que aprovechen el **talento humano** nacional para impulsar el **crecimiento económico y bienestar social**.

Valores y principios: por último, se definen una serie de valores y principios que deben acompañar a la implantación de la estrategia identificando 4 categorías distintas:

- **Valores sociales:** cooperación, honestidad e inclusión social.
- **Valores morales:** transparencia, competitividad y respeto.
- **Valores intelectuales:** calidad, justicia e innovación.
- **Valores ecológicos:** sostenibilidad, bien común y compromiso con el medio ambiente.

A nivel global se prevé que entre 2030 y 2050, la mayor parte de aplicaciones del hidrógeno verde ganarán competitividad sobre las alternativas fósiles y convencionales, e incluso que, durante la década de 2040, el hidrógeno sea comparable con el precio del gas natural o del GLP cuando se les compare en dólares por unidad energética.

Con ese contexto, la ambición al 2050 es que el hidrógeno represente un mercado maduro y un pilar del Costa Rica descarbonizado. En 2050, los ciudadanos, empresas y organizaciones de Costa Rica podrán elegir entre tecnologías cero emisiones para satisfacer sus necesidades y el hidrógeno representará una opción confiable, con disponibilidad de abasto a nivel nacional. La capacidad de producción de hidrógeno será planeada del modo en el que actualmente se programa la demanda eléctrica o de hidrocarburos del país.

Además, Costa Rica se convertirá en un **hub tecnológico de capital humano especializado en transición energética, descarbonización e hidrógeno** para apoyar a otros países de la región América Latina y del mundo para alcanzar sus metas de mitigación del cambio climático, del modo en que Costa Rica las habrá alcanzado.

Adicionalmente, Costa Rica se halla entre dos océanos, posición que la sitúa como una oportunidad potencial de convertirse en un nodo de comercio marítimo y exportación. Asimismo, podría jugar un rol como acompañamiento al hub logístico de Panamá que pudiera existir en torno al sector marítimo, especialmente también por la cercanía al canal.

5.2. Metas estratégicas 2030

El hidrógeno es actualmente una tecnología en etapas tempranas de adopción en todo el mundo. El desarrollo de la tecnología y del mercado de hidrógeno verde depende fuertemente del compromiso de los actores interesados, para superar retos que aún existen a nivel técnico y económico, es por ello por lo que se establecen las siguientes metas estratégicas para Costa Rica en el 2030.

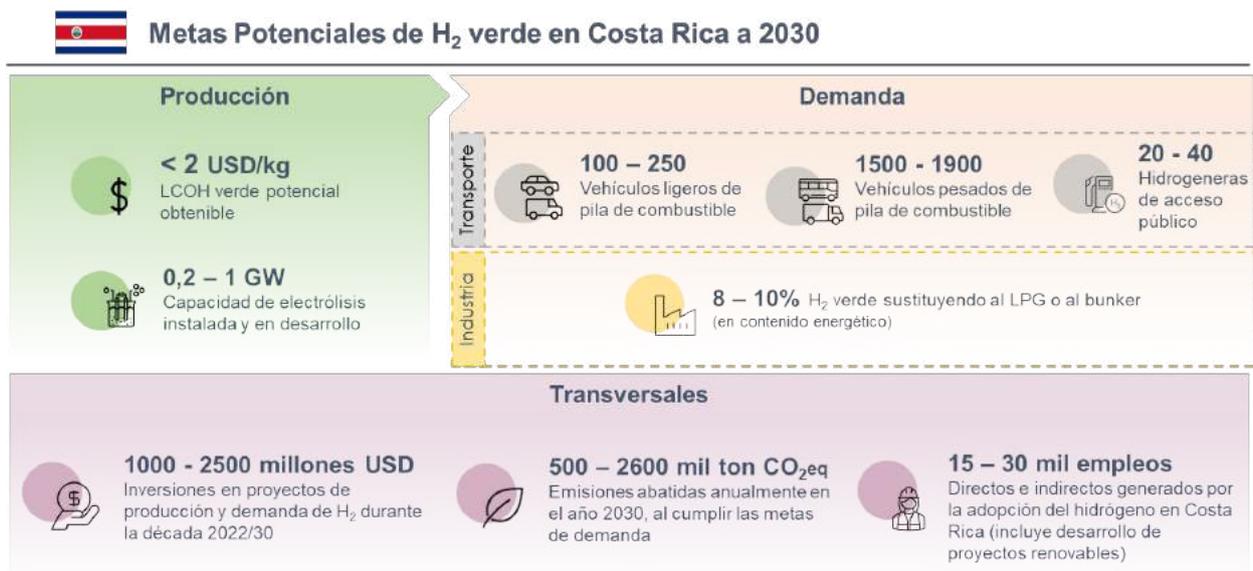


Figura 14. Metas estratégicas de Costa Rica para la adopción del hidrógeno en 2030

5.2.1. Producción de hidrógeno

Se plantean metas para la producción de hidrógeno verde en dos ejes: la **capacidad instalada** de electrólisis y el **costo de producción** del H₂.

- Alcanzar entre **200 y 1000 MW de capacidad de electrólisis instalada y en desarrollo** para 2030. Esta meta considera a todos los tipos de electrólisis disponibles en el mercado, tiene foco en la demanda nacional para contribuir a descarbonizar el sector transporte e industria, e incluye la posibilidad de desarrollo de proyectos de exportación de hidrógeno.
- Alcanzar **costos potenciales de producción de hidrógeno verde producido mediante electrólisis menores a 2 USD/kg de H₂**. Este costo no está limitado al uso de fuentes renovables específicas.

5.2.2. Demanda de hidrógeno

En cuanto a la demanda de hidrógeno de Costa Rica, se establecen metas en dos sectores económicos: el **transporte** y la **industria**.

- Flota de **entre 150 y 250 vehículos ligeros de pasajeros y de carga liviana** de celda de combustible dedicados principalmente al transporte de pasajeros como taxis, o al servicio público a través de flotas oficiales (por ejemplo: vehículos de policía) a través de proyectos de promoción y socialización tecnológica.
- Flota de **entre 1500 y 1900 vehículos pesados** de celda de combustible de hidrógeno, que podrán ser una combinación de buses de transporte público de pasajeros y camiones de carga pesada, que en alineación con los ejes 1 y 3 del Plan de Descarbonización, contribuyan a reducir las emisiones de este sector.
- Red de recarga de hidrógeno vehicular de **entre 30 y 40 estaciones**, las cuales deberán ser ubicadas en los principales centros de demanda del país, de acuerdo con la adopción de los vehículos ligeros y pesados, y deberán ser de acceso público para fomentar la adopción acelerada de más vehículos impulsados por hidrógeno, en todos los segmentos de la movilidad terrestre.
- Reemplazo de **entre 8 y 10% del LPG o búnker**, estimado sobre la base del contenido energético. Este reemplazo podrá ser en procesos de mezcla de hidrógeno con hidrocarburos o a través de la adopción de equipo dedicado al consumo de hidrógeno puro (calderas, hornos u otros equipos industriales).

5.2.3. **Metas transversales**

Derivado de las metas de producción y de demanda de hidrógeno de Costa Rica, se plantean las siguientes metas transversales en inversión y reducción de emisiones de GEI.

- **Inversión de entre US\$ 1000 y US\$ 1200 millones**, desplegados desde la publicación de esta Estrategia y hasta el 2030, los cuales podrán ejecutarse indistintamente en proyectos de producción, consumo o despliegue de infraestructura logística para el hidrógeno en Costa Rica. Estas inversiones podrán provenir del sector privado, del público o de participaciones público-privadas, según amerite cada proyecto desarrollado.
- **Reducción de entre 500 mil y 650 mil toneladas de CO₂ equivalente por año**, alcanzadas en 2030, como consecuencia de la adopción del hidrógeno en el país: tanto en los sectores estratégicos establecidos en esta Estrategia, como en aquellas industrias identificadas como oportunidades de creación de mercados.
- **Creación de entre 20 mil y 30 mil empleos directos e indirectos** asociados a la adopción del hidrógeno en el país. Los empleos se generarán a lo largo de la cadena de valor del hidrógeno verde, desde el desarrollo de proyectos de generación eléctrica renovable hasta el mantenimiento de sistemas de consumo de este gas, como los buses de transporte público.

6. Plan de acción. Habilitadores de la Estrategia

Para alcanzar las metas estratégicas a 2030 y la ambición a 2050, es necesario implementar una serie de acciones que se presentan en este apartado. Se trata de un mapa de actuación, elaborado a partir de las entrevistas y consultas hechas a los principales actores a nivel público y privado de Costa Rica, con potencial relación con el hidrógeno verde.

6.1. Mapa de actuación

Las acciones por llevar a cabo se estructuran según su ámbito de actuación identificando tres ejes principales, alineados con la misión y visión del hidrógeno en Costa Rica, y un eje transversal de condiciones habilitantes donde se concentran las acciones que podrían habilitar la creación de este mercado en el país:

Eje transversal - Condiciones habilitantes:

Condiciones habilitantes incluye todos los aspectos relacionados con crear las condiciones que permitan el desarrollo e implementación del hidrógeno verde en Costa Rica, enfocadas en lograr el cumplimiento de los objetivos de descarbonización.

Ejes de la estrategia:

- **Eje 1: Descarbonización del sector transporte e industria:** su objetivo es la integración del hidrógeno verde y sus derivados en los sectores transporte e industria, para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional.
- **Eje 2: Desarrollo de un hub tecnológico:** acciones encaminadas a convertir al país en un hub tecnológico mediante la atracción de socios comerciales y tecnológicos para el desarrollo de emprendimientos, negocios, innovación y empleos asociados al hidrógeno; tal que permita el aprovechamiento y desarrollo de ventajas competitivas a nivel nacional y en la región.
- **Eje 3: Exportación de hidrógeno:** iniciativas para el desarrollar capacidades, infraestructura, alianzas y procesos de aseguramiento de la calidad, que permitan a Costa Rica incursionar en el mercado internacional del hidrógeno verde, con el propósito de viabilizar la producción nacional que contribuya a la descarbonización y contribuir al desarrollo económico.

En la siguiente figura se observan los ejes definidos con sus líneas de acción.

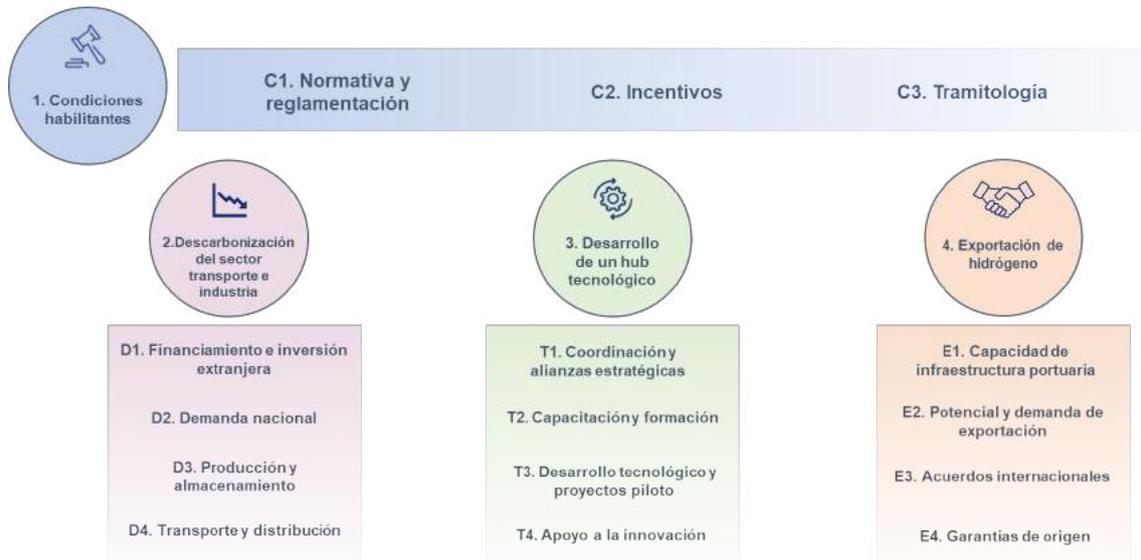


Figura 15. Ejes de actuación de la Estrategia del Hidrógeno Verde de Costa Rica.

Adicionalmente, se establecen tres fases de implementación ubicadas en distintos horizontes temporales que se describen a continuación

- **Fase 1. Establecer las bases del hidrógeno verde en Costa Rica:** Activar la industria doméstica y generar las bases sólidas para crear un mercado competitivo de hidrógeno en Costa Rica. Se incluyen acciones a realizar en un lapso de corto plazo (periodo de aproximadamente 2 años), tales como definición de leyes, normativas, elaboración de estudios técnicos específicos, evaluación de la infraestructura y proyecciones de mercado, así como planes de capacitación, con el objetivo de establecer unos cimientos sólidos para el correcto desarrollo del mercado.
- **Fase 2. Habilitar y escalar el desarrollo del mercado:** Una vez creado el ecosistema las tareas orientadas a promover el uso del hidrógeno y crear todo lo necesario para esto. Estas medidas serán llevadas a cabo en el corto/medio plazo (periodo entre 2 y 10 años). Las primeras medidas se enfocan en incentivar y potencializar a los primeros participantes, favoreciendo el camino para la entrada al mercado y mitigando el riesgo. Se buscará conseguir el escalado del hidrógeno a lo largo de toda la cadena de valor.
- **Fase 3. Monitorear y habilitar nuevos nichos:** La generación de capacidades a gran escala será una realidad en este momento. Acciones para realizar en el medio/largo plazo, con objeto de dar seguimiento y garantizar la correcta implementación de las medidas de los periodos anteriores, así como hacer posible la entrada del hidrógeno en aquellas aplicaciones de menor madurez. Esta fase de monitoreo se considera en medio/ largo plazo, ya que se tratará de acciones que se realizarán cíclicamente.

6.2. Condiciones habilitantes del hidrógeno verde en Costa Rica

En lo que respecta a las **Condiciones habilitantes del hidrógeno verde en Costa Rica** se han identificado tres líneas de acción prioritarias:

- Normativa y regulación
- Incentivos
- Tramitología.

Para habilitar el mercado, Costa Rica se plantea 15 acciones descritas a continuación.



Condiciones habilitantes

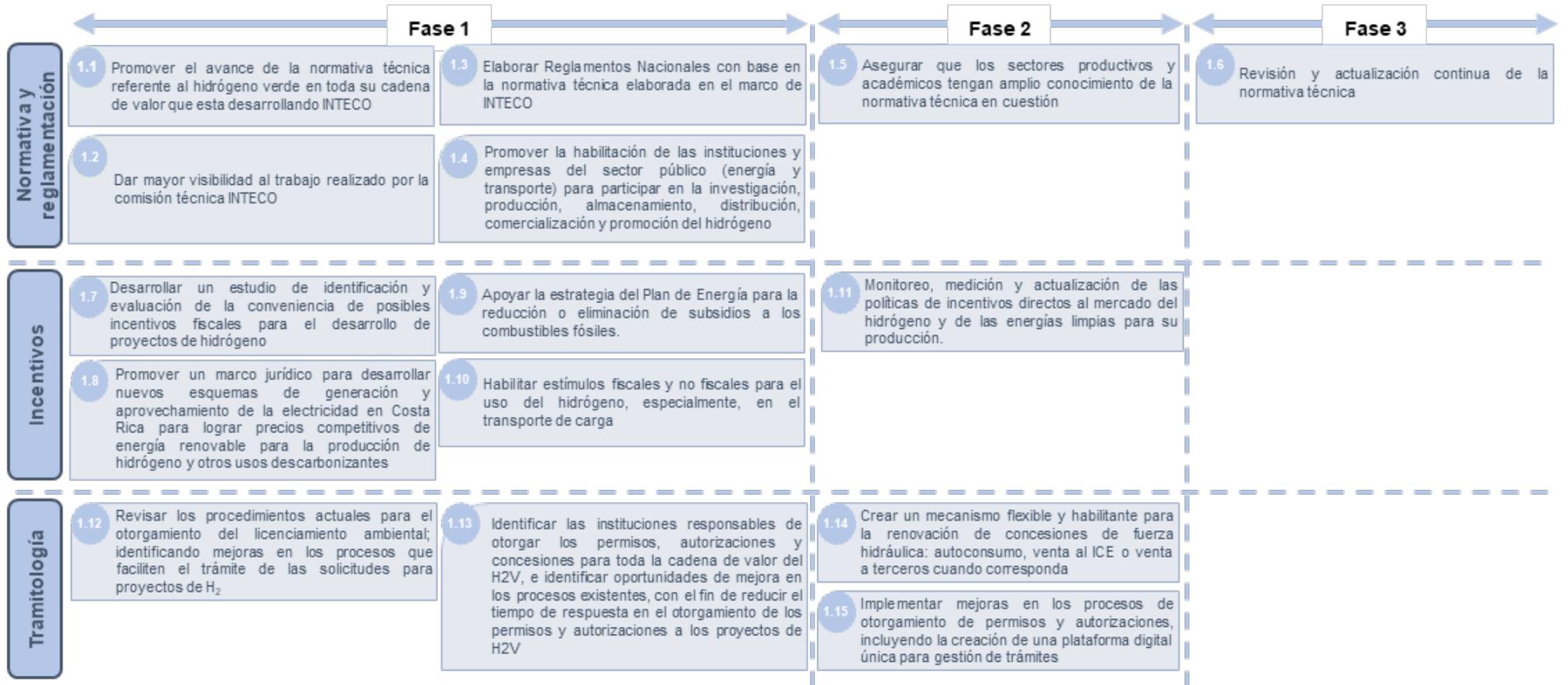


Figura 16. Bloque 1. Condiciones habilitantes

C1. Normativas y permisos

- **Fase 1**

- 1.1. Promover el avance de la normativa técnica referente al hidrógeno verde en toda su cadena de valor que está desarrollando INTECO

En el marco de la calidad, INTECO coordina un grupo de trabajo para homologar normativas técnicas internacionales referentes a aspectos de seguridad en la producción, transporte, distribución y uso final del hidrógeno adaptándolas al contexto costarricense. Se debe brindar el apoyo requerido para que este proceso de homologación continúe avanzando y finalice con el objeto de facilitar el desarrollo de proyectos con una normativa técnica clara y vigente.

- 1.2. Dar mayor visibilidad al trabajo realizado por la comisión técnica INTECO

Las normativas aprobadas por el INTECO se encuentran disponibles a través de su página web, es necesario difundir entre los actores que no están participando en la homologación de la normativa, la información correspondiente a este trabajo.

- 1.3. Elaborar Reglamentos Nacionales con base en la normativa técnica elaborada en el marco de INTECO para garantizar seguridad

En Costa Rica, las normativas técnicas creadas en el marco de INTECO tienen carácter voluntario. La obligatoriedad se establece mediante un Reglamento Técnico Nacional, por lo que para garantizar aspectos de seguridad en toda la cadena de valor y crear condiciones claras para su operación, se deben identificar aquellas normativas claves que deben ser oficializadas para permitir el impulso de proyectos relacionados con el hidrógeno.

- 1.4. Promover la habilitación de las instituciones y empresas del sector público (energía y transporte) para participar en la investigación, producción, almacenamiento, distribución, comercialización y promoción del hidrógeno

El sector público costarricense se conforma por ministerios y entidades públicas dependientes, las cuales están encargadas de ejecutar políticas y proyectos específicos que contribuyan con el desarrollo del país en distintas áreas, entre las que se destaca el sector energético. Tales instituciones y empresas deberán ser un actor clave de la creación del mercado de hidrógeno en Costa Rica, considerando el tamaño de ellas, su alcance y el alto nivel de impacto que puede impregnar su liderazgo al sector.

- **Fase 2**

- 1.5. Asegurar que los sectores productivos y académicos tengan amplio conocimiento de la normativa técnica y la reglamentación en cuestión

Tomando en cuenta que se desarrollarán proyectos de hidrógeno, tanto a nivel académico, como en empresas, es necesario que todos los actores conozcan la normativa técnica y su impacto en la actividad o iniciativa que se encuentren desarrollando.

- **Fase 3**

1.6. Revisión y actualización continua de la normativa técnica

Los parámetros de seguridad y de operación en cualquier industria van cambiando a medida que la tecnología avanza, adaptándose a nuevos procesos y estándares, por lo que se hace necesario realizar una revisión de la normativa técnica establecida por el INTECO con una periodicidad constante garantizando estar alineadas con las principales normativas y lineamientos internacionales.

C2. Incentivos

- **Fase 1**

1.7. Desarrollar un estudio de identificación y evaluación de la conveniencia de posibles incentivos fiscales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno

Los incentivos fiscales permiten el fomento a la generación de una economía de hidrógeno verde en sus etapas iniciales y mayoritariamente a las fases de investigación y producción.

Los paquetes de incentivos fiscales deben contar con estudios suficientes para determinar si con ellos se logra la efectiva promoción de la actividad. Esta valoración puede realizarse vía análisis de impacto normativo.

1.8. Promover un marco jurídico para desarrollar nuevos esquemas de generación y aprovechamiento de la electricidad en Costa Rica para lograr precios competitivos de energía renovable para la producción de hidrógeno y otros usos descarbonizantes

Siendo la energía renovable un elemento que comprende entre el 50 y hasta el 65% del costo de producción del hidrógeno verde, se hace indispensable proveer a los actores interesados de mecanismos que apoyen el despliegue de proyectos de generación eléctrica renovable dedicados para la producción de hidrógeno en Costa Rica.

Se ha identificado que la promoción a las fuentes de energía renovable demandará cambios en el marco jurídico del sector energético y eléctrico del país. Estos cambios deberán promover nuevos esquemas de generación de electricidad, así como mecanismos de consumo flexibles que permitan complementar las capacidades de la red eléctrica con la capacidad de las nuevas plantas. Los cambios que se suscriban en el marco regulatorio del sector energético y eléctrico deberán contar con reglas claras y promover la competitividad para lograr precios de energía competitivos.

1.9. Apoyar la estrategia del Plan de Energía para la reducción o eliminación de subsidios a los combustibles fósiles.

En materia de combustibles, el sector de hidrocarburos cuenta con la Política Sectorial para los precios de gas licuado de petróleo, búnker, asfalto y emulsión asfáltica” (Decreto Ejecutivo N° 39437-MINAE) cuyo propósito fue definido en el artículo 2 que indica:

“Artículo 2°-La Política constituye el marco orientador para lograr que los precios de venta de Gas Licuado de Petróleo, Bunker, Asfalto, Emulsión Asfáltica a partir del 2016 tengan una relación con respecto al precio internacional similar a la vigente en el período 2008-2015, en el tanto no exista disponibilidad de combustibles alternativos más limpios a precios competitivos y no haya capacidad de suministro de los mismos a nivel nacional.”

En 2022, dicha política fue modificada mediante el Decreto Ejecutivo N°43576 para sacar al asfalto y a las emulsiones asfálticas de los productos subsidiados, sin embargo, el subsidio al búnker y al gas licuado de petróleo se mantuvo.

En Costa Rica se tiene aún una alta dependencia de los hidrocarburos y el subsidio a algunos de ellos representa un estímulo para el desarrollo de actividades industriales y residenciales, principalmente, por lo que la supresión de los subsidios no podría ser una acción inmediata, ya que impactaría a sectores clave de la población. El proceso de eliminación de subsidios debe responder a una gestión articulada industria – gobierno que permita su sustitución paulatina, hasta que los nuevos energéticos sean un sustituto económicamente viable.

En esta línea, se debe realizar los estudios correspondientes que permitan trazar la ruta hacia una eliminación de los subsidios en un plazo razonable, así como analizar la creación de mecanismos de "compensación" de impactos negativos a los actores afectados por la reducción de subsidios a los combustibles fósiles

1.10. Habilitar estímulos fiscales y no fiscales para el uso del hidrógeno, especialmente, en el transporte de carga.

Debe establecerse una serie inicial de incentivos fiscales y no fiscales a la cadena de valor de hidrógeno verde, incluido el uso final en actividades como el transporte. En esta misma línea, la ley de incentivos y promoción para el transporte eléctrico también incorpora incentivos para el transporte cero emisiones. Ahora bien, conforme avance la implementación del hidrógeno verde, cabe el replanteamiento de nuevos incentivos o facilidades por medio del Plan Nacional de Transporte Eléctrico, de manera que se apliquen nuevos estímulos al proceso de conversión en materia de transporte.

- **Fase 2**

1.11. Monitoreo, medición y actualización de las políticas de incentivos directos al mercado del hidrógeno y de las energías limpias para su producción.

Se debe establecer un monitoreo periódico de las políticas en hidrógeno y relacionadas, revisando la efectividad de los incentivos para su implementación, para adaptar ex post lo necesario para el logro de los objetivos.

- **Fase 3**

Dentro de la línea de acción Incentivos, del eje de Condiciones Habilitantes: no se identifican acciones en la Fase 3, ya que los incentivos se prevén más como una herramienta de corto plazo para activar el mercado del hidrógeno.

C3. Tramitología

- **Fase 1**

- 1.12. Revisar los procedimientos actuales para el otorgamiento del licenciamiento ambiental; identificando mejoras en los procesos que faciliten el trámite de las solicitudes para proyectos de hidrógeno verde

En el marco de la simplificación de trámites, resulta importante que el MINAE, por medio de la Secretaría Técnica Ambiental (SETENA) optimicen procedimientos de tal manera que se ajusten a la categorización de la actividad o proyecto.

- 1.13. Identificar las instituciones responsables de otorgar los permisos, autorizaciones y concesiones para toda la cadena de valor del H2V, e identificar oportunidades de mejora en los procesos existentes, con el fin de reducir el tiempo de respuesta en el otorgamiento de los permisos y autorizaciones a los proyectos de H2V.

Una vez identificadas las instituciones clave en la vinculación con la cadena de valor de hidrógeno verde, corresponde la facilitación de los procesos, de manera que se pueda identificar con claridad qué etapas y actividades en particular debe realizar un interesado para vincularse a la cadena de valor y optimizar estos procesos.

- **Fase 2**

- 1.14. Crear un mecanismo flexible y habilitante para la renovación de concesiones de fuerza hidráulica: autoconsumo, venta al ICE o venta a terceros cuando corresponda.

El otorgamiento de concesiones de fuerza hidráulica debe ser un procedimiento flexible y habilitante para facilitar la renovación a quienes tengan ya una concesión de este tipo y se dé continuidad a la generación de energía eléctrica.

1.15. Implementar mejoras en los procesos de otorgamiento de permisos y autorizaciones, incluyendo la creación de una plataforma digital única para gestión de trámites.

La simplificación de trámites y gestión mediante una ventanilla única, física y digital, promueven la facilitación de los negocios, por tanto, se debe promover desde el MINAE una simplificación de trámites que responda a las necesidades de los actores del proceso.

Basados en este propósito, deberá realizarse una gestión integral de trámites, similar a ventanilla única, donde se logre la articulación interinstitucional para facilitación de los procesos, adaptando y simplificando los procesos a la promoción de la actividad.

- **Fase 3**

Las condiciones habilitantes se prevén como necesarias de habilitar en el corto – mediano plazo, de modo que no se identifican acciones por el momento para el largo plazo.

Identificación de riesgos de las Condiciones habilitantes

Se han identificado una serie de riesgos asociados a la implementación de las acciones de las Condiciones Habilitantes de esta Estrategia del Hidrógeno Verde de Costa Rica, las cuales se pueden observar en la siguiente matriz de riesgo.

Tabla 1 - Matriz de riesgos de las Condiciones Habilitantes

		Severidad de las consecuencias				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Probabilidad de ocurrencia	Muy alta					
	Alta					
	Media			-Insuficiencia de los estímulos fiscales para la activación del mercado de H ₂ -Falta de organización entre los Ministerios y organismos públicos para habilitar las acciones del eje	-Insuficiencia de recursos materiales para ejecutar las acciones del eje	-Sobrerregulación de las actividades de hidrógeno
	Baja		-Aumento en la tramitología de proyectos por aumento de la regulación		-Insuficiencia de recursos humanos para ejecutar las acciones -Desequilibrio de los precios de mercado ante la implementación de una política acelerada para la reducción o eliminación de subsidios a los combustibles fósiles	
	Muy Baja				-Debilitamiento de la seguridad y validación de cumplimiento de requisitos ante la simplificación de procedimientos para otorgar permisos	-Vulneración de los criterios de seguridad técnica y ambiental del SEN ante la creación de mecanismos flexibles para el uso de hidroelectricidad para producción de H ₂ .
Clasificación de impacto de la matriz de riesgos						
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	

Acciones de mitigación para los riesgos identificados para las Condiciones habilitantes

Se propone a continuación una serie de medidas de mitigación para los principales riesgos identificados relacionados con las acciones relacionadas con las Condiciones habilitantes.

Para facilitar la priorización de acciones de mitigación, se han ordenado los riesgos de acuerdo con el impacto identificado en la matriz de riesgos de la Tabla 1.

- **Alto**

-Insuficiencia de recursos materiales para ejecutar las acciones del eje: Se propone como medida de mitigación la planificación de acciones y designación de presupuesto de manera anticipada. Por ejemplo, planificar en 2022 los recursos que demandarán las acciones a desarrollarse en 2023 para dar seguimiento a la Estrategia del Hidrógeno Verde.

-Sobrerregulación de las actividades de hidrógeno: este es un riesgo común en los mercados poco maduros en cuanto a penetración comercial. Se propone como medida de mitigación de este riesgo establecer un diálogo abierto con los desarrolladores de proyectos, a fin de entender a partir de que punto, la regulación comienza a ser un obstáculo en el desarrollo de proyectos. Es recomendable que los actores gubernamentales participando de estos diálogos sean asesorados por expertos externos, a fin de evitar, en el otro extremo, la subregulación de las actividades del hidrógeno verde.

- **Medio**

-Insuficiencia de los estímulos fiscales para la activación del mercado de H₂: al igual que en el riesgo de sobrerregulación, la insuficiencia de estímulos fiscales es un riesgo mitigable a partir del monitoreo constante de avances y diálogos abiertos con las organizaciones desarrolladoras de proyectos. En este caso, el asesor que acompañe al gobierno en los diálogos deberá ser experto en política e incentivos fiscales

-Falta de organización entre los Ministerios y organismos públicos para habilitar las acciones del eje: este riesgo es mitigable mediante la definición clara de responsables, actores participantes de cada institución, acciones de seguimiento y canales de comunicación entre los ministerios. Dicho de otra forma, este riesgo es mitigable mediante la correcta ejecución del Plan de Gobernanza de esta Estrategia.

-Insuficiencia de recursos humanos para ejecutar las acciones: posiblemente, Costa Rica actualmente no cuenta con el número de expertos y especialistas en tecnologías de hidrógeno para cumplir sus metas. Esta Estrategia comprende, en su Eje 2 – Desarrollo de un hub tecnológico de hidrógeno, una serie de acciones que permitirán mitigar este riesgo.

-Desequilibrio de los precios de mercado ante la implementación de una política acelerada para la reducción o eliminación de subsidios a los combustibles fósiles: este riesgo es uno que se manifiesta siempre que los precios de los combustibles fósiles aumentan drásticamente. En el caso de una política de reducción de subsidios, una buena medida de mitigación sería el análisis de impacto de tal reducción y una adopción paulatina del plan, lo cual está considerado dentro de las acciones de esta Estrategia.

-Vulneración de los criterios de seguridad técnica y ambiental del SEN ante la creación de mecanismos flexibles para el uso de hidroelectricidad para producción de H₂: este riesgo es mitigable a través del establecimiento de los criterios mínimos aceptables, que procuren la seguridad técnica y ambiental del SEN, previo a la flexibilización del otorgamiento de permisos. Lo anterior permitirá tener a la vista los parámetros inamovibles en lo que respecta a la generación hidroeléctrica.

- **Bajo**

-Debilitamiento de la seguridad y validación de cumplimiento de requisitos ante la simplificación de procedimientos para otorgar permisos: en ningún caso las simplificaciones en tramitología y en otorgamiento de permisos que se mencionan en esta Estrategia deben suponer un riesgo a la seguridad de la infraestructura y de los ciudadanos del país. El otorgamiento de permisos para el desarrollo de proyectos de hidrógeno debe partir de una lista de criterios mínimos de seguridad que sean inamovibles ante cualquier simplificación de los procesos administrativos.

- **Muy bajo**

-Aumento en la tramitología de proyectos por aumento de la regulación: este riesgo es de muy bajo impacto, ya que su manifestación solo impactaría negativamente el tiempo de desarrollo de proyectos de hidrógeno unas pocas semanas más. Sin embargo, como medida de mitigación, debe cuidarse que la regulación no genere tramites innecesarios, buscando siempre la simplificación de procesos y la reducción de su número de pasos.

6.3. Eje 1. Descarbonización del sector transporte e industria

En el campo de la Descarbonización del sector transporte e industria en Costa Rica se han identificado cuatro líneas de acción prioritarias:

- Financiamiento e inversión extranjera
- Demanda nacional de hidrógeno verde
- Producción y almacenamiento de hidrógeno
- Transporte y distribución de hidrógeno

Para lograr sus objetivos de descarbonización con el uso de hidrógeno verde como vector energético, a través de estas **4 líneas de acción**, Costa Rica se plantea **27 acciones** descritas a continuación.



Descarbonización del sector transporte e industria

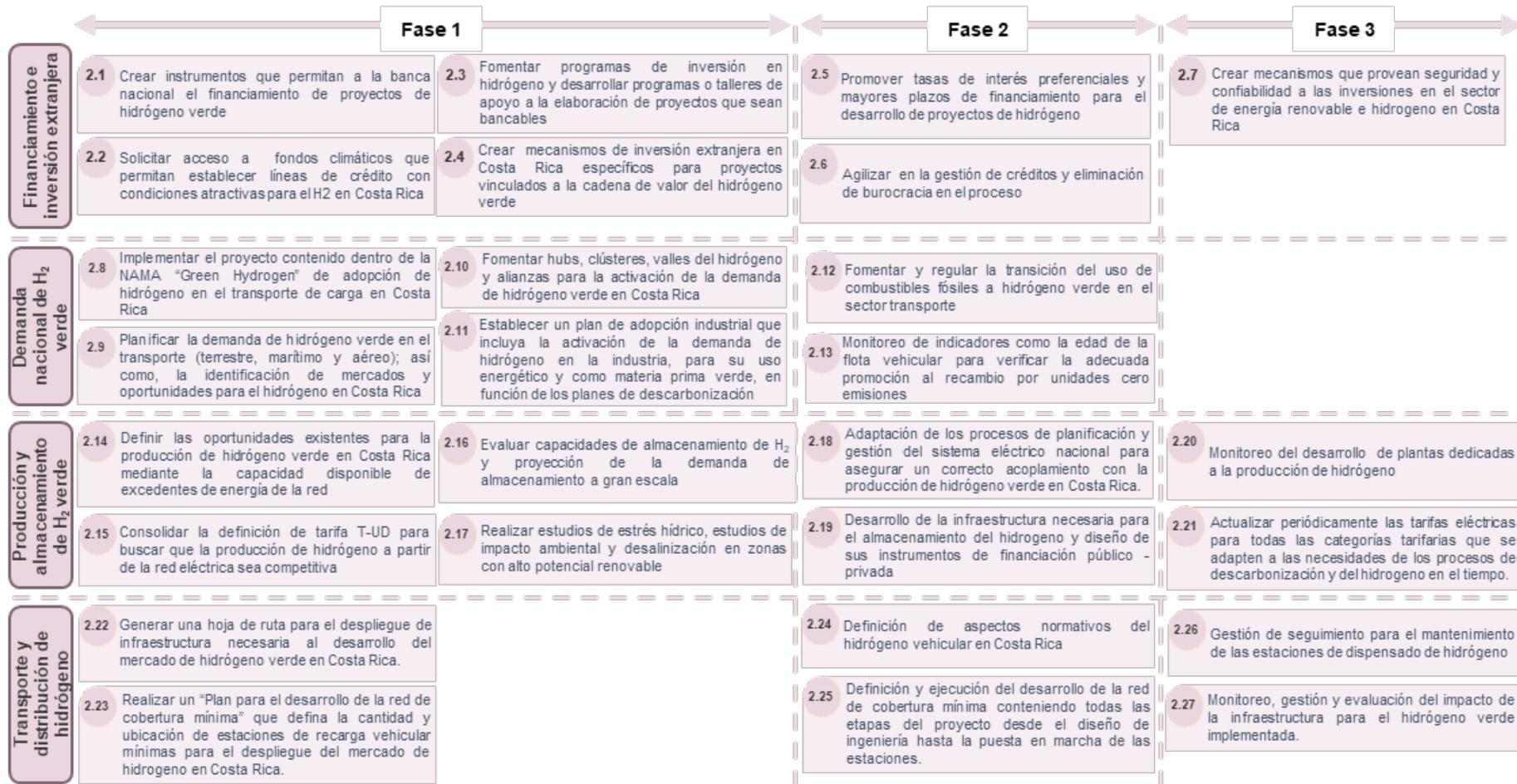


Figura 17. Bloque 2. Descarbonización del sector transporte e industria

D1. Financiamiento e inversión extranjera

- **Fase 1**

2.1 Crear instrumentos que permitan a la banca nacional el financiamiento de proyectos de hidrógeno verde

Hasta ahora, la banca nacional no considera el hidrógeno dentro de su portafolio de proyectos sujetos de financiación. Con esta acción se busca habilitar a esta tecnología como una susceptible de financiamiento público, a través de mecanismos preferentes que permitan a los desarrolladores tener menores costos de financiamiento, a la vez que permitan a la banca pública tener certeza y bajos riesgos sobre las inversiones.

2.2 Solicitar acceso a fondos climáticos que permitan establecer líneas de crédito con condiciones atractivas para el hidrógeno en Costa Rica.

El cumplimiento del Acuerdo de París es altamente dependiente de la disponibilidad de los recursos financieros para planear y ejecutar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático. Aunque Costa Rica no sujetó el cumplimiento de sus NDC a la aprobación de financiamiento climático internacional, se reconoce que el apoyo es de vital importancia.

Siendo el hidrógeno un potencial vector de descarbonización para Costa Rica, esta iniciativa plantea acceder al financiamiento internacional para desarrollar proyectos de hidrógeno en el país. Cabe señalar que, en este ámbito, Costa Rica ha tenido ya su primera experiencia al ser beneficiaria con la primer NAMA de hidrógeno del mundo por parte del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Entre los retos que deberán ser analizados alrededor de esta acción se incluyen que muchos fondos internacionales para el hidrógeno están orientados a usos específicos del hidrógeno que podrían no estar alineados a los intereses de Costa Rica, además de que se ha observado cierto desconocimiento de los postulantes a ciertos fondos con respecto al cumplimiento de los requisitos que se plantean por organizaciones promotoras, lo que hace que los proyectos no sean considerados elegibles, eliminando la opción de aprovechar los fondos disponibles.

El acceso a financiamiento climático internacional establece un compromiso de correcta ejecución del presupuesto en el país, por lo que la creación de una comisión de supervisión del ejercicio del presupuesto es relevante. Transparencia y gobernanza son aspectos críticos para el éxito de Costa Rica en el acceso a fondos climáticos.

2.3 Fomentar programas de inversión en hidrógeno y desarrollar programas o talleres de apoyo a la elaboración de proyectos que sean bancables.

Esta acción tiene dos líneas: la primera está orientada a animar a los inversionistas y actores del sector financiero, tanto público como privado, a profundizar su entendimiento del hidrógeno como vector de descarbonización y destinar capital a proyectos en materia de hidrógeno. La segunda línea está orientada a generar talleres de capacitación y mesas de discusión para transferir a los desarrolladores, cuáles son los criterios de evaluación de proyectos por parte de los inversionistas, de modo que sus propuestas cumplan con lo necesario para ser bancables y que se puedan detonar los proyectos.

2.4 Crear mecanismos de inversión extranjera en Costa Rica específicos para proyectos vinculados a la cadena de valor del hidrógeno verde.

Esta acción es una consecuencia de las iniciativas previas de vinculación con actores internacionales del hidrógeno que deben impulsarse. Su objetivo es atraer inversión extranjera a Costa Rica tanto para el desarrollo de proyectos de producción como de exportación y establecimiento de infraestructura e incluso para asentar compañías dedicadas a la manufactura de equipo en la cadena de valor de este negocio.

- **Fase 2**

2.5 Promover tasas de interés preferenciales y mayores plazos de financiamiento para el desarrollo de proyectos de hidrógeno

El objetivo de esta acción se puede resumir como “bajos costos de financiamiento” los cuales se materializan a través de tasas de interés preferenciales y periodos de pago mayores que permitan al desarrollador de proyectos pagar el crédito de manera más fácil.

Los actores relevantes en esta acción son los bancos públicos y privados, así como otras entidades financieras tales como las responsables de emitir fianzas y seguros. Para que estos entes pueden emitir crédito de bajo costo, el gobierno, a través de sus ministerios, construirá un ecosistema de certidumbre y confianza para el hidrógeno verde en el país.

2.6 Agilizar en la gestión de créditos y eliminación de burocracia en el proceso.

Esta acción tiene como objetivo la reducción de plazos para la obtención de créditos y financiamiento para proyectos de hidrógeno verde. Esto contribuye a la reducción de tiempos de ejecución del proyecto en general y permite que el hidrógeno esté disponible en un menor plazo como energético y materia prima renovable en el país.

Serán los bancos públicos, bancos privados e instituciones reguladoras del sistema bancario en Costa Rica quienes desarrollen mejoras a los mecanismos actuales de gestión de créditos, o incluso nuevos mecanismos.

La reducción de trámites y eliminación de burocracia en el proceso de gestión de financiamiento no debe suponer un adelgazamiento del rigor técnico para la evaluación de proyectos y cumplimiento de criterios para ser sujeto a recibirlos. Para esto, será necesario un dialogo cercano entre los bancos, los reguladores bancarios del país e incluso los desarrolladores de proyectos, de modo que las necesidades de todas las partes sean cubiertas.

- **Fase 3**

2.7 Crear mecanismos de transparencia que provean seguridad y confiabilidad a las inversiones en el sector de energía renovable e hidrógeno en Costa Rica

Para promover la inversión extranjera en el país, es indispensable que exista una atmósfera de confianza y certidumbre jurídica. Para lograrla, la institucionalidad pública debe desarrollar prácticas de transparencia y

apego a la gobernanza. Además, debe contarse con un mecanismo jurídico imparcial que sea capaz de intervenir en la mediación de conflictos comerciales o mercantiles de manera objetiva.

La responsabilidad de esta acción está en manos de los ministerios y los actores del sector público que participarán en habilitar el mercado de hidrógeno en el país.

Costa Rica se caracteriza por ser un país confiable para la inversión y con un mecanismo gubernamental basado en las instituciones y en las leyes, por lo que esta acción no supone un reto mayor para el país.

D2. Demanda nacional de hidrógeno verde

- **Fase 1**

2.8 Implementar el proyecto contenido dentro de la NAMA “*Green Hydrogen*” de adopción de hidrógeno en el transporte de carga en Costa Rica

Como primera acción del bloque de demanda de hidrógeno verde de Costa Rica: se implementará el proyecto de transporte de carga a través de vehículos de celda de combustible. Este proyecto cuenta con financiamiento del programa NAMA *Facility*, el cual tiene como objetivo acelerar el desarrollo neutral en carbono para limitar el aumento de temperatura media del planeta muy por debajo de los dos grados centígrados, efectuando cambios en todo el sector hacia vías sostenibles, irreversibles y neutrales en carbono en los países en desarrollo y las economías emergentes.

El proyecto descrito incluirá un ecosistema tecnológico completo para la producción, acondicionamiento, almacenamiento, dispensado y uso del hidrógeno en camiones de carga. Lo anterior, permitirá sentar las bases y obtener las primeras experiencias hacia la adopción del hidrógeno como un energético relevante para el sector del transporte de carga, de acuerdo con la visión y los ejes de esta Estrategia.

2.9 Planificar la demanda de hidrógeno verde en el transporte (terrestre, marítimo y aéreo); así como, la identificación de mercados y oportunidades para el hidrógeno en Costa Rica.

Considerando que el transporte en Costa Rica es una actividad establecida y que actualmente no demanda hidrógeno, se hace necesaria una planificación cuya principal meta es empatar la demanda y la oferta de este energético en Costa Rica.

La planificación del hidrógeno en los segmentos terrestre, marítimo y aéreo del transporte permitirá a los desarrolladores de proyectos de producción planificar sus nuevas plantas, al tiempo que permitirá conocer la disponibilidad de este energético a los potenciales consumidores.

Para cumplir esta misión, se demandará de información que podría ser proporcionada por el MOPT, a través de la Dirección de Aviación Civil, de la División Marítimo-Portuaria y otras organizaciones del país.

2.10 Fomentar *hubs*, clústeres, valles del hidrógeno y alianzas para la activación de la demanda de hidrógeno verde en Costa Rica

A nivel mundial, se ha reconocido el modelo de clústeres, valles o hubs de hidrógeno⁴⁰ como de gran importancia en las etapas tempranas de adopción del hidrógeno, ya que permite acumular demanda y con ello reducir los costos del hidrógeno, además de permitir el uso compartido de infraestructura de producción, acondicionamiento y transporte del hidrógeno.

La planeación de hubs de hidrógeno en Costa Rica incluye la identificación de sitios, identificación de potenciales usos, cuantificación de la demanda de hidrógeno, de la infraestructura necesaria y la promoción del diálogo entre los actores que participarían de los clústeres.

Los modelos de negocio participativos con gran número de actores involucrados suelen enfrentarse al reto de la coordinación, alineación de intereses y negociación de los beneficios para cada parte. Para sobrepasar ese reto, se identifica como necesario el arbitraje objetivo por parte de actores del sector público de Costa Rica, mismo que deberá estar fundamentado en los principios de gobernanza, transparencia y legislación vigente en el país.

2.11 Establecer un plan de adopción industrial que incluya la activación de la demanda de hidrógeno en la industria, para su uso energético y como materia prima verde, en función de los planes de descarbonización.

Se propone realizar el plan de adopción industrial del hidrógeno a través del trabajo conjunto entre las cámaras industriales y comerciales y el sector público de Costa Rica (ministerios, entes reguladores y otros actores interesados) para identificar los mecanismos mutuamente convenientes para la creación del mercado de hidrógeno en este sector, tanto para su uso energético como para el uso como materia prima verde.

- **Fase 2**

2.12 Fomentar y regular la transición del uso de combustibles fósiles a hidrógeno verde en el sector transporte

Costa Rica cuenta con un ambicioso Plan de descarbonización de su economía, donde el sector transporte ocupa tres de diez ejes de trabajo de este. Para lograr sus metas y permitir que nuevas tecnologías como el hidrógeno ganen participación de mercado será importante crear mecanismos que motiven a la sustitución de combustibles fósiles por alternativas cero emisiones, como pueden ser subsidios al precio de los nuevos combustibles, restricciones al tránsito de vehículos de combustión (paro de circulación uno o dos días por semana) y otros beneficios como el uso de carriles o aparcamientos especiales para los vehículos cero emisiones.

2.13 Monitoreo de indicadores como la edad de la flota vehicular para verificar la adecuada promoción al recambio por unidades cero emisiones

⁴⁰ Los hubs, clústeres o valles de hidrógeno son ecosistemas territoriales de adopción de hidrógeno como vector de descarbonización. Son regiones localizadas dentro de un país o dentro de una ciudad que tienen características propicias, a nivel de producción y demanda para la adopción del hidrógeno

A través de esta acción, se propone desarrollar un mecanismo de monitoreo de la edad de la flota vehicular. El monitoreo de esta variable, acompañado de las acciones habilitantes del mercado de hidrógeno descritas en este Plan de Acción, deberán resultar en una mayor tasa de recambio y actualización de flotas; buscando la adquisición de vehículos cero emisiones en todos los casos, o las más bajas posibles en su defecto.

- **Fase 3**

En el largo plazo, se prevé que la demanda de hidrógeno en Costa Rica sea impulsada por la propia competitividad de sus usos y por efecto de las acciones habilitantes que se hayan desarrollado en el país, de modo que no se proponen acciones de largo plazo para el eje de “Demanda nacional de hidrógeno verde”

D3. Producción y almacenamiento de hidrógeno verde

- **Fase 1**

2.14 Definir las oportunidades existentes para la producción de hidrógeno verde en Costa Rica mediante la capacidad disponible de excedentes de energía de la red.

En una primera etapa para el desarrollo del Hidrógeno Verde en Costa Rica es prioritario determinar la probabilidad (demanda y factores climáticos y estacionales) de contar con una cierta **cantidad de excedentes de energía eléctrica en el tiempo y su perfil específico** (temporal, geográfico, entre otros). Partiendo de que es fundamental garantizar la seguridad del suministro eléctrico, se debe definir qué oportunidades existen para la producción de hidrógeno (análisis técnicos).

La seguridad operativa del Sistema Eléctrico Nacional es prioritaria. Se debe contar con una evaluación de los márgenes de seguridad operativos necesarios para determinar la cantidad de energía que debe haber en el sistema, adicional a la demanda puntual en un momento dado. Para esto es necesario: 1. Definir los criterios técnicos de seguridad, 2. Evaluar los márgenes de seguridad operativa que se utilizan en la Gestión del SEN. 3. Producto de los análisis del desempeño e impacto económico de los márgenes o criterios de seguridad operativa: establecer la capacidad máxima de energía comprometible para la producción de hidrógeno, su perfil de uso y en general: mejorar los procesos de planificación y de gestión o administración del SEN.

El reto que se vislumbra es determinar sobre la base de la información disponible y criterios consensuados, la capacidad excedente del SEN, sin poner en riesgo su seguridad operativa; homologar datos y disponibilidad de la información. Se identifica como riesgo de esta actividad la subestimación de los criterios de seguridad del SEN, vulnerando así su confiabilidad. Este riesgo se mitiga, si se involucran los diferentes actores del mercado y se trabaja utilizando las mejores prácticas de la industria eléctrica a nivel mundial.

2.15 Consolidar la definición de tarifa T-UD para buscar que la producción de hidrógeno a partir de la red eléctrica sea competitiva.

El **costo de generación de la energía eléctrica** puede llegar a ser una de las principales barreras al desarrollo de proyectos de hidrógeno de bajas emisiones. Por este motivo, es necesario la identificación de eficiencias en los procesos y optimización de costos que den seguridad a los inversores y permitan impulsar

los primeros proyectos a escala piloto, como paso previo al desarrollo de proyectos a escala industrial. El reto es lograr que la tarifa eléctrica de Costa Rica sea atractiva a los inversionistas a nivel global, por lo tanto, es necesario en el corto plazo contar con una definición de la tarifa T-UD de tal manera que sea competitiva para la producción de hidrógeno. Conforme al análisis realizado, en el corto plazo, entre el 2025 y el 2030 el costo de energía eólica está en la banda de costos entre el costo medio y el de la tarifa T-UD para el uso de la red con excedentes del SEN. La definición de la tarifa T-UD durante esta década determinará cuál es la electricidad más competitiva: red eléctrica o eólica.

2.16 Evaluar capacidades de almacenamiento de H₂ y proyección de la demanda de almacenamiento a gran escala.

El hidrógeno renovable está llamado a ser un valioso vector energético para usos finales donde sea la solución más eficiente en el proceso de su descarbonización. Sus características físicas y químicas le otorgan un gran potencial como instrumento para el almacenamiento energético y la integración sectorial. El hidrógeno puede utilizarse para el almacenamiento diario o estacional, como respaldo y “buffer”, mejorando la seguridad del suministro a medio plazo.

A futuro, se requiere desarrollar una evaluación exhaustiva de las necesidades de almacenamiento de hidrógeno, a mediana y gran escala. La evaluación de las capacidades de almacenamiento de hidrógeno para Costa Rica deberá partir de una planeación para su uso, para así poder determinar las cantidades deseables de almacenamiento de este gas y las matrices de almacenamiento más convenientes para el país, destacando entre las opciones, el almacenamiento subterráneo de hidrógeno para almacenamiento de energía estacional.

El almacenamiento de hidrógeno se ha convertido en uno de los retos del avance de este importante sector energético. El hidrógeno tiene sus singularidades, por ese motivo, es preciso adaptar este tipo de instalaciones a las propiedades físicas y químicas de este vector energético. Debe de cuidarse las especificaciones técnicas necesarias con el objetivo de abatir riesgos operativos de las instalaciones de almacenamiento energético.

2.17 Realizar estudios de estrés hídrico, estudios de impacto ambiental y desalinización en zonas con alto potencial renovable

El uso de agua para producir hidrógeno verde es un factor clave ya que este es la principal materia prima. La gestión del agua es trascendental para la supervivencia y la estabilidad de los países. Costa Rica es privilegiada en cuanto a la existencia de agua, no obstante, es importante evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en el país, especialmente, en zonas que han sido identificadas con algún tipo de problema de disponibilidad de agua y así minimizar el posible impacto ambiental y social del uso de agua para la producción del hidrógeno y permitir una planeación estratégica para mitigar los riesgos a largo plazo de este tema.

Actualmente, la producción y manejo de hidrógeno es considerada una actividad industrial dado que el hidrógeno es parte de la producción de vidrios, grasas alimenticias, fertilizantes entre otras sustancias. Esto implica que las actividades relacionadas con el hidrógeno están sometidas a rigurosas evaluaciones de impacto ambiental independientemente de la fuente de producción y esto se debe de prever. Posiblemente se creará una necesidad de crecimiento en el mercado de la desalinización y de más energía renovable para

alimentarlo. Esto agregará más costos para los desarrolladores, pero también oportunidades para los proveedores alternativas de menor impacto ambiental. Por lo tanto, se propone en esta fase incluir en el estudio de estrés hídrico, estudio de alternativas tecnológicas como la desalinización en zonas con alto potencial renovable.

- **Fase 2**

2.18 Adaptación de los procesos de planificación y gestión del sistema eléctrico nacional para asegurar un correcto acoplamiento con la producción de hidrógeno verde en Costa Rica, sin afectar los procesos de electrificación que el país impulsa.

Como parte de la correcta gestión del SEN en el contexto del desarrollo del mercado de hidrógeno, se debe de generar una planificación que considere, tanto a las nuevas cargas (plantas de electrólisis), como a las nuevas fuentes (plantas renovables para la producción de hidrógeno). Lo anterior deberá hacerse con base a regulación – normativa internacional vigente y un sistema de gestión de riesgos. Este plan debe de incluir modelación de costos para que no sea abrupto y tomar en cuenta no solo el volumen de energía si no también el régimen horario en el que se consume. Como parte del plan se deberán de definir las fuentes de generación a mediano plazo para que puedan entregar la energía necesaria de abastecimiento de la demanda.

Monitorear de manera continua la planificación realizada puede ayudar a contar con gestión de riesgos más adecuado. Esto se tiene que lograr mediante un proceso continuo con alta capacidad de adaptación con el tiempo. Repetir y supervisar continuamente los procesos puede ayudar a asegurar la máxima cobertura de riesgos conocidos y desconocidos. Actuar en consecuencia de manera ágil minimizara las incidencias de los sistemas.

2.19 Desarrollo de la infraestructura necesaria para el almacenamiento del hidrógeno y diseño de sus instrumentos de financiación público - privada.

El hidrógeno tiene importantes aplicaciones en el almacenamiento de energía estacional y como mitigante de la intermitencia de las renovables variables, sin embargo, Costa Rica, en el corto plazo, aún cuenta con potencial hidroeléctrico y geotérmico que explotar. Sin embargo, en el futuro, el Sistema Eléctrico Nacional podría adoptar un volumen importante de renovables variables y gestionar la intermitencia mediante su capacidad hidroeléctrica de embalse y geotérmica, acción que respaldaría al eje estratégico 1.4 del Plan Nacional de Descarbonización “Optimizar la eficiencia energética en la oferta” cuyo objetivo es evaluar la posibilidad de almacenamiento de energía (OE. 1.4.4) en el cual se determinó como una de sus acciones, elaborar un estudio de opciones para sistemas de almacenamiento de energía, incluyendo el hidrógeno.

Se requiere en esta etapa del proceso iniciar con la revisión, la adaptación y si fuese el caso la creación de un estudio estratégico que defina la cantidad y ubicación de los sitios de almacenamiento mínimos para el despliegue del mercado de hidrógeno en Costa Rica. Se requiere proponer el desarrollo de la infraestructura necesaria y los métodos de financiamiento, así como actores involucrados para el almacenamiento de hidrógeno. Todo lo anterior con el fin encontrar y proponer opciones viables técnica y económicamente para su almacenamiento y distribución.

- **Fase 3**

2.20 Monitoreo del desarrollo de plantas dedicadas a la producción de hidrógeno.

El monitoreo del desarrollo y despliegue de plantas de generación eléctrica dedicadas deberá estar alineado con las normas técnicas aplicables en ese momento y en caso de no existir; regirse con base a las normas internacionales. Deberán de cumplir una serie de actividades sistemáticas y ordenadas tendientes a establecer un control y seguimiento para las diferentes fases: construcción, operación y mantenimiento y retiro.

Se deberá de contar con un monitoreo constante del desarrollo de nuevas plantas de producción de hidrógeno y se propone desarrollar una plataforma nacional de monitoreo de producción y consumo de hidrógeno. Este registro permitirá evaluar la penetración del hidrógeno de bajas emisiones en los distintos sectores y subsectores, así como la contribución de este a la descarbonización.

2.21 Actualizar periódicamente las tarifas eléctricas para todas las categorías tarifarias que se adapten a las necesidades de los procesos de descarbonización y en consecuencia del mercado del hidrogeno en el tiempo.

Las tarifas eléctricas aplicables a la producción de hidrógeno serán clave para determinar la competitividad de los excedentes del Sistema respecto a plantas dedicadas. En la resolución RE-0010-IE-2022, que fija las tarifas de distribución del ICE para el presente año, se habilitó la T-UD para las empresas productoras de hidrógeno. El establecimiento de una tarifa de excedentes del SEN competitiva podría apuntalar el desarrollo de proyectos tempranos de producción de hidrógeno usando la red (2022 – 2025) y dar espacio para la planificación de nuevas plantas dedicadas hacia finales de la década (2025 – 2030).

Será importante revisar y rediseñar, de manera continua y sostenida en el tiempo, las tarifas eléctricas aplicables para las diferentes categorías tarifarias de tal manera que permitan el desarrollo e impulso de la descarbonización, incluyendo el mercado de hidrógeno verde en Costa Rica a precios internacionalmente competitivos tanto en aplicaciones de gran como de pequeña demanda.

D5. Transporte y distribución de hidrógeno

- **Fase 1**

2.22 Generar una hoja de ruta para el despliegue de infraestructura necesaria al desarrollo del mercado de hidrógeno verde en Costa Rica.

Junto con la creación de un nuevo mercado energético, viene la oportunidad de crear nuevas industrias que produzcan los bienes que serán demandados (en el caso del hidrógeno: electrolizadores, celdas de combustible, etc.) al tiempo que se hace indispensable crear infraestructura de soporte, como pueden ser redes de transmisión eléctrica, ductos, plantas de generación eléctrica, equipo de almacenamiento, infraestructura portuaria para el comercio de energéticos, entre otros.

Por lo tanto, se deberá de desarrollar una hoja de ruta específica para el despliegue de infraestructura necesaria del hidrogeno estrechamente ligada al mercado de este. En dicha hoja de ruta se deberán de

especificar los elementos de ingeniería y tecnología necesarios para la producción, transporte, comercialización y uso del hidrógeno. Al finalizar este periodo se deberán construir, si es lo pertinente, las primeras infraestructuras de transporte dedicadas, asociadas a los principales centros de distribución. Se deberá estudiar la viabilidad y la necesidad de infraestructuras de almacenamiento a gran escala, así como la conveniencia de incursionar en la producción de derivados del hidrógeno, así como determinar las necesidades de infraestructura en caso de exportación.

El plan para el desarrollo de la infraestructura tendrá que ser lo suficientemente amplio identificando costos, actividades claves, actores de mercado necesarios y fuentes de inversión, así como conocer o identificar las distancias y tecnologías más apropiadas para el país de tal manera que se mitiguen los riesgos obviar puntos clave de desarrollo que pudiesen llegar a resultar en un cuello de botella a mediano plazo.

2.23 Realizar un plan para el desarrollo de la red de cobertura mínima, que defina la cantidad y ubicación de estaciones de recarga vehicular mínimas para el despliegue del mercado de hidrogeno en Costa Rica.

Tomando en cuenta la relevancia que la movilidad y el transporte tienen en la descarbonización de Costa Rica, es necesario planificar la red de recarga vehicular de hidrógeno. Esta planificación, implica conocer e identificar las ubicaciones, distancias entre estaciones y tecnologías más apropiadas para el país, para posteriormente iniciar la construcción y puesta en marcha de las estaciones. Se deberá planear la construcción de una red de estaciones de recarga de hidrógeno que permita a los vehículos trasladarse libremente dentro del país sin riesgo de sufrir desabasto. Se tendrán que adaptar los cálculos y elementos técnicos necesarios para el despliegue del mercado. En esta fase, el fin último es contar con todas las especificaciones técnicas, económicas y logísticas de las estaciones mínimas necesarias que permita el despliegue de hidrógeno en Costa Rica.

Se debe tomar en cuenta en esta etapa la definición de modelos de negocio para la construcción de las estaciones.

- **Fase 2**

2.24 Definición de aspectos normativos del hidrógeno vehicular en Costa Rica

Conforme la movilidad y el transporte de hidrogeno en Costa Rica pase de ser un sector de proyectos piloto y se vuelva un mercado cada vez más grande será necesario definir a nivel país aspectos regulatorios y de mercado alrededor de él. El primero, será la decisión sobre si considerarlo un servicio público regulado por ARESEP o no, y en función de esa decisión: habrá que establecer una serie de criterios para definir quiénes podrían ser actores habilitados para desarrollar cada etapa de la cadena de valor del hidrógeno en el transporte: producción, transporte, distribución, venta mayorista y venta minorista o dispensado final.

Se propone esta acción en la Fase 2, debido a que la sobrerregulación en una etapa temprana de la actividad podría suponer una barrera para la adopción de la tecnología y para sus primeras pruebas en Costa Rica.

2.25 Definición y ejecución del desarrollo de la red de cobertura mínima conteniendo todas las etapas del proyecto desde el diseño de ingeniería hasta la puesta en marcha de las estaciones.

Conforme al plan para el desarrollo de la red de cobertura mínima desarrollado previamente, se plantea que en esta etapa se ejecuten los proyectos de construcción y desarrollo para contar con la red de cobertura mínima. Dicho plan deberá de contener todas las etapas del proyecto desde el diseño de ingeniería hasta la puesta en marcha de las estaciones.

Se debe de contar con una planeación muy clara y un acompañamiento puntual sobre todo de las fuentes de financiamiento de los proyectos que son estrictamente necesarios. Contar con acuerdos preestablecidos y con el ecosistema de hidrógeno listo para incentivar la inversión privada será clave para el país y su desarrollo en este tema.

- **Fase 3**

2.26 Gestión de seguimiento para el mantenimiento de las estaciones de dispensado de hidrógeno.

Será necesaria una gestión de seguimiento para el mantenimiento de las estaciones de dispensado de hidrógeno conforme a la normativa internacional vigente y tecnología disponible en el mercado. Cada parte de la infraestructura necesaria de las estaciones de dispensado como son los sistemas de purificación, sistemas de almacenamiento, compresores, equipo de seguridad, equipos mecánicos (válvulas), equipos eléctricos (ej. paneles de control), deberán de contar con un estricto control de calidad normativo para asegurar su seguridad y eficacia. Se tendrá que trabajar de la mano con entes regulatorios aplicables en este caso. Por otro lado, se deberá de realizar una evaluación y definición de la introducción de nuevas estaciones de dispensado de hidrógeno conforme a la demanda vaya avanzando para así ir respondiendo al mercado.

Se deberá de encontrar un balance entre la calidad, la seguridad y cumplimiento normativo y con la reacción del mercado. Se deberá de asegurar que se sea lo suficientemente adaptativos para reaccionar a la innovación y las necesidades del mercado a la vez que se mantienen estándares de calidad.

2.27 Monitoreo, gestión y evaluación del impacto de la infraestructura para el hidrógeno verde implementada.

La infraestructura de soporte creada como medio de transporte para el hidrógeno en Costa Rica deberá de ser correctamente gestionada para su funcionamiento. Dependiendo de lo que se haya decidido implementar como pueden ser redes de transmisión eléctrica, ductos, plantas de generación eléctrica, equipo de almacenamiento, infraestructura portuaria para el comercio de energéticos, u otros; se deberá de monitorear y adaptar la hoja de ruta de despliegue de infraestructura necesaria del hidrógeno estrechamente ligada al mercado de este. Los elementos de ingeniería y tecnología necesarios para la producción, transporte, comercialización y uso del hidrógeno deberán de ser ágilmente adaptables a la normativa internacional vigente y evaluar su mejora continua.

Identificación de riesgos del Eje 1: Descarbonización del sector transporte e industria

Se han identificado una serie de riesgos asociados a la implementación de las acciones del Eje 1: Descarbonización del sector transporte e industria de esta Estrategia del Hidrógeno Verde de Costa Rica, las cuales se pueden observar en la siguiente matriz de riesgo.

Tabla 2 - Matriz de riesgos del Eje 1 - Descarbonización del sector transporte e industria

		Severidad de las consecuencias				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Probabilidad de ocurrencia	Muy alta					
	Alta					
	Media			-Resistencia al cambio tecnológico ante el desconocimiento de alternativas, como el H ₂ -Incumplimiento de las metas de adopción de H ₂ en el transporte por aspectos ajenos a la promoción de este energético	-Desbalance entre la oferta y demanda de H ₂ que frene el mercado	-Falta de rentabilidad en las inversiones en H ₂
	Baja			-Falta de transparencia en el desarrollo de inversiones para el H ₂ -Falta de organización entre actores interesados para la ejecución de acciones coordinadas	-Falta de inversión extranjera en Costa Rica para el H ₂ -Incumplimiento de contratos crediticios	-Riesgos operativos y de seguridad durante el despliegue de proyectos de adopción de hidrógeno en Costa Rica
	Muy Baja			-Desalineación de las acciones para la adopción de H ₂ respecto a las necesidades del país		
Clasificación de impacto de la matriz de riesgos						
		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Acciones de mitigación para los riesgos identificados para el Eje 1. Descarbonización del sector transporte e industria

Se propone a continuación una serie de medidas de mitigación para los principales riesgos identificados relacionados con las acciones del Eje 1: Descarbonización del sector transporte e industria.

Para facilitar la priorización de acciones de mitigación, se han ordenado los riesgos de acuerdo con el impacto identificado en la matriz de riesgos de la Tabla 2.

- **Alto**

- Falta de rentabilidad en las inversiones en H₂: este riesgo es alto debido a que los costos actuales de las tecnologías de hidrógeno aún son elevados, de modo que el costo de financiamiento de este tipo de proyectos debe ser tan bajo como sea posible para apoyar la viabilidad de los proyectos de esta tecnología. Una medida de mitigación importante de esta medida será el establecimiento de contratos financieros de largo plazo, que a su vez estén respaldados por contratos de largo plazo de compra-venta del hidrógeno o de su aplicación final (movilidad, re electrificación, etc.). Lo anterior permitirá reducir el riesgo de incumplimiento de pagos y con ello: mantener tasas de interés bajas.

- Desbalance entre la oferta y demanda de H₂ que frene el mercado: Este riesgo nos habla de dos posibles casos: que no haya consumidores del hidrógeno ofertado o que no haya ofertantes de hidrógeno para proyectos de consumo. En las primeras etapas del desarrollo de este mercado, una buena medida de mitigación será el desarrollo de proyectos conjuntos “1 a 1” de producción y demanda de hidrógeno. Una vez que el mercado crezca y haya múltiples jugadores en ambos lados de la cadena de valor: la mejor medida de mitigación será el desarrollo y constante actualización de Planes de Expansión del Mercado de Hidrógeno, que permita ver a ambos lados de la cadena los proyectos que se están planificando y desarrollando en el país.

- **Medio**

- Resistencia al cambio tecnológico ante el desconocimiento de alternativas, como el H₂: este riesgo se mitiga mediante campañas de comunicación y concientización sobre los posibles usos del hidrógeno, sus ventajas, sus limitantes y los beneficios que podría traer al país el desarrollo de una cadena de valor alrededor de este energético.

- Incumplimiento de las metas de adopción de H₂ en el transporte por aspectos ajenos a la promoción de este energético: existen factores sociales, políticos y económicos que son difíciles de predecir y que por su naturaleza social no son fácilmente modelables. Esta Estrategia plantea metas de adopción de hidrogeno basadas en modelados económicos y de costo competitividad del hidrógeno. Mitigar este riesgo demanda de una constante observación del entorno y de ajustar las acciones que se desarrollan respecto al hidrógeno constantemente, en respuesta al dinamismo mundial. Estas acciones de monitoreo ya se encuentran contenidas en el Plan de Acción de esta Estrategia.

- Falta de inversión extranjera en Costa Rica para el H₂: este riesgo es mitigable mediante el trabajo de comunicación y creación de acuerdos por parte de las agencias gubernamentales del sector energético y económico con los actores inversionistas fuera del país. Se le ha asignado un riesgo Medio por que su impacto sería alto, sin embargo, su probabilidad de ocurrencia es baja considerando la experiencia del país en este tema y la visibilidad que Costa Rica ha tomado en los últimos años como un líder regional en temas de sustentabilidad.

- Incumplimiento de contratos crediticios: al igual que el riesgo anterior, se trata de uno de alto impacto, pero baja probabilidad de ocurrencia. Su mitigación reside en poder desarrollar proyectos bajo contratos de larga duración que garanticen un flujo de ingresos a los desarrolladores para poder cumplir con sus obligaciones crediticias.

- Riesgos operativos y de seguridad durante el despliegue de proyectos de adopción de hidrógeno en Costa Rica: este riesgo tiene un impacto importante debido a la severidad de sus consecuencias en caso de manifestarse. Como cualquier otro energético químico, el hidrógeno debe ser regulado técnicamente bajo normativa estricta que asegure el correcto y seguro funcionamiento de los equipos que componen su cadena de valor. Esta acción de mitigación se encuentra propuesta en el Plan de Acción de esta Estrategia.

- **Bajo**

- Falta de transparencia en el desarrollo de inversiones para el H₂: la transparencia es un elemento fundamental para la atracción de inversiones y en su ausencia, el mercado puede frenarse. A pesar de ser un riesgo de baja probabilidad de ocurrencia para Costa Rica, se pone a la vista como un criterio a mantener visible para poder activar mecanismos de mitigación, tales como políticas de gobernanza y de rendición de cuentas alrededor de la ejecución de inversiones en el sector del hidrógeno verde, particularmente cuando se trate de inversiones públicas.

- Falta de organización entre actores interesados para la ejecución de acciones coordinadas: este riesgo encuentra su principal acción de mitigación en la correcta ejecución de las acciones de seguimiento y coordinación de actores planteados dentro de los distintos ejes de este Plan de Acción. Mantener una coordinación entre los actores provocará un avance acelerado de la adopción del hidrógeno verde en el país.

- **Muy bajo**

- Desalineación de las acciones para la adopción de H₂ respecto a las necesidades del país: este riesgo es de baja probabilidad de ocurrencia, sin embargo, se pone de manifiesto como un recordatorio de la importancia que tiene alinear los esfuerzos de Costa Rica en temas de hidrógeno con sus intereses, manifestados en los objetivos, misión, visión y ejes de esta Estrategia. Actualmente el hidrógeno es una tecnología prometedora para muchas aplicaciones, sin embargo, las características intrínsecas de cada país potencian o descartan su participación en ciertos usos del hidrógeno.

6.4. Eje 2. Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde

En el eje 2 se presentan las acciones orientadas a convertir a Costa Rica en un hub tecnológico y de innovación en tecnologías de hidrógeno, para lo cual se han identificado cuatro líneas de acción:

- Coordinación y alianzas estratégicas
- Capacitación y formación
- Desarrollo tecnológico y proyectos piloto
- Apoyo a la innovación



Desarrollo de un hub tecnológico.

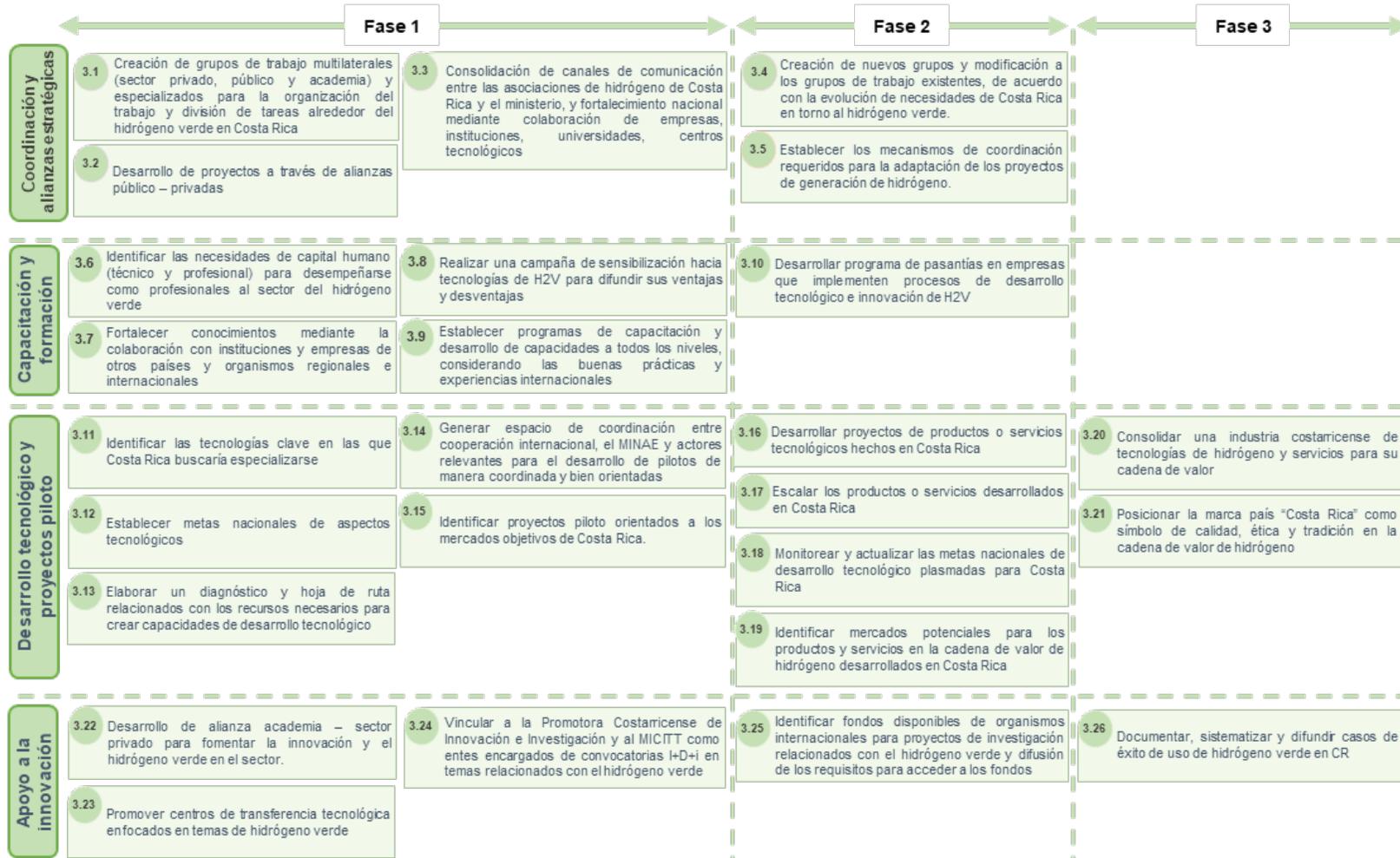


Figura 18. Bloque 4. Tecnología e Innovación

T1. Coordinación y alianzas estratégicas

- **Fase 1**

3.1 Creación de grupos de trabajo multilaterales (sector privado, público y academia) y especializados para la organización del trabajo y división de tareas alrededor del hidrógeno verde en Costa Rica

Se identifica como necesaria la creación de grupos de enfoque especializados por áreas de aplicación del hidrógeno (transporte, industria, exportación, entre otros) y/o por componente de la cadena de valor del H₂ (producción, transporte, almacenamiento, entre otros). Estos grupos, formados por especialistas del sector privado, público y académico deberán generar planes de acción en su eje temático, proponer tareas, asignar responsables y monitorear el cumplimiento del plan establecido, a fin de acelerar la adopción del hidrógeno en Costa Rica a través de equipos de trabajo.

Estos equipos podrían ser conformados desde las asociaciones gremiales que buscan desarrollar el mercado de hidrógeno en Costa Rica. Los grupos deberán trabajar en apego a la visión país del hidrógeno, establecida en esta Estrategia Nacional y se habilitará un sistema de reporte de sus planes y avances al MINAE, ente que dará seguimiento al desarrollo del hidrógeno en Costa Rica.

3.2 Desarrollo de proyectos a través de alianzas público – privadas

Las alianzas público-privadas tienen por objetivo combinar el capital y experiencia de los actores de ambos sectores para minimizar riesgos y maximizar el impacto de un proyecto, a la vez que se comparte el beneficio que dicho proyecto pudiera detonar. En este contexto, la habilitación de proyectos en asociación público – privada (APP) se identifica necesaria para la creación de un nuevo mercado de hidrógeno en Costa Rica.

Se identifican como posibles actores de esta acción a las empresas del Estado Costarricense: RECOPE e ICE, las cuales podrían establecer alianzas con privados para el desarrollo de proyectos de producción, adopción e incluso exportación de hidrógeno desde Costa Rica, siempre que se habiliten legalmente para poder establecer estas alianzas.

3.3 Consolidación de canales de comunicación entre las asociaciones de hidrógeno de Costa Rica y el ministerio, y fortalecimiento nacional mediante colaboración de empresas, instituciones, universidades, centros tecnológicos

Esta acción atiende a la necesidad de alineación estratégica de objetivos entre los actores interesados del hidrógeno en Costa Rica: por un lado, el MINAE como ente responsable de la política energética y ambiental y por otro: los actores del sector privado y académico. La creación de mecanismos y estrategias de comunicación efectiva entre las partes es una de las prioridades del MINAE para desarrollar acciones asertivas en el sector de hidrógeno en Costa Rica.

- **Fase 2**

3.4 Creación de nuevos grupos y modificación a los grupos de trabajo existentes, de acuerdo con la evolución de necesidades de Costa Rica en torno al hidrógeno verde.

Los equipos de trabajo que se constituyan en Costa Rica para el desarrollo del mercado de hidrógeno deberán ser dinámicos y estar en constante actualización, respondiendo a las necesidades del país en cada momento del tiempo en torno al hidrógeno. Esta acción propone crear nuevos equipos o actualizar los existentes con una periodicidad de al menos dos años.

Será necesario entablar un diálogo entre los participantes de los equipos, el MINAE y los actores interesados en el hidrógeno para discutir la pertinencia de continuidad de los equipos formados, la conveniencia de modificarlos o de crear otros. Esto como medida de mitigación del riesgo de desalineación estratégica entre el trabajo de los equipos y las necesidades país en el tema.

3.5 Establecer los mecanismos de coordinación requeridos para la adaptación de los proyectos de generación de hidrógeno.

Al ser el mercado de hidrógeno verde un mercado emergente y en constante innovación es necesario contar con las herramientas y la capacidad de la política pública y de las entidades representadas de actuar de manera ágil frente a la competencia global. Se requieren habilidades gerenciales bien establecidas y voluntad de los diferentes entes involucrados para cooperar.

En un mundo cambiante y de rápido desarrollo se requiere contar con adaptación ágil de los proyectos. Este proceso se logra mediante la formación de un equipo delegado a este fin. La gestión debe seguir un proceso bien definido de planificación, ejecución y evaluación.

- **Fase 3**

Se considera que las acciones incluidas en la línea de acción de Coordinación y alianzas estratégicas deben ejecutarse en el corto y mediano plazo, de modo que este eje no cuenta con acciones de largo plazo identificadas.

T2. Capacitación y formación

- **Fase 1**

3.6 Identificar las necesidades de capital humano (técnico y profesional) para desempeñarse como profesionales al sector del hidrógeno verde

Actualmente en Costa Rica no existe una industria relacionada con el hidrógeno verde por lo que se deben realizar mesas de trabajo lideradas por el MINAE con la participación de actores de la academia, industria y centros de formación para determinar la necesidad de formación que permita al talento humano costarricense desarrollar capacidades a lo largo de la cadena de valor de hidrógeno verde, tanto a nivel técnico, como profesional.

El mapeo identificará las formaciones o cursos actuales en materia del hidrógeno y permitirá su integración en nuevos planes de formación específicos para este vector, determinando la necesidad de titulaciones específicas dedicadas a la investigación y desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno verde e incorporando este vector en el currículo de las universidades.

3.7 Fortalecer conocimientos mediante la colaboración con instituciones y empresas de otros países y organismos regionales e internacionales

En el camino a la descarbonización, muchas organizaciones alrededor del mundo, tanto públicas como privadas, han apostado por el hidrógeno verde generando un conocimiento acerca de la producción, transporte, distribución y uso final de hidrógeno verde, así como su tecnología asociada. Con el objeto de reducir la curva de aprendizaje de Costa Rica en la cadena de valor del hidrógeno, se debe buscar la colaboración y transferencia de conocimiento, con aquellos actores en países con distinto nivel de avance en el tema. Dichos actores pueden ser Ministerios, agencias multilaterales, empresas públicas o privadas, desarrolladores de proyectos, etc.

3.8 Realizar una campaña de sensibilización hacia tecnologías de H2V para difundir sus ventajas y desventajas

El hidrógeno tiene un alto potencial para descarbonizar la economía, sin embargo, ha sido entendido como un combustible de difícil manipulación limitando su aplicación. Es importante difundir adecuadamente información acerca de este vector, el desarrollo de la tecnología ha demostrado que el hidrógeno es uno de los vectores energéticos del futuro por su gran versatilidad y puede ser utilizado para reducir emisiones en sectores difíciles de abatir.

Actualmente, en Costa Rica hay sectores que desconocen el hidrógeno verde por lo que debe considerarse realizar esfuerzos de divulgación privados, o en alianza entre actores públicos y privados, que apoyen el trabajo realizado por el MINAE en la difusión de las ventajas y desventajas del hidrógeno, su potencial rol en la descarbonización del país e información acerca de sus tecnologías asociadas.

3.9 Establecer programas de capacitación y desarrollo de capacidades a todos los niveles, considerando las buenas prácticas y experiencias internacionales

Una vez identificadas las necesidades en cuanto a formación y capacitación, y tomando en cuenta las buenas prácticas internacionales en distintas instituciones, se deben desarrollar programas de capacitación específicos, así como planes de formación completos que permitan al recurso humano costarricense especializarse en los aspectos claves del hidrógeno verde, dentro de toda su cadena de valor, con el objetivo de articular la provisión de las capacidades por parte de las instituciones de educación costarricenses.

Esta acción requiere de planificación y coordinación entre las distintas universidades y entes gubernamentales, con el objeto de crear un plan de formación que se adecúe al ecosistema costarricense, por lo que se deben realizar sesiones de trabajo en conjunto para alcanzar un consenso, tomando como base un *benchmark* de planes en universidades extranjeras que ya tengan el hidrógeno incorporado en su *pensum* académico y tomando en cuenta las necesidades del país en cuanto a capital humano.

- **Fase 2**

3.10 [Desarrollar programa de pasantías en empresas que implementen procesos de desarrollo tecnológico e innovación de H2V](#)

Un aspecto clave de la educación superior es poner en práctica los conocimientos adquiridos durante una carrera universitaria. Una herramienta para lograr esta primera experiencia son las pasantías empresariales, puesto que permiten a profesionales en formación participar en primera persona en casos reales. Por esto, es importante que las empresas (tanto del sector privado como público) y en conjunto con la academia establezcan un programa de pasantías alrededor del hidrógeno verde que permita a los profesionales en formación participar activamente en proyectos relacionados con este vector.

Esta acción está ligada a la existencia de una estrategia empresarial en torno al hidrógeno y proyectos relacionados a este vector que generen oportunidades para realizar estas pasantías, por lo que cobra especial importancia el desarrollo de la presente estrategia que promueve la adopción del hidrógeno en empresas públicas y privadas.

T3. Desarrollo tecnológico y proyectos piloto

- **Fase 1**

3.11 [Identificar las tecnologías clave en las que Costa Rica buscaría especializarse](#)

Costa Rica, desde el MINAE y otros ministerios involucrados con la creación de nuevas industrias en el país, deberán hacer una identificación de los componentes clave de la cadena de valor de hidrógeno en los que el país podría especializarse. Dicha identificación deberá estar enfocada en las capacidades actuales con las que el país cuenta, experiencias en el desarrollo de otras industrias y en el interés de Costa Rica en la adopción de tecnologías de hidrógeno (el sector transporte, por ejemplo). Para esta identificación serán necesarios diversos estudios que el gobierno de Costa Rica definirá, los cuales deberán estar alineados a los objetivos de esta Estrategia.

3.12 [Establecer metas nacionales de aspectos tecnológicos](#)

Posterior a la identificación de tecnologías y una vez que se conocen los recursos con los que se cuenta y aquellos que hay que obtener, se hace conveniente establecer metas de carácter nacional enfocadas al desarrollo tecnológico, tal como han hecho otros países, como Estados Unidos a través del Departamento de Energía.

Contar con metas nacionales relacionadas al desarrollo tecnológico permite que, tanto actores de la academia como del sector industrial enfoquen sus esfuerzos en una sola dirección y que exista una mejora continua enfocada a la meta. Ejemplos de este tipo de metas son: parámetros técnicos de eficiencia de equipos, capacidades, cantidad de unidades producidas al año, costo de manufactura de los equipos y costo de los insumos producidos por los equipos (hidrógeno, electricidad, combustibles sintéticos, etc.).

3.13 Elaborar un diagnóstico y hoja de ruta relacionados con los recursos necesarios para crear capacidades de desarrollo tecnológico

Una vez identificadas las tecnologías o eslabones de la cadena en las que Costa Rica se especializará será necesario conocer los recursos con los que se cuenta actualmente y cuantificar aquellos que tendrán que obtenerse, ya sean humanos o financieros. Esta identificación no deberá limitarse a conocer qué hace falta, sino que plasmará estrategias y acciones para cerrar la brecha, obtener los recursos y desarrollar tecnología para la cadena de valor de hidrógeno en los que se especializaría el país.

3.14 Generar espacio de coordinación entre cooperación internacional, el MINAE y actores relevantes para el desarrollo de proyectos piloto, de manera coordinada y bien orientados

Se debe crear una mesa de trabajo liderada por el MINAE, en donde participen aquellos actores interesados en desarrollar proyectos relacionados con el hidrógeno y entidades de cooperación internacional. Los objetivos de la mesa serán determinar las necesidades en cuanto a proyectos piloto y crear una estrategia que permita su desarrollo orientado a los objetivos estratégicos del país, impulse el desarrollo temprano de estos pilotos e identifique nuevas iniciativas locales.

3.15 Identificar proyectos piloto orientados a los mercados objetivos de Costa Rica.

Tomando en cuenta que el despliegue del hidrógeno verde se está desarrollando en todo el mundo, se debe aprovechar las lecciones aprendidas y buenas prácticas internacionales, identificando proyectos piloto que se hayan realizado en otros países para proponer aquellos que generen valor para Costa Rica, según los mercados objetivo que se han identificado en esta Estrategia.

- **Fase 2**

3.16 Desarrollar proyectos de productos o servicios tecnológicos hechos en Costa Rica

Es necesario materializar los hallazgos de los estudios de selección de tecnologías de interés y de diagnóstico de capacidades. Se requerirá tanto del sector público, como del privado, para el desarrollo de nuevas plantas de manufactura de equipo para la cadena de valor de hidrógeno, servicios necesarios para el desarrollo de proyectos, centros de investigación especializados, y centros de enseñanza específica, que produzcan el capital humano necesario para activar esta nueva industria.

Desarrollar una industria nueva tiene el riesgo de que la demanda no acompañe a la oferta. Es decir, que se estén desarrollando productos con un mercado limitado o en el sentido contrario, que el volumen de desarrollo sea inferior a lo que el mercado está demandando. Una medida de mitigación será el monitoreo constante por parte de los actores involucrados de la oferta tecnológica del mercado, de los volúmenes de adopción de las tecnologías y de la tasa de desarrollo de capacidades de producción y oferta de Costa Rica.

3.17 Escalar los productos o servicios desarrollados

Esta acción se plantea como una respuesta al monitoreo constante del mercado de tecnologías de hidrógeno que se ha planteado en la acción anterior. Las proyecciones de demanda de tecnologías asociadas a la cadena de valor del hidrógeno verde apuntan a que este será un mercado en crecimiento constante y exponencial, por lo menos de ahora a 2050, de modo que aquellos desarrollos tecnológicos en los que Costa Rica evolucione exitosamente tendrán que ser escalados, ya sea mediante la producción de servicios y equipo unitario de mayor capacidad o mediante el aumento de la producción en número de unidades anuales.

3.18 Monitorear y actualizar las metas nacionales de desarrollo tecnológico plasmadas para Costa Rica

Ese indispensable monitorear y actualizar las metas del país en cuanto a desarrollo tecnológico en hidrógeno, tanto si el país avanza aceleradamente, cómo si se encontrasen obstáculos no previstos en la ruta hacia las metas. Es importante su actualización constantemente, en función de las necesidades nuevas del país y del mercado en general.

3.19 Identificar mercados potenciales para los productos y servicios en la cadena de valor de hidrógeno desarrollados en Costa Rica

Se prevé que durante la segunda fase de acciones alrededor del desarrollo tecnológico, el principal mercado atendido con los productos y servicios desarrollados sea el mismo Costa Rica. Sin embargo, una vez que el país adquiera experiencia y tenga un ritmo constante en sus producciones, debería identificar mercados internacionales donde pudiera ofrecer su tecnología. Por cercanía geográfica y por experiencias comerciales previas, América Latina podría ser el primer mercado de interés para Costa Rica, sin embargo, el mundo entero requerirá de tecnologías y servicios en hidrógeno, de manera que realizar una misión de identificación de potenciales clientes será valioso.

- **Fase 3**

3.20 Consolidar una industria costarricense de tecnologías de hidrógeno y servicios para su cadena de valor

En la última fase temporal del eje de desarrollo tecnológico, Costa Rica deberá preparar una estrategia para consolidar una industria de largo plazo en la cadena de valor de hidrógeno. Se sabe que, así como Costa Rica, múltiples países ven en el hidrógeno verde una oportunidad para desarrollar productos tecnológicos, lo cual hará de este un mercado sumamente competitivo donde solo los primeros jugadores, los de mayor experiencia y los más competitivos en costos verán florecer una industria de largo plazo.

Consolidar una industria tecnológica implicará hacer uso de las mejores prácticas y de las mejores tecnologías en manufactura y en oferta de servicios. Entre los retos que habrá que superar están la adopción de prácticas de economía circular en la producción de equipo, la automatización y digitalización de procesos, el cumplimiento de estándares ambientales sociales y de gobernanza (ESG) y contar con prácticas éticas en el

desarrollo de negocios. Todo lo anterior requerirá del trabajo conjunto del sector público y privado, así como de todas las partes interesadas del sector.

3.21 Posicionar la marca país “Costa Rica” como símbolo de calidad, ética y tradición en la cadena de valor de hidrógeno

Como acción final del eje de desarrollo tecnológico y como la ambición última del país en esta actividad, está el consolidar la marca país de Costa Rica, como una reconocida mundialmente por su calidad y sustentabilidad cuando de productos tecnológicos en hidrógeno se hable.

Tal como el café costarricense y los relojes suizos son reconocidos mundialmente por la excelencia que su origen les confiere, Costa Rica trabajará para que sus productos y servicios para la cadena de valor de hidrógeno sean sinónimo de calidad, ética, responsabilidad social y ambiental.

T4. Apoyo a la innovación

- **Fase 1**

3.22 Desarrollar alianzas academia – sector privado para fomentar la innovación y el hidrógeno verde en el sector.

Con el objeto de impulsar la innovación e investigación de tecnologías afines con el hidrógeno en toda su cadena de valor, se debe afianzar la alianza entre la academia y el sector privado que permita establecer líneas de investigación que cuenten con el apoyo de las distintas empresas y estén alineadas con sus objetivos, en cuanto a la planificación de proyectos relacionados con el hidrógeno verde.

3.23 Promover centros de investigación y transferencia tecnológica enfocados en temas de hidrógeno verde

Se deben establecer líneas de investigación con respecto al hidrógeno verde que estén alineadas con los objetivos del país. Para lograr esto, es importante la fundación de distintas instituciones de investigación especializadas en hidrógeno verde que promuevan la I+D+i en toda la cadena de valor, desarrollando nuevas oportunidades y ayudando a la difusión de información, respecto a este vector energético.

La existencia de diferentes centros de investigación requerirá de coordinación para desarrollar las diferentes líneas de investigación. Una posibilidad para unificar estas instituciones y las distintas líneas de investigación es la creación de un Centro Nacional del Hidrógeno que sea referente en cuanto a este vector energético y se encargue de la coordinación de las actividades de investigación.

3.24 Vincular a la Promotora Costarricense de Innovación e Investigación y al MICITT como entes encargados de convocatorias I+D+i en temas relacionados con el hidrógeno verde

Un aspecto importante en cuanto a proyectos de investigación, desarrollo e innovación es el apoyo gubernamental por medio de convocatorias públicas a las que puedan acceder diversos actores. En Costa Rica existe la Promotora Costarricense de Innovación e Investigación cuyo objetivo es diseñar, ejecutar y

administrar programas, recursos e instrumentos de fomento a la ciencia, tecnología e innovación. Junto con el MICITT se encargan de definir las indicaciones y lineamientos para nuevas convocatorias de proyectos de investigación, por lo que para impulsar proyectos de investigación referentes al hidrógeno es necesario el trabajo conjunto entre instituciones en forma alineada con la estrategia.

- **Fase 2**

3.25 Identificar fondos disponibles de organismos internacionales para proyectos de investigación relacionados con el hidrógeno verde y difusión de los requisitos para acceder a los fondos

Con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, son muchas las organizaciones internacionales que apoyan proyectos relacionados con distintas soluciones de transición energética, como lo es el hidrógeno verde. Es necesario identificar estos fondos y **difundir esta información, de forma adecuada**, entre los actores identificados.

- **Fase 3**

3.26 Documentar, sistematizar y difundir casos de éxito de uso de hidrógeno verde en Costa Rica

Crear un sistema que permita la correcta documentación de los proyectos de investigación relacionados con el hidrógeno verde de manera sencilla y clara con el objetivo de facilitar su control, seguimiento y difusión.

El principal reto es coordinar con los diferentes actores que estén desarrollando iniciativas referentes al hidrógeno verde para recolectar toda la información asociada a estos proyectos. Para solventar esto se debe elegir una institución que se encargue de la documentación de estos proyectos, como podría ser algún centro académico existente en Costa Rica o incluso uno nuevo (cuya formación tendría que ser evaluada).

Identificación de riesgos del Eje 2: Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde

Se han identificado una serie de riesgos asociados a la implementación de las acciones del Eje 2: Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde, de esta Estrategia del Hidrógeno Verde de Costa Rica, las cuales se pueden observar en la siguiente matriz de riesgo.

Tabla 3 - Matriz de riesgos del Eje 2: Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde

		Severidad de las consecuencias				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Probabilidad de ocurrencia	Muy alta					
	Alta					
	Media			<ul style="list-style-type: none"> - Falta de recursos humanos o materiales para el desarrollo de las actividades de este eje - Resistencia social a la adopción de nuevas tecnologías que se puede sumar al desconocimiento de ellas 		
	Baja			<ul style="list-style-type: none"> - Exclusión de actores relevantes en la planificación y ejecución de acciones dentro de este Eje. - Resistencia de los actores involucrados a compartir información de interés público para lograr los objetivos del Eje. - Falta de conocimientos y experiencias previas en la creación de nuevos mercados tecnológicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución injusta de la carga financiera y de responsabilidad en el desarrollo de APPs - Desalineación de la demanda de productos y servicios tecnológicos con la oferta de Costa Rica 	
	Muy Baja			<ul style="list-style-type: none"> - Desconocimiento o falta de habilidad para el acceso a fondos disponibles de organismos internacionales para proyectos de innovación y desarrollo 	<ul style="list-style-type: none"> - Desorganización del trabajo en este Eje y desalineación al objetivo común establecido - Duplicidad de esfuerzos derivada de una coordinación débil entre los actores 	
Clasificación de impacto de la matriz de riesgos						
		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Acciones de mitigación para los riesgos identificados para el Eje 2. Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde

Se propone a continuación una serie de medidas de mitigación para los principales riesgos identificados relacionados con las acciones del Eje 2. Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde

Para facilitar la priorización de acciones de mitigación, se han ordenado los riesgos de acuerdo con el impacto identificado en la matriz de riesgos de la Tabla 3.

- **Alto**

- No se identificaron riesgos de alto impacto en el Eje 2 de esta Estrategia

- **Medio**

- Falta de recursos humanos o materiales para el desarrollo de las actividades de este eje: este riesgo, si bien pudiera ser uno transversal a todos los ejes, en el eje de *Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde* toma relevancia considerando que el sector gubernamental tiene una alta responsabilidad en la provisión de recursos para la educación y el desarrollo. Las medidas de mitigación de este riesgo incluyen la inclusión del hidrógeno como un tema prioritario en la agenda de las instituciones educativas del país y desarrollar un plan de asignación de recursos a estas actividades; de ser posible, a través de fondos dedicados.

- Resistencia social a la adopción de nuevas tecnologías que se puede sumar al desconocimiento de ellas: el desarrollo de capital humano y la adopción de nuevas tecnologías depende de que los distintos actores de la sociedad conozcan las tecnologías y se sientan cómodos con ellas. Un ejemplo de este tipo de situaciones enfrentadas en países latinos son las redes urbanas de gas natural. Una misión de aprendizaje y difusión generalizada de la importancia del hidrógeno para Costa Rica podría ser una medida de mitigación adecuada, la cual podría reforzarse con la adopción del hidrógeno en entornos de alta visibilidad: como el transporte público, el transporte escolar u otros donde miembros de la sociedad civil puedan estar en contacto con la tecnología.

- Distribución injusta de la carga financiera y de responsabilidad en el desarrollo de APPs: este riesgo encuentra su mayor medida de mitigación en la asesoría jurídica, legal y financiera para las instituciones públicas que participen en APPs para actividades de hidrógeno. Es necesario que los responsables de ejecutar este tipo de contratos entiendan a detalle los montos de inversión, tiempos de retorno, riesgos y beneficios para que puedan tomar decisiones informadas y justas para todas las partes involucradas.

- Desalineación de la demanda de productos y servicios tecnológicos con la oferta de Costa Rica: un riesgo en la creación de capacidades de manufactura tecnológica es que el mercado deje de demandar los productos que ofrece. Para mitigar este riesgo, habrá que mantener un monitoreo constante de las necesidades del mercado costarricense e internacional, para adaptar ágilmente la oferta de productos y servicios tecnológicos de Costa Rica a lo que demandan los mercados. Este monitoreo puede incluir el hacer viajes a ferias industriales internacionales, mantener diálogos con Ministerios y asociaciones gremiales en otras latitudes y mantenerse atentos a las noticias en medios de comunicación públicos.

- **Bajo**

- Exclusión de actores relevantes en la planificación y ejecución de acciones dentro de este Eje: este riesgo es de baja probabilidad de ocurrencia, pero de severidad de consecuencias media. Conforme más grande sea el ecosistema del hidrógeno en Costa Rica, más retos se enfrentarán para incluirlos a todos en las discusiones sobre la planificación del sector, sin embargo, es relevante articular como medida de mitigación, mecanismos eficientes de comunicación y de difusión, para mantener cercanos a los actores cuya opinión podría enriquecer el trabajo en el tema en el país.

- Resistencia de los actores involucrados a compartir información de interés público para lograr los objetivos del Eje: este riesgo se refiere únicamente a información de interés público. Se entiende que, para todas las organizaciones, principalmente en el sector privado, la información representa una ventaja competitiva. Sin embargo, existen datos que, por su naturaleza, es recomendable que sean compartidos públicamente. Entre estos podríamos citar: planes de desarrollo de nuevos proyectos, intenciones de adquisición de equipo de

producción o consumo de hidrógeno, costos de producción y aprendizajes del desarrollo de proyectos. Este riesgo es mitigable, desde el ámbito público, mediante la creación de padrones y registros sectoriales y a través de redes de aprendizaje multidisciplinarias alrededor del hidrógeno verde.

- Falta de conocimientos y experiencias previas en la creación de nuevos mercados tecnológicos: Costa Rica cuenta con experiencia en la creación de nuevos mercados tecnológicos, sin embargo, estos han sido en el campo de los dispositivos médicos y de las tecnologías de la información; no se encontraron registros de nuevos mercados tecnológicos en energía. Esto puede suponer un reto,

- Desorganización del trabajo en este Eje y desalineación al objetivo común establecido: la desalineación del trabajo respecto a los criterios plasmados en una Estrategia es un fenómeno que puede ser positivo o negativo, según sus causas. Cuando se debe a una evolución del mercado y adaptación a él: de desviación puede ser algo fructífero, pero cuando se manifiesta este riesgo debido a malas interpretaciones o a falta de seguimiento de la Estrategia: se dejan de cumplir objetivos. Un mecanismo de mitigación de este riesgo es el monitoreo constante de acciones y vigilancia de su alineamiento con la Estrategia. Esto se encuentra ya contenido en las acciones del Plan de Acción de este documento.

- Duplicidad de esfuerzos derivada de una coordinación débil entre los actores: este riesgo es uno derivado de la falta de comunicación entre los actores. Un ejemplo es cuando en el desarrollo de un producto, dos competidores buscan desarrollar su propio producto desde cero, en vez de partir de un marco común de avance y generar diferenciadores sobre ello. Para ejemplificar lo anterior, podríamos citar las celdas de combustible, que tienen un alto número de componentes mecánicos y eléctricos comunes y donde la diferencia de valor entre un fabricante y otro, podrían ser los catalizadores empelados. Mitigar este riesgo demanda de comunicación entre las partes y del establecimiento de metas objetivo por parte del creador de política pública en cada ámbito dentro de Costa Rica.

- **Muy bajo**

- Desconocimiento o falta de habilidad para el acceso a fondos disponibles de organismos internacionales para proyectos de innovación y desarrollo: este riesgo es de muy baja probabilidad de ocurrencia, pero se cita como un recordatorio del valor que tiene poder acceder a fondos internacionales para el desarrollo de tecnologías verdes para poder apuntalar y acelerar el desarrollo de Costa Rica en este ámbito. Como principal medida de mitigación, se identifica la documentación de experiencias previas y el intercambio de conocimiento de quien ha podido acceder a estos fondos (por ejemplo, GIZ con el proyecto NAMA) hacia nuevos aspirantes a este tipo de recursos (Ministerios y otras agencias de cooperación multilateral).

6.5. Eje 3. Exportación de hidrógeno

En el eje de exportación de hidrógeno verde desde Costa Rica se han identificado cuatro líneas de acción prioritarias:

- Incremento de la capacidad de infraestructura portuaria
- Potencial de exportación a nivel regional
- Acuerdos internacionales
- Garantías de origen

Para habilitar la Exportación de hidrógeno verde desde Costa se proponen nueve acciones descritas a continuación.

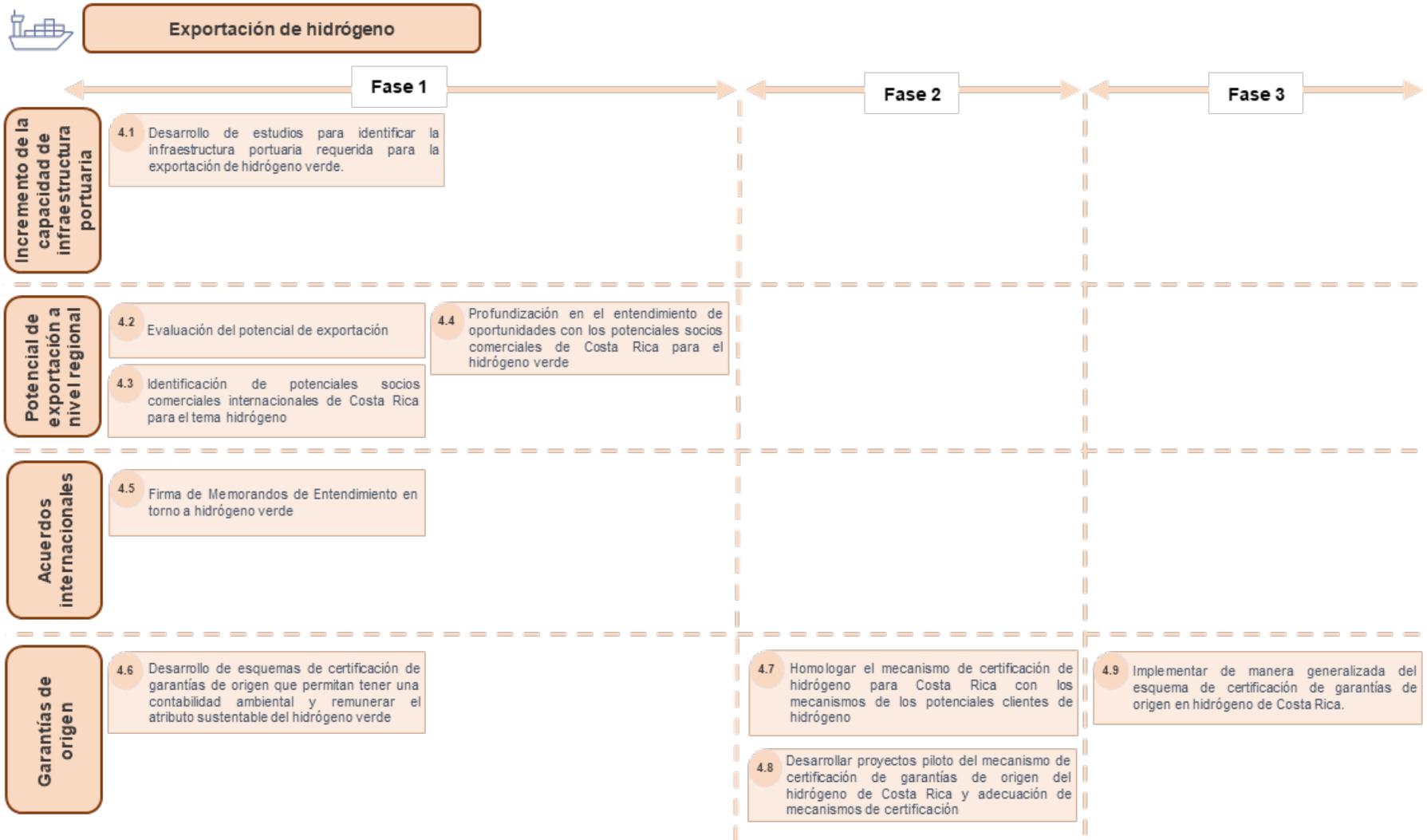


Figura 19. Bloque 3. Infraestructura y Generación

E1. Incremento de la capacidad de infraestructura portuaria

- **Fase 1**

- 4.1 Desarrollo de estudios para identificar la infraestructura portuaria requerida para la exportación de hidrógeno verde.

Como primera medida para la participación de Costa Rica en el mercado de exportación de hidrógeno verde, se observa necesario identificar y caracterizar la infraestructura portuaria que necesitaría Costa Rica. Esta identificación se realizaría a través de estudios que evalúen las tecnologías actuales de exportación de hidrógeno y las tendencias hacia el futuro del tema (matrices de exportación, tecnologías de acondicionamiento, características de los buques, etc.). Asimismo, debería considerar lo que el país ya tiene, a nivel de condiciones y facilidades en cada puerto, así como determinar sus falencias.

- **Fase 2 y 3**

Las actividades dentro de este eje se identifican únicamente en la fase 1, es decir, en el corto plazo. En caso de que los estudios reporten necesario el despliegue de otras acciones, éstas serán planeadas de acuerdo a estos hallazgos.

E2. Potencial de exportación e identificación de demanda

- **Fase 1**

- 4.2 Evaluación del potencial de exportación

Costa Rica es un país con potencial para exportación de hidrógeno. Los estudios realizados hasta el momento determinan que el potencial de producción de hidrógeno rebasa las proyecciones de demanda local. Hacen falta análisis de detalle que identifiquen las zonas donde pudieran desarrollarse proyectos de producción de gran escala, que identifiquen las necesidades de infraestructura y de inversión para participar en este mercado, además de estudios de mercado que evalúen la competitividad de Costa Rica frente a otros potenciales países exportadores. Esta acción plantea desarrollar dichos estudios, los cuales se verán complementados con la exploración de alianzas internacionales para cuantificar el tamaño de mercado de hidrógeno costarricense en el mundo.

- 4.3 Identificación de potenciales socios comerciales internacionales de Costa Rica para el tema hidrógeno

Un paso importante para la exportación de hidrógeno es la identificación de potenciales aliados y socios comerciales para Costa Rica. Esta identificación comenzará con los países con los que actualmente Costa Rica sostiene vínculos comerciales o de cooperación. Posteriormente se analizarán a los países con mayor actividad en el tema hidrógeno y se hará una evaluación de la potencial forma de colaboración del país con dichos actores identificados.

Dentro de esta acción se contempla realizar primeros acercamientos con los potenciales actores identificados y pláticas tempranas sobre las posibilidades de cooperación y exploración de proyectos de exportación.

4.4 Profundización en el entendimiento de oportunidades con los potenciales socios comerciales de Costa Rica para el hidrógeno verde

Con aquellos países con los que se haya firmado un memorando de entendimiento, se podrán entablar mesas de discusión, desarrollar estudios, hacer análisis y demás actividades cuyo objetivo sea definir la manera de colaborar. Se identifican como posibles formas de colaboración el comercio internacional de hidrógeno, la transferencia tecnológica, la capacitación de recursos humanos y la atracción de capital extranjero a Costa Rica.

- **Fase 2 y 3**

La evaluación del potencial de exportación e identificación de la demanda de hidrógeno se identifica como una acción de corto plazo que solicita agilidad y una toma de decisiones pronta si Costa Rica reúne las condiciones necesarias y decide ser un jugador del mercado internacional de hidrógeno, pueda desarrollar sus proyectos de producción y despliegue de infraestructura cuanto antes.

Tomando en cuenta lo anterior, es que las acciones de esta línea de acción se han propuesto únicamente durante la fase 1.

E3. Acuerdos internacionales

- **Fase 1**

4.5 Firma de Memorandos de Entendimiento en torno a hidrógeno verde.

Esta acción está orientada a dar continuidad a la acción anterior. Después de haber identificado a potenciales aliados de Costa Rica en el hidrógeno y de sostener conversaciones con ellos, el país podría firmar memorando de entendimiento con aquellas naciones u organizaciones internacionales con las que se hayan identificado sinergias.

Los memorandos de entendimiento que surjan de esta acción tendrán como objetivo la profundización de las discusiones y exploración de oportunidades para las partes. Serán documentos que manifiesten la buena intención para colaborar, no vinculantes y sin carácter contractual aún.

- **Fase 2 y 3**

La generación de acuerdos internacionales para la cooperación alrededor del hidrógeno verde se identifica como una acción necesaria en el corto plazo, únicamente.

E4. Garantías de origen

- **Fase 1**

4.6 Desarrollo de esquemas de certificación de garantías de origen que permitan tener una contabilidad ambiental y remunerar el atributo sustentable del hidrógeno verde

Los esquemas de certificación de garantías de origen (GoOs por sus siglas en inglés) son mecanismos que tienen como objetivo rentabilizar el precio del hidrógeno habilitando un mercado premium de esta sustancia,

el cual pague por un gas acompañado de un certificado que garantice el bajo o nulo contenido en carbono de este. En países donde los objetivos de descarbonización son altos y hay una valoración particular de este energético de origen renovable, los certificados de GoOs son sumamente valiosos. Para el caso de Costa Rica, le permitirían comercializar internacionalmente su hidrógeno, con la garantía de ser un producto que cumple con este esquema de certificación.

Los actores relevantes para esta acción son, naturalmente el Ministerio de Ambiente y Energía, como un organizador de las actividades y supervisor de su desarrollo, además de actores, tanto del sector privado, como público que estén interesados en ser entes certificadores y administradores del mecanismo en Costa Rica.

Los esquemas de certificación de garantías de origen de hidrógeno verde deben ser acompañados de una política ambiental adecuada, que incluya medidas impositivas a las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto permite al comprador poner en una balanza económica, el costo del hidrógeno verde frente a los impuestos que pagaría por contaminar. Si esta relación no existe, el riesgo que se tiene es que el mecanismo de GoOs no tenga un impacto en la creación del mercado local de hidrógeno en Costa Rica.

- **Fase 2**

- 4.7 Homologar el mecanismo de certificación de hidrógeno para Costa Rica con los mecanismos de los potenciales clientes de hidrógeno.

Costa Rica deberá desarrollar un sistema de homologación de su mecanismo de certificación de garantías de origen con aquellos mecanismos de los países interesados en adquirir hidrógeno costarricense. Este proceso se llevará a cabo, caso por caso, de acuerdo con los aliados con los que el país se relacione. Lo anterior tiene como objetivo aumentar la participación de mercado del hidrógeno costarricense en los territorios de destino y facilitar al comprador el cumplimiento con la normativa de su país.

- 4.8 Desarrollar proyectos piloto relacionados al mecanismo de certificación de garantías de origen del hidrógeno de Costa Rica y posible adecuación de este mecanismo.

Durante la segunda fase de adopción del hidrógeno en Costa Rica, deberá desarrollarse un piloto, bajo condiciones reales que rete la aplicabilidad del mecanismo de certificación de garantías de origen propuesto y que permita incluir mejoras en él.

En este piloto deberán participar aquellos actores que hayan sido parte de la creación del mecanismo de certificación, así como aquellos desarrolladores y operadores de proyectos de producción y consumo de hidrógeno que en el momento de arrancar el piloto tengan operaciones de compra – venta de manera constante y deseen ser parte de tal piloto.

- **Fase 3**

- 4.9 Implementar de manera generalizada del esquema de certificación de garantías de origen en hidrógeno de Costa Rica.

Finalmente, conforme el mercado costarricense del hidrógeno tome madurez y el volumen de transacciones de este vector energético aumente, será necesario una implementación generalizada del esquema de certificación de garantías de origen para el hidrógeno. En esa etapa los participantes de la acción serán todos aquellos productores y consumidores de hidrógeno de Costa Rica, quienes serán los usuarios del esquema que será supervisado por el MINAE y por los actores que durante la etapa de creación del mecanismo se hayan sumado a la operación de él.

Durante esta etapa se descubrirán los retos a nivel macro del esquema de certificación de las garantías de origen, los cuales serán documentados y servirán como insumo para su perfeccionamiento.

Identificación de riesgos del Eje 3: Exportación de hidrógeno

Se han identificado una serie de riesgos asociados a la implementación de las acciones del Eje 3: Exportación de hidrógeno, de esta Estrategia del Hidrógeno Verde de Costa Rica, las cuales se pueden observar en la siguiente matriz de riesgo.

Tabla 4 -Matriz de riesgos del Eje 3: Exportación de hidrógeno

		Severidad de las consecuencias				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Probabilidad de ocurrencia	Muy alta					
	Alta					
	Media				-Plazo de lanzamiento de proyectos de exportación tardío en comparación con potenciales competidores	
	Baja		-Inversión en estudios no fructífera ante la identificación de un bajo potencial de exportación de H ₂ de Costa Rica	-Falta de habilidades de negociación de contratos internacionales de <i>commodities</i> químicos o energéticos	-Falta de comprensión de los mercados internacionales del hidrógeno	
	Muy Baja				-Falta de identificación de potenciales compradores del H ₂ de Costa Rica -Incompatibilidad de los mecanismos de garantía de origen de Costa Rica con los de países destino para su H ₂	
Clasificación de impacto de la matriz de riesgos						
		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Acciones de mitigación para los riesgos identificados para el Eje 3. Exportación de hidrógeno

Se propone a continuación una serie de medidas de mitigación para los principales riesgos identificados relacionados con las acciones del Eje 3. Exportación de hidrógeno

Para facilitar la priorización de acciones de mitigación, se han ordenado los riesgos de acuerdo con el impacto identificado en la matriz de riesgos de la Tabla 4.

- **Alto**

- Plazo de lanzamiento de proyectos de exportación tardío en comparación con potenciales competidores: como en todo negocio, el tiempo significa oportunidad y el hidrógeno no es la excepción. Costa Rica deberá profundizar su entendimiento del ecosistema de exportación de hidrógeno y comenzar en el corto plazo con los planes de desarrollo de proyectos en este campo. Es importante tener en mente que los proyectos de exportación de hidrógeno, por sus dimensiones, toman varios años de desarrollo por lo que un proyecto que sea ideado en 2022 podría ver sus primeros kilogramos de hidrógeno producido entre 2025 y 2027.

- **Medio**

- Falta de comprensión de los mercados internacionales del hidrógeno: este riesgo es uno que Costa Rica ya se encuentra mitigando desde el año 2018 y que continúa haciendo. Diversos actores del país han dedicado tiempo y recursos a entender el ecosistema global del hidrógeno. Ahora es necesario cerrar el aprendizaje en términos de los mercados internacionales de este energético y salir en búsqueda de proyectos de campo.

- **Bajo**

- Falta de identificación de potenciales compradores del H₂ de Costa Rica: este es un riesgo a la exportación de hidrógeno toda vez que, sin un comprador en firme, es altamente riesgoso desarrollar un proyecto de producción de hidrógeno. Se debe mitigar este riesgo mediante la identificación de compradores, firma de memorandos de entendimiento y cuando sea momento: contratos de compraventa de esta sustancia.

- Incompatibilidad de los mecanismos de garantía de origen de Costa Rica con los de países destino para su H₂: es bien sabido ahora que el hidrógeno renovable, o verde, deberá viajar acompañado de certificados que garanticen su baja huella de carbono. Esto se hace mediante sistemas de garantías de origen que diseñan los países o las regiones económicas, como la Unión Europea. Es importante que estos certificados tengan criterios homologados para asegurar que la definición de “verde” de los países coincida y que exista un mercado estandarizado. Para mitigar este riesgo, Costa Rica tendrá la oportunidad de desarrollar su sistema de certificación de garantías de origen del hidrógeno verde haciendo estudios comparativos ente los mecanismos que se encuentran actualmente en desarrollo o en etapas tempranas de implementación, como es en caso de CertifHy®, el sistema marco de la Unión Europea.

- **Muy bajo**

- Inversión en estudios no fructífera ante la identificación de un bajo potencial de exportación de H₂ de Costa Rica: esta Estrategia plantea que Costa Rica aún tiene que desarrollar estudios posteriores para profundizar su conocimiento del mercado de exportación y fijar posturas sobre sus volúmenes, mercados de interés y estrategias de comercialización. Existe un riesgo de que estos estudios arrojen resultados desfavorables para la exportación de hidrógeno verde desde Costa Rica, sin embargo, de manera intuitiva ya se puede presumir que este riesgo es muy bajo dado el alto potencial renovable del país, su posición geográfica favorable y su avance en la creación de condiciones habilitantes para el establecimiento de un mercado de hidrógeno en América Latina.

6.6. Acciones del corto plazo para el hidrógeno en Costa Rica y sus responsables

A lo largo del Plan de Acción de esta Estrategia del Hidrógeno Verde de Costa Rica, se han enunciado las acciones que se proponen para desarrollar en Costa Rica un mercado maduro y versátil de hidrógeno verde: tanto en lo que respecta a su adopción, como al desarrollo de capacidades de desarrollo tecnológico en su cadena de valor y en exportación. A modo de resumen: se muestran a continuación las acciones de la Fase 1 (horizonte temporal de aproximadamente 2 años) con sus respectivos actores identificados.

Tabla 5 - Acciones de corto plazo y responsables de las Condiciones habilitantes

Línea de acción	Acción No.	Descripción	Responsable(s)	Otros actores involucrados
Normativa y regulación	1.1	Promover el avance de la normativa técnica referente al hidrógeno verde en toda su cadena de valor que está desarrollando INTECO	MINAE (SEPSE)	INTECO
	1.2	Dar mayor visibilidad al trabajo realizado por la comisión técnica INTECO	INTECO	SEPSE - MINAE
	1.3	Elaborar Reglamentos Nacionales con base en la normativa técnica elaborada en el marco de INTECO para garantizar seguridad	MINAE (DE, DGTCC) MOPT	INTECO
	1.4	Promover la habilitación de las instituciones y empresas del sector público (energía y transporte) para participar en la investigación, producción, almacenamiento, distribución, comercialización y promoción del hidrógeno	MINAE	ICE RECOPE
Incentivos	1.7	Desarrollar un estudio de identificación y evaluación de la conveniencia de posibles incentivos fiscales para el desarrollo de proyectos de hidrógeno	MINAE (SEPSE) Ministerio de Hacienda	---
	1.8	Promover un marco jurídico para desarrollar nuevos esquemas de generación y aprovechamiento de la electricidad en Costa Rica para lograr precios competitivos de energía renovable para la producción de hidrógeno y otros usos descarbonizantes	MINAE	---
	1.9	Apoyar la estrategia del Plan de Energía para la reducción o eliminación de subsidios a los combustibles fósiles.	MINAE (SEPSE) Ministerio de Hacienda	---
	1.10	Habilitar estímulos fiscales y no fiscales para el uso del hidrógeno, especialmente, en el transporte de carga.	MINAE (DE) Ministerio de Hacienda	MOPT
Tramitología	1.12	Revisar los procedimientos actuales para el otorgamiento del licenciamiento ambiental; identificando mejoras en los procesos que faciliten el trámite de las solicitudes para proyectos de hidrógeno verde	MINAE (SETENA)	---
	1.13	Identificar las instituciones responsables de otorgar los permisos, autorizaciones y concesiones para toda la cadena de valor del H2V, e identificar oportunidades de mejora en los procesos existentes, con el fin de reducir el tiempo	MINAE (DE, DGTCC)	MOPT

Tabla 6 - Acciones de corto plazo y responsables en el Eje 1 - Descarbonización del sector transporte e industria

Línea de acción	Acción No.	Descripción	Responsable(s)	Otros actores involucrados
Financiamiento e inversión extranjera	2.1	Crear instrumentos que permitan a la banca nacional el financiamiento de proyectos de hidrógeno verde.	Bancos públicos de Costa Rica	Ministerio de Hacienda
	2.2	Solicitar acceso a fondos climáticos que permitan establecer líneas de crédito con condiciones atractivas para el hidrógeno en Costa Rica.	MINAE	Otros ministerios del gobierno de Costa Rica
	2.3	Fomentar programas de inversión en hidrógeno y desarrollar programas o talleres de apoyo a la elaboración de proyectos que sean bancables.	MINAE	PROCOMER
	2.4	Crear mecanismos de inversión extranjera en Costa Rica específicos para proyectos vinculados a la cadena de valor del hidrógeno verde.	PROCOMER	SEPSE - MINAE
Demanda nacional de hidrógeno verde	2.8	Implementar el proyecto contenido dentro de la NAMA "Green Hydrogen" de adopción de hidrógeno en el transporte de carga en Costa Rica.	GIZ MINAE (DE)	Actores privados involucrados en el proyecto
	2.9	Planificar la demanda de hidrógeno verde en el transporte (terrestre, marítimo y aéreo); así como, la identificación de mercados y oportunidades para el hidrógeno en Costa Rica.	MINAE (SEPSE)	---
	2.10	Fomentar hubs, clústeres, valles del hidrógeno y alianzas para la activación de la demanda de hidrógeno verde en Costa Rica.	MINAE	MEIC
	2.11	Establecer un plan de adopción industrial que incluya la activación de la demanda de hidrógeno en la industria, para su uso energético y como materia prima verde, en función de los planes de descarbonización.	MINAE	MEIC
Producción y almacenamiento de hidrógeno	2.14	Definir las oportunidades existentes para la producción de hidrógeno verde en Costa Rica mediante la capacidad disponible de excedentes de energía de la red.	MINAE (SEPSE)	ICE, ARESEP
	2.15	Consolidar la definición de tarifa T-UD para buscar que la producción de hidrógeno a partir de la red eléctrica sea competitiva.	ARESEP	ICE
	2.16	Evaluar capacidades de almacenamiento de H ₂ y proyección de la demanda de almacenamiento a gran escala.	MINAE (SEPSE)	---
	2.17	Realizar estudios de estrés hídrico, estudios de impacto ambiental y desalinización en zonas con alto potencial renovable.	MINAE (DA)	---
Transporte y distribución de hidrógeno	2.22	Generar una hoja de ruta para el despliegue de infraestructura necesaria al desarrollo del mercado de hidrógeno verde en Costa Rica.	MINAE	MOPT
	2.23	Realizar un plan para el desarrollo de la red de cobertura mínima, que defina la cantidad y ubicación de estaciones de recarga vehicular mínimas para el despliegue del mercado de hidrogeno en Costa Rica.	MINAE (SEPSE)	MOPT

Tabla 7 - Acciones de corto plazo y responsables en el Eje 2 Desarrollo de un hub tecnológico y de innovación en hidrógeno verde

Línea de acción	Acción No.	Descripción	Responsable(s)	Otros actores involucrados
Coordinación y alianzas estratégicas	3.1	Creación de grupos de trabajo multilaterales (sector privado, público y academia) y especializados para la organización del trabajo y división de tareas alrededor del hidrógeno verde en Costa Rica.	MINAE	---
	3.2	Desarrollo de proyectos a través de alianzas público – privadas.	Múltiples actores del sector público y privado	---
	3.3	Consolidación de canales de comunicación entre las asociaciones de hidrógeno de Costa Rica y el ministerio, y fortalecimiento nacional mediante colaboración de empresas, instituciones, universidades, centros tecnológicos.	MINAE	Alianza por el Hidrógeno y Asociación Costarricense del Hidrógeno
Capacitación y formación	3.6	Identificar las necesidades de capital humano (técnico y profesional) para desempeñarse como profesionales al sector del hidrógeno verde.	MICITT	SEPSE – MINAE
	3.7	Fortalecer conocimientos mediante la colaboración con instituciones y empresas de otros países y organismos regionales e internacionales.	MINAE	Instituciones académicas de Costa Rica
	3.8	Realizar una campaña de sensibilización hacia tecnologías de H2V para difundir sus ventajas y desventajas.	MINAE	Alianza por el Hidrógeno y Asociación Costarricense del Hidrógeno
	3.9	Establecer programas de capacitación y desarrollo de capacidades a todos los niveles, considerando las buenas prácticas y experiencias internacionales.	MICITT	Instituciones académicas de Costa Rica
Desarrollo tecnológico y proyectos piloto	3.11	Identificar las tecnologías clave en las que Costa Rica buscaría especializarse.	Instituciones académicas de Costa Rica	MINAE (SEPSE)
	3.12	Establecer metas nacionales de aspectos tecnológicos.	Dirección de Energía - MINAE	---
	3.13	Elaborar un diagnóstico y hoja de ruta relacionados con los recursos necesarios para crear capacidades de desarrollo tecnológico.	MIDEPLAN	MINAE (SEPSE)
	3.14	Generar espacio de coordinación entre cooperación internacional, el MINAE y actores relevantes para el desarrollo de proyectos piloto, de manera coordinada y bien orientados.	MINAE	Actores del sector privado interesados en el desarrollo de pilotos
	3.15	Identificar proyectos piloto orientados a los mercados objetivos de Costa Rica.	MINAE	Actores del sector privado interesados en el desarrollo de pilotos
Apoyo a la innovación	3.22	Desarrollar alianzas academia – sector privado para fomentar la innovación y el hidrógeno verde en el sector.	Instituciones académicas de Costa Rica	Actores del sector privado
	3.23	Promover centros de investigación y transferencia tecnológica enfocados en temas de hidrógeno verde.	Instituciones académicas de Costa Rica	Actores del sector privado
	3.24	Vincular a la Promotora Costarricense de Innovación e Investigación y al MICITT como entes encargados de convocatorias I+D+i en temas relacionados con el hidrógeno verde.	PROCOMER y MICITT	Instituciones académicas de Costa Rica

Tabla 8 - Acciones de corto plazo y responsables en el Eje 3 - Exportación de hidrógeno

Línea de acción	Acción No.	Descripción	Responsable(s)	Otros actores involucrados
Incremento de la capacidad de infraestructura portuaria	4.1	Desarrollo de estudios para identificar la infraestructura portuaria requerida para la exportación de hidrógeno verde.	MINAE (SEPSE)	---
Potencial de exportación a nivel regional	4.2	Evaluación del potencial de exportación.	MINAE (SEPSE)	---
	4.3	Identificación de potenciales socios comerciales internacionales de Costa Rica para el tema hidrógeno.	MINAE	COMEX
	4.4	Profundización en el entendimiento de oportunidades con los potenciales socios comerciales de Costa Rica para el hidrógeno verde.	COMEX	---
Acuerdos internacionales	4.5	Firma de Memorandos de Entendimiento en torno a hidrógeno verde.	MINAE	ICE
Garantías de origen	4.6	Desarrollo de esquemas de certificación de garantías de origen que permitan tener una contabilidad ambiental y remunerar el atributo sustentable del hidrógeno verde.	MINAE (SEPSE, DE, DCC)	---

7. Modelo de gestión y gobernanza

Modelo de gestión y gobernanza

La promoción y desarrollo del mercado del hidrógeno verde en Costa Rica requiere de la participación de los diferentes actores del **ámbito público, privado, academia y sociedad civil**.

Dentro del **sector público**, las rectorías de los sectores permiten coordinar, articular y conducir sus actividades asegurándose que éstas sean cumplidas.

La participación del **sector privado** es preponderante a lo largo de toda la cadena de valor del hidrogeno y participan impulsando el desarrollo económico y social del país como generador de conocimiento, de empleos y de inversión.

El **sector académico** participa de forma activa en la construcción de la ruta hacia la descarbonización de Costa Rica y el uso del hidrogeno en Costa Rica, poniendo a disposición de la sociedad el desarrollo científico, tecnológico y la innovación. Las universidades, institutos de educación técnica y laboratorios de investigación son actores claves en el desarrollo de la Estrategia Nacional de Hidrogeno Verde de Costa Rica y tendrán la responsabilidad de adquirir, generar y transferir el conocimiento técnico - práctico necesario que permita el impulso del uso de hidrogeno verde en Costa Rica y sus diferentes aristas de la cadena de valor.

El liderazgo para la transición hacia la descarbonización mediante el uso del hidrogeno verde recae en el ministro del **Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)**, como ministro Rector; siendo el ministro la autoridad rectora del medioambiente y la energía, responsable por las acciones frente al cambio climático y las normas de emisión de gases contaminantes.

Para el Subsector Energía, el ministro Rector del MINAE se apoya en la Secretaría de Planificación del Subsector Energía (SEPSE), órgano asesor, coordinador y planificador. El Subsector Energía cuenta con el Consejo Subsectorial de Energía (CSE). Este Consejo, conformado por los jefes de las instituciones del subsector, es un órgano de coordinación y consulta del Ministro Rector en cuanto a los planes, programas y metas que le corresponde ejecutar según las políticas gubernamentales. Asimismo, el Comité Técnico Subsectorial de Energía, conformado por los planificadores de las instituciones del subsector, coordina y promueve el proceso de planificación entre dichas instituciones.

Es importante resaltar que tanto el Gobierno Central, las instituciones descentralizadas y autónomas y las municipalidades, deben reconocer y asumir los roles fundamentales que les corresponden en el proceso de transición energética y descarbonización de Costa Rica.

Para el desarrollo de las funciones indicadas, el liderazgo correrá por parte del ministro del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) apoyado por la Secretaría de Planificación del Subsector de Energía (SEPSE) como ente encargado de vigilar el cumplimiento de la Estrategia Nacional de Hidrogeno Verde Costa Rica. Estos se apoyarán de un Consejo de Seguimiento, conformado por el Comité Técnico Subsectorial de Energía (CTSE) y de los Comités Ad Hoc Temporales (conformados por entidades públicas y privadas) que se reunirá con una periodicidad semestral, sin perjuicio de que puedan convocarse reuniones extraordinarias cuando así

se considere oportuno para dar seguimiento a la implantación de la estrategia. Adicionalmente, el modelo de gobernanza podrá ser acompañado por el Sistema Nacional de la Calidad (ECA-INTECO).

Los miembros podrán requerir de la participación puntual de algunos expertos del sector con el fin de debatir, enriquecer y facilitar la toma de decisiones informadas sobre alguna temática en específico, así como en la gestión del comité de seguimiento.

Modelo de Gobernanza de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde

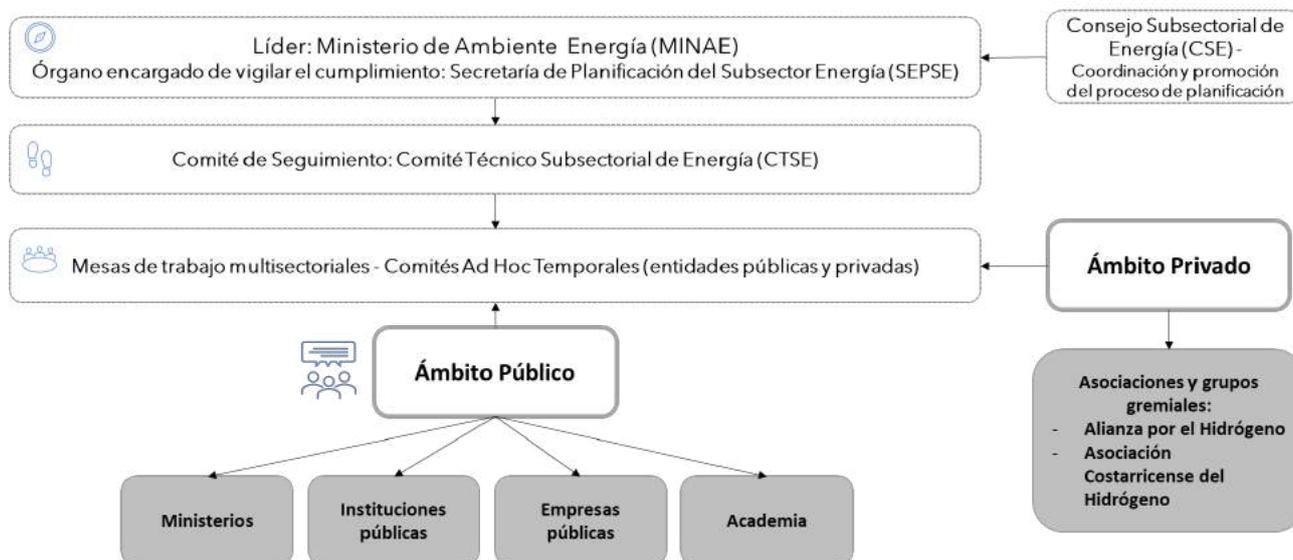


Figura 20 - Modelo de Gobierno de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde de Costa Rica

Funciones del líder:

El ministro del Ministerio de Ambiente y Energía, es el responsable de ordenar las directrices y liderar el cumplimiento de la Estrategia Nacional de Hidrogeno Verde de Costa Rica. Es el rector del ambiente y la energía, responsable por las acciones frente al cambio climático y las normas de emisión de gases contaminantes, así como del sector energético.

Funciones del órgano asesor, coordinador y planificador.

La Secretaría de Planificación del Subsector Energía (SEPSE) funge como el órgano asesor, coordinador y planificador de Estrategia Nacional de Hidrogeno Verde de Costa Rica. Es el responsable de vigilar y reportar los avances en materia de hidrogeno ligados a Estrategia Nacional de Hidrogeno Verde de Costa Rica. También es el responsable de coordinar y convocar a las diferentes partes interesadas en el proceso.

Funciones del Comité de Seguimiento

Las funciones para desarrollar por este órgano público – privado se describen a continuación:

- Aportar a la visión global de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en Costa Rica en cuanto lo relacionado con la implementación, monitorización y evaluación de esta.
- Implementar un plan de mejora continua, elaborando recomendaciones generales para ir explotando todas aquellas oportunidades en materia de hidrogeno verde que vayan surgiendo.
- Apoyar activamente a los distintos ministerios en la aplicación de las medidas.

- Impulsar la formación de consorcios y sinergias nacionales e internacionales con el objetivo de atraer inversiones y facilitar la financiación de los proyectos.
- Identificar nuevas áreas o iniciativas que puedan impulsar el desarrollo del hidrogeno verde en Costa Rica e impulsar su desarrollo.

Anexo 1. Indicadores de seguimiento de la Estrategia

Para realizar un seguimiento de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en Costa Rica y monitorear el avance del país con respecto al hidrógeno verde y las metas planteadas, se realizará un monitoreo periódico, basado en una serie de indicadores asociados con las metas.

Los indicadores de progreso deben ser analizados con una periodicidad mínima de dos años. La evaluación del avance de Costa Rica en el hidrógeno verde tiene como principal objetivo entregar datos que permitan realizar las modificaciones necesarias a la Estrategia, velando por que esta se mantenga en línea con los objetivos de sustentabilidad y descarbonización del país, así como con las tendencias del mercado.

Los indicadores se han enmarcado en tres áreas, de manera homóloga a las metas, es decir: producción, demanda y transversales.

Indicadores de producción

- Capacidad de electrólisis

Nombre del indicador	1. Capacidad de electrólisis de Costa Rica
Propuesta de indicador para Costa Rica	Cantidad de proyectos de electrólisis instalados y en desarrollo en Costa Rica. La electrólisis en desarrollo incluye proyectos en etapas de diseño, ingeniería, financiamiento, obtención de permisos y en construcción.
Meta	Entre 200 y 1000 MW de electrólisis instalada y en desarrollo para 2030.
Fuente	MINAE
Número del indicador	1
Definición conceptual	Se trata del volumen de electrólisis instalada y en proceso de desarrollo, expresado en MW, que se haya instalado o esté en etapas de planificación o construcción en Costa Rica al momento de la determinación.
Fórmula de cálculo	$C_{Ez} = C_{ins} + C_{con} + C_{des}$ <p>Donde:</p> <p>C_{Ez}: Capacidad de electrólisis de Costa Rica, expresada en MW</p> <p>C_{ins}: Capacidad de electrólisis instalada, expresada en MW</p> <p>C_{con}: Capacidad de electrólisis en construcción</p> <p>C_{des}: Capacidad de electrólisis en desarrollo, es decir, etapas previas a la construcción, expresada en MW</p>
Unidad de medida	Mega watts [MW]
Cobertura	Nacional
Desagregación	Región
Periodicidad	Bianual (al menos)
Datos requeridos	Total, de proyectos de electrólisis que se hayan ejecutado o de los que se cuente con información sobre su estado de avance.

Tipo de fuente de datos	Permisos emitidos, datos de importación de equipo de electrólisis, encuesta.
Disponibilidad	Desde: 2022
	Hasta: 2030
Oportunidad	NA
Observaciones y comentarios	MINAE será responsable de generar el registro de proyectos desarrollados en el país, desde su fase de planeación, de cualquier tipo de electrólisis (PEM, alcalina, AEM, etc.)

- Cantidad de hidrógeno producido

2. Cantidad de hidrógeno producido	
Nombre del indicador	2. Cantidad de hidrógeno producido
Propuesta de indicador para Costa Rica	Se propone monitorear y llevar registro de la cantidad de hidrógeno producido en Costa Rica a partir de los distintos proyectos de producción que se desarrollen en el país.
Meta	>20 kilo toneladas anuales de hidrógeno en 2030
Fuente	MINAE
Número del indicador	2
Definición conceptual	Cantidad de gas hidrógeno verde producido en Costa Rica a partir de cualquier proyecto de generación construido a partir de la publicación de esta Estrategia.
Fórmula de cálculo	$V_{H_2} = \sum_{x=1}^{x=n} V_x$ <p>Donde:</p> <p>V_{H_2}: Cantidad de hidrógeno producido en Costa Rica</p> <p>x: Proyecto de producción de hidrógeno</p> <p>n: Número total de proyectos de producción de hidrógeno</p> <p>V_x: Cantidad de hidrógeno producido anualmente por el proyecto número x de producción de hidrógeno de Costa Rica</p>
Unidad de medida	Kilo toneladas anuales [kton/año] 1 kton/año = 1000 toneladas/año
Cobertura	Nacional
Desagregación	Región
Periodicidad	Bianual (al menos)
Datos requeridos	Cantidad de hidrógeno producido por cada proyecto desarrollado en Costa Rica
Tipo de fuente de datos	Registros por solicitud de la autoridad o encuestas
Disponibilidad	Desde: 2022
	Hasta: 2030
Oportunidad	NA

Observaciones y comentarios	MINAE será el responsable de coordinar un sistema de registro para conocer el volumen total de producción de hidrógeno verde en el país. Este indicador, correlacionado con la capacidad de electrólisis, permitirá conocer el estado de aprovechamiento de los activos de generación.
-----------------------------	--

- Costo de producción

Nombre del indicador	3. Costo de producción del hidrógeno
Propuesta de indicador para Costa Rica	Se propone establecer como indicador del avance en la Estrategia del Hidrógeno Verde al costo de producción de hidrógeno, medido en dólares americanos por kilogramo de gas.
Meta	>2 USD/kg de hidrógeno
Fuente	MINAE
Número del indicador	3
Definición conceptual	Promedio ponderado del costo unitario del hidrógeno producido dentro de Costa Rica, de acuerdo con el volumen de producción de cada proyecto participante en la métrica
Fórmula de cálculo	$LCOH_{CR} = \frac{\sum_{x=1}^{x=n} V_x LCOH_x}{\sum_{x=1}^{x=n} V_x}$ <p>Donde: LCOH_{CR}: Costo de producción del hidrógeno en Costa Rica x: Proyecto de producción de hidrógeno n: Número total de proyectos de producción de hidrógeno V_x: Cantidad de hidrógeno producido anualmente por el proyecto número x de producción de hidrógeno en Costa Rica LCOH_x: Costo de producción del hidrógeno producido por el proyecto x</p>
Unidad de medida	Dólares americanos por kilogramo de hidrógeno [USD/kg H ₂]
Cobertura	Nacional
Desagregación	Región
Periodicidad	Bianual (al menos)
Datos requeridos	Cantidades de hidrógeno producidas y costos del hidrogeno producido por planta
Tipo de fuente de datos	Encuestas
Disponibilidad	Desde: 2022 Hasta: 2030
Oportunidad	NA
Observaciones y comentarios	La relevancia de este indicador está en conocer la competitividad del hidrógeno verde producido en el país para poder realizar una planeación del despliegue de nuevas aplicaciones de uso de este gas, en función de sus costos.

Indicadores de demanda

- Número de vehículos pesados y ligeros

4. Número de vehículos pesados y ligeros de hidrógeno	
Propuesta de indicador para Costa Rica	Se propone como un indicador del avance de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde el número de vehículos de hidrógeno que se adopten en Costa Rica
Meta	De 1500 a 1900 vehículos pesados y de 100 a 250 vehículos ligeros en el año 2030
Fuente	MINAE
Número del indicador	4
Definición conceptual	Suma de vehículos adoptados en Costa Rica tanto en los sectores pesados (camiones de carga y buses) como en sectores ligeros (vehículos de pasajeros y utilitarios de capacidad de carga inferior a una tonelada)
Fórmula de cálculo	$FCEV_{CR} = \sum_{x=1}^n FCEV_P + \sum_{Y=1}^n FCEV_L$ <p>Donde:</p> <p>FCEV_{CR}: Número de vehículos pesados y ligeros de hidrógeno</p> <p>x: Vehículos del segmento pesado</p> <p>y: Vehículos del segmento ligero</p> <p>n: Número total de vehículos (por segmento)</p> <p>FCEV_P: Cantidad de vehículos de hidrógeno del segmento pesado</p> <p>FCEV_L: Cantidad de vehículos de hidrógeno del segmento ligero</p>
Unidad de medida	Número de vehículos
Cobertura	Nacional
Desagregación	Región
Periodicidad	Bianual (al menos)
Datos requeridos	Número de vehículos de hidrógeno circulantes en Costa Rica
Tipo de fuente de datos	Registro de unidades vehiculares en Costa Rica
Disponibilidad	Desde: 2022 Hasta: 2030
Oportunidad	NA
Observaciones y comentarios	MINAE y MOPT desarrollarán un censo de vehicular de unidades impulsadas por hidrógeno, clasificándolas por el tipo de hidrógeno que ellas recarguen (250 bar o 700 bar). Este dato es un indicativo directo del cumplimiento de metas de esta Estrategia.

- Volumen de demanda de hidrógeno por segmento

5. Volumen de demanda de hidrógeno por sector	
Propuesta de indicador para Costa Rica	Se propone medir la penetración del hidrógeno como un energético en cada sector económico de Costa Rica (industria, transporte, residencial, etc.)
Meta	Para 2030: de 16 a 18 kton H ₂ /año en el sector transporte y de 2 a 4 kton H ₂ /año en el sector industrial
Fuente	MINAE
Número del indicador	5
Definición conceptual	Cantidad de hidrógeno consumido anualmente en los principales sectores económicos establecidos como objetivo de descarbonización del hidrógeno en esta Estrategia
Fórmula de cálculo	$V_{H_2 \text{ en } s} = \sum_{i=1}^n V_i$ <p>Donde:</p> <p>V_{H₂ en s}: Cantidad de hidrógeno en el sector S, donde S puede ser Transporte, Industria u otro.</p> <p>i: Proyecto de consumo de hidrógeno</p> <p>n: Número de proyectos de consumo de hidrógeno</p> <p>V_i: Cantidad de hidrógeno adoptado por el proyecto i</p>
Unidad de medida	Kilo toneladas de hidrógeno anuales [ktonH ₂ /año]
Cobertura	Nacional
Desagregación	Región
Periodicidad	Bianual (al menos)
Datos requeridos	Cantidad de hidrógeno demandado por cada sector de estudio. Se sugiere al menos el transporte y la industria
Tipo de fuente de datos	Encuestas y registros de proyectos
Disponibilidad	Desde: 2022 Hasta: 2030
Oportunidad	NA
Observaciones y comentarios	Este dato, monitoreado por SEPSE, será relevante para la planeación de la infraestructura de recarga de hidrógeno vehicular, además de que brinda información sobre la tasa de aprovechamiento de los vehículos en cada sector, lo que permite trazar estrategias de adopción de vehículos de celda de combustible más asertivas. Este indicador se usará para la determinación indirecta de las emisiones abatidas de CO ₂ en el sector del transporte.

- Número de proyectos industriales

Nombre del indicador		6. Número de proyectos industriales
Propuesta de indicador para Costa Rica	Se propone que Costa Rica cuente y use como un indicador el número de proyectos industriales de adopción de hidrógeno ejecutados en el país, ya sea para su uso como energético o como materia prima	
Meta	Sin meta establecida	
Fuente	MINAE	
Número del indicador	6	
Definición conceptual	Cantidad de proyectos industriales de adopción de hidrógeno en Costa Rica	
Fórmula de cálculo	$N_{H_2} = \sum_{i=1}^n P_i$ <p>Donde:</p> <p>N_{H_2}: 6. Número de proyectos industriales</p> <p>i: Número de proyecto</p> <p>n: Cantidad total de proyectos en Costa Rica</p> <p>P_i: Proyecto individual</p>	
Unidad de medida	Número de proyectos [# proyectos]	
Cobertura	Nacional	
Desagregación	Región	
Periodicidad	Bianual (al menos)	
Datos requeridos	Número y tipo de proyectos industriales de adopción de hidrógeno de Costa Rica	
Tipo de fuente de datos	Encuestas y registros de proyectos	
Disponibilidad	Desde: 2022	
	Hasta: 2030	
Oportunidad	NA	
Observaciones y comentarios	Este indicador permitirá conocer el grado de interés de la industria costarricense para adoptar el hidrógeno, además de brindar información geográfica sobre la ubicación de la demanda, de forma que este indicador sirve también como insumo para la planeación de clústeres o hubs de hidrógeno	

Indicadores de impacto

- Inversiones acumuladas en el sector

Nombre del indicador	7. Inversiones acumuladas en el sector hidrógeno
Propuesta de indicador para Costa Rica	Se propone contar con el volumen total acumulado de inversiones en el sector hidrógeno como un indicador de impacto de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde de Costa Rica
Meta	De 1000 a 2500 millones de USD para 2030
Fuente	MINAE (por determinar las fuentes)
Número del indicador	7
Definición conceptual	Cantidad total acumulada de inversión en proyectos de producción, consumo e infraestructura para la cadena de valor del hidrógeno verde en Costa Rica
Fórmula de cálculo	$Inv = \sum_{i=1}^{i=n} Inv_i$ <p>Donde: Inv: Inversión total acumulada del sector hidrógeno en Costa Rica i: Número del proyecto de producción, demanda o infraestructura n: Número total de proyectos Inv_i: Monto de la inversión por proyecto</p>
Unidad de medida	Millones de dólares americanos [Millones USD]
Cobertura	Nacional
Desagregación	Región
Periodicidad	Bianual (al menos)
Datos requeridos	Montos de inversión por proyecto
Tipo de fuente de datos	Encuestas, Registros de inversión
Disponibilidad	Desde: 2022 Hasta: 2030
Oportunidad	NA
Observaciones y comentarios	Se debe determinar cuáles instituciones serán las responsables de informar sobre este indicador al MINAE: MEIC, PROCOMER o el Ministerio de Hacienda. Se buscará cuantificar el volumen de inversiones realizadas en el país para el desarrollo de proyectos de producción y adopción de hidrógeno verde. La utilidad del indicador está en poder cuantificar el impacto económico de este nuevo energético en la economía costarricense.

- Empleos directos e indirectos del sector (número de empleos de tiempo completo)

8. Empleos directos e indirectos del sector	
Propuesta de indicador para Costa Rica	De acuerdo con el eje 2 de esta Estrategia “Desarrollo de un hub tecnológico de hidrógeno en Costa Rica” se propone al número de empleos directos como un indicador del impacto de la Estrategia.
Meta	De 15 a 30 mil empleos en 2030
Fuente	MINAE (por determinar las fuentes)
Número del indicador	8
Definición conceptual	Número de empleos directos e indirectos de tiempo completo generados por los negocios de hidrógeno en Costa Rica
Fórmula de cálculo	$Emp_{Total} = \sum_{a=1}^{a=n} FTE_a(KPI_a)$ <p>Donde:</p> <p>Emp_{Total}: Número total de empleos generados en Costa Rica por el hidrógeno</p> <p>a: Actividad de estudio</p> <p>n: Total de actividades</p> <p>FTE_a: Factor de empleabilidad de la actividad a</p> <p>KPI_a: Factor de medición de la empleabilidad en la actividad a</p>
Unidad de medida	Empleos de tiempo completo [FTE]
Cobertura	Nacional
Desagregación	Provincia
Periodicidad	Bianual (al menos)
Datos requeridos	Factores de empleabilidad de las actividades en la cadena de valor del hidrógeno, indicadores propios de cada actividad en estudio
Tipo de fuente de datos	Informes internacionales sobre la empleabilidad de las actividades de hidrógeno, informes nacionales y encuestas sobre el nivel de avance del hidrógeno en el país.
Disponibilidad	Desde: 2022 Hasta: 2030
Oportunidad	NA
Observaciones y comentarios	Se deberán determinar las fuentes que reportarán al MINAE, como el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica, quienes monitorearán los empleos directos e indirectos producidos por la nueva actividad del hidrógeno verde en el país. Este indicador además de ser uno directamente comparable con las metas de la Estrategia, es un indicador de bienestar social en el país, que puede incluirse en las métricas del país en cuanto a generación de empleo.

Indicador de gestión

- Acciones de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde implementadas (número de acciones):

Nombre del indicador	9. Acciones de la Estrategia de Hidrógeno implementadas
Propuesta de indicador para Costa Rica	Se propone tomar como un indicador de la gestión realizada para la implementación de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde y su Plan de Acción: al número total de acciones consolidadas respecto a las 77 acciones contenidas en el documento.
Meta	77 acciones entre el 2030 y 2040
Fuente	MINAE
Número del indicador	9
Definición conceptual	
Fórmula de cálculo	$AI = \sum_{x=1}^n A_x$ <p>Donde: AI: Número de acciones implementadas x: Contador de acciones n: Número de acciones exitosamente implementadas Ax: Acción implementada</p>
Unidad de medida	Número de acciones [# acciones]
Cobertura	Nacional
Desagregación	Nacional
Periodicidad	Bianual (al menos)
Datos requeridos	Número de acciones exitosamente implementadas del Plan de Acción de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde de Costa Rica
Tipo de fuente de datos	Encuestas y evaluaciones internas del MINAE, con base en los reportes de los responsables
Disponibilidad	Desde: 2022 Hasta: 2030
Oportunidad	NA
Observaciones y comentarios	Se propone como indicador de gestión de la presenta Estrategia y de su Plan de Acción, la contabilización del número de acciones exitosamente realizadas o en proceso de avance en el tiempo, considerando las 77 acciones contenidas en este documento.

Anexo 2. Plan de Socialización

Mapa de actores de hidrógeno verde de Costa Rica

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica nace como un proceso participativo que plantea la adopción del hidrógeno verde como un proceso continuo de cooperación entre los actores del ecosistema costarricense. Por esta razón durante la elaboración de la estrategia se ha llevado a cabo un plan de socialización con el objetivo de reunir a los stakeholders de distintas áreas y especializaciones para incorporar a todos en el proceso de elaboración de esta estrategia país.

Se identificaron 125 actores, que se distribuyeron en varias categorías según su alcance, ámbito y por tipo de organización, adicionalmente para las empresas tanto públicas como privadas se les calificó dentro de la cadena de valor del hidrógeno verde. En la siguiente imagen se muestra la distribución de los actores.

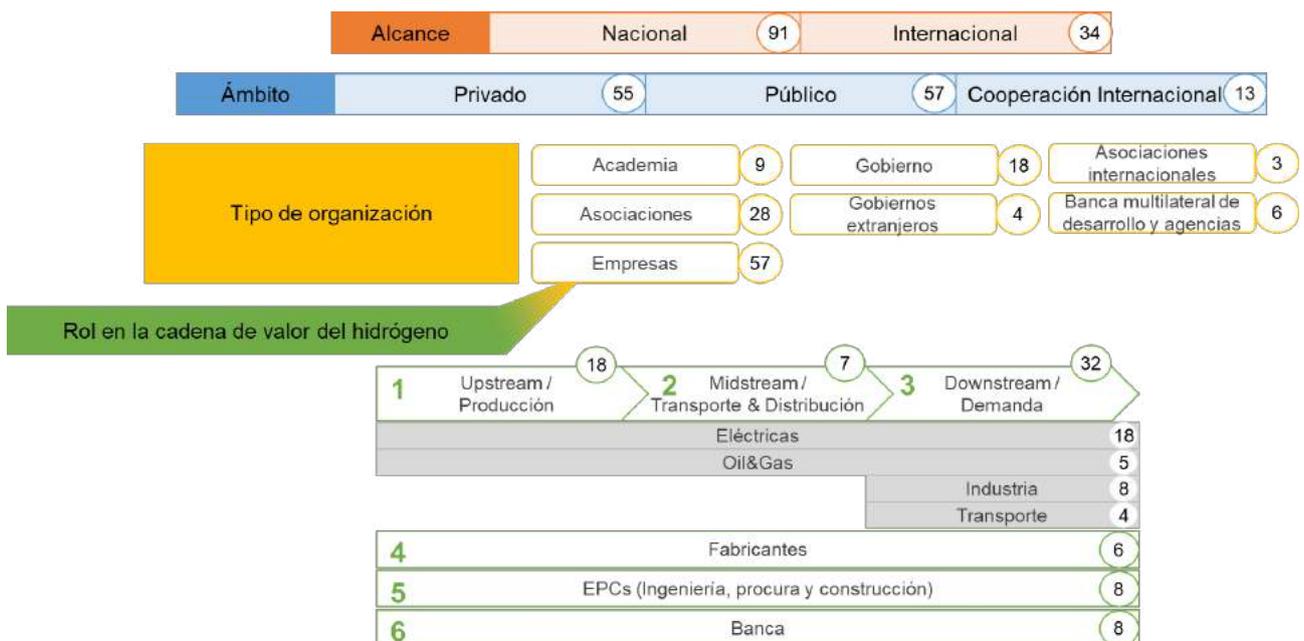


Figura 21. Distribución de Stakeholders

Metodología para la construcción de la Estrategia

Los componentes de una estrategia son aquellos aspectos claves que establecerán sus bases, el enfoque y la orientación de las actividades con base en resultado que se quiere lograr. Para definir estos aspectos se utilizó el concepto de la pirámide estratégica, que plantea una serie de elementos a definir comenzando por la cúspide de la pirámide hasta alcanzar la base y cubrir todos los aspectos que debe abordar una estrategia. En la siguiente figura se muestra este concepto gráficamente.

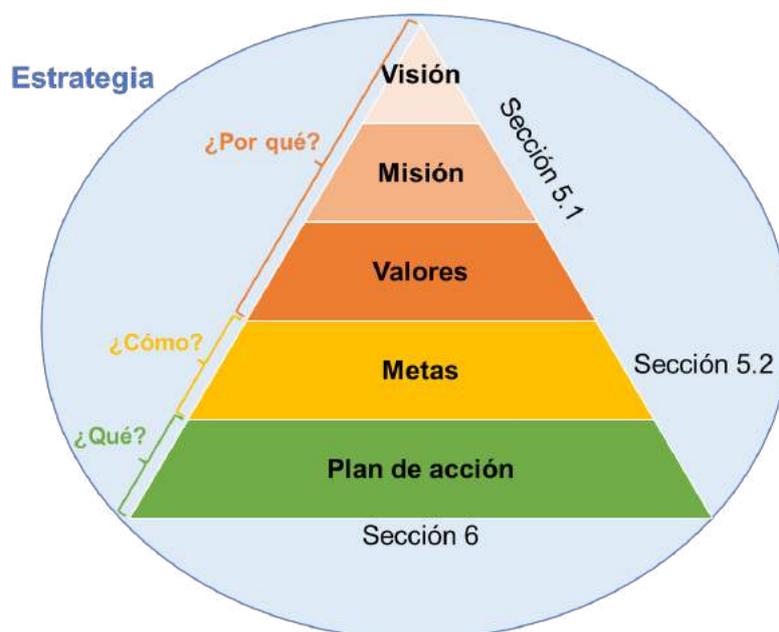


Figura 22 -Pirámide estratégica

Una estrategia país de hidrógeno verde, a través de un *journey* participativo

El proceso de elaboración de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en Costa Rica avanzó siguiendo un plan de Socialización que permitió recopilar el punto de vista de los actores en cada fase del codiseño de la estrategia a través de diversas actividades.

Entre las actividades se distinguen:

1. **Consultas:** se realizaron dos consultas durante la elaboración de la estrategia que marcaron el inicio y el final del plan de socialización. Estas consultas correspondieron a periodos de tiempo abierto en donde los actores podían emitir su opinión, primeramente, en una consulta preliminar en donde a través de un cuestionario se buscaba obtener información previa para comprender el ecosistema costarricense, sus necesidades y objetivos y por último una consulta pública en donde podían emitir comentarios con respecto a la estrategia.
2. **Talleres participativos:** el plan de socialización incluyó la realización de cuatro talleres en donde se crearon espacios de participación con actividades colaborativas para incentivar a los actores de los actores a intervenir y compartir sus ideas para la elaboración de la estrategia mediante dinámicas y herramientas digitales.
3. **Entrevistas:** se distinguen dos tipos de entrevistas durante el proceso, aquellas necesarias para recopilar inputs de cara a la elaboración de la estrategia, y un bloque de entrevistas estratégicas, en donde se identificaron asociaciones, entidades gubernamentales y representantes del sector privado con el objetivo de entender el posicionamiento estratégico con respecto al hidrógeno, las brechas u obstáculos que enfrenta Costa Rica y su visión del hidrógeno en el país.

4. **Comité de Proyecto:** se realizaron reuniones continuas a lo largo del proceso de elaboración de la Estrategia para realizar un seguimiento del proyecto, establecer próximos pasos, validar resultados y premisas.

En la Figura 24 Se puede apreciar gráficamente el proceso participativo en donde se realizaron dos consultas, cuatro talleres participativos, siete entrevistas estratégicas y seis entrevistas de inputs. Además, a lo largo del proyecto se mantuvieron reuniones de seguimiento (Comité de proyecto) con el objetivo de validar los avances, resultados y premisas de la estrategia.

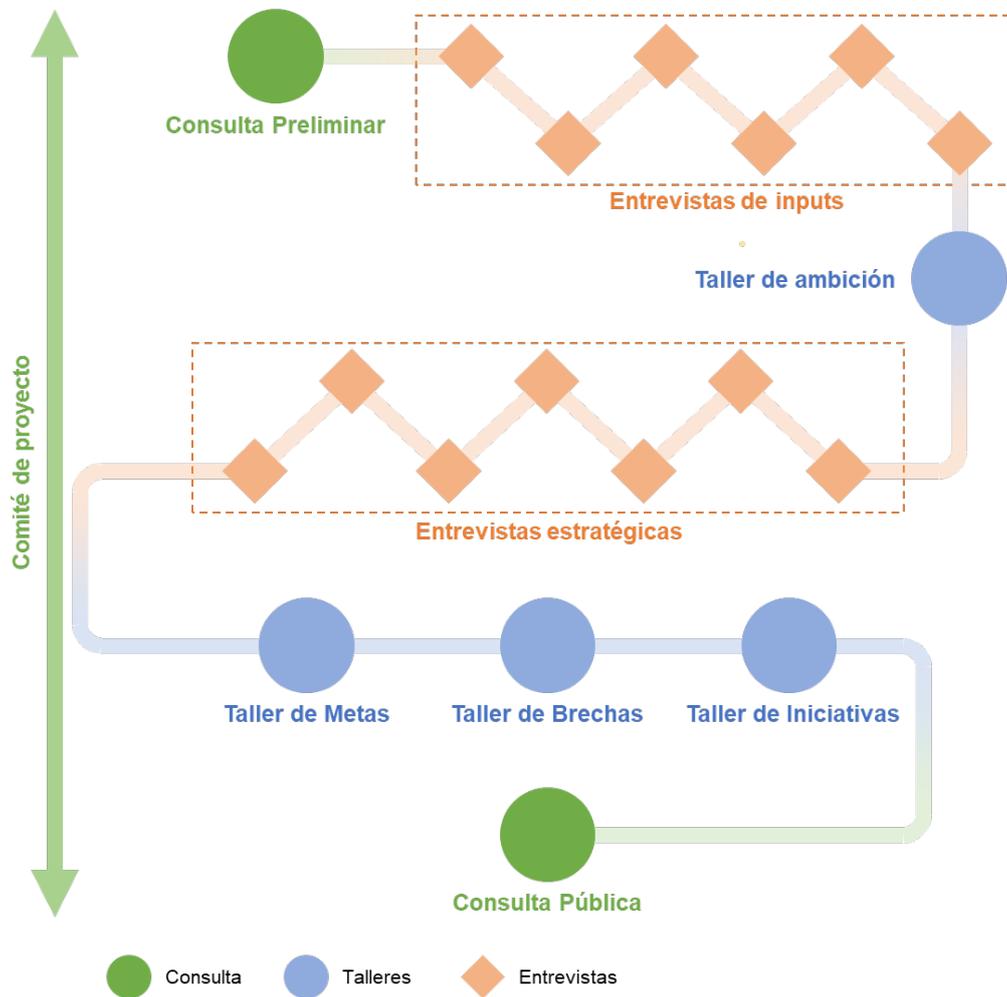


Figura 23. Plan de Socialización

Anexo 3. Mapeo de políticas, planes nacionales y marco regulatorio en Costa Rica

• **Plan Nacional de Energía 2015-2030 (actualización 2019-2030)**

El Plan Nacional de Energía 2015-2030 (PNE) (2015) es la política energética nacional de mediano plazo cuya orientación central es la sostenibilidad energética con bajo nivel de emisiones. En palabras de esta política, “se entiende que el país debe aspirar a contar con un Sistema Energético Nacional (SEN) con un bajo nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), basado en el uso de fuentes limpias y renovables, en condiciones de absorber los aumentos en la demanda de manera consistente, con precios lo más competitivos que sean posible en el entorno internacional y capaz de sustentar el bienestar de la mayoría de la población”.

El Plan Nacional de Energía 2015-2030, como instrumento de política pública, establece las acciones que el sector energía debe desarrollar en un horizonte de 15 años. Su conceptualización considera los objetivos sectoriales del Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 “Alberto Cañas Escalante” del año 2014, enfocados en fomentar las acciones frente al cambio climático global y suplir la demanda de energía del país mediante una matriz energética que asegure el suministro óptimo y continuo de energía. El plan también contempla los procesos de participación ciudadana que se desarrollaron durante el “Diálogo Nacional de Energía”, enfocados a considerar la diversidad de visiones y criterios sobre la realidad energética nacional de diversos actores sociales y económicos.

El VII PNE fue oficializado en la administración Solís Rivera (2014-2018) y durante la administración Alvarado Quesada 2019-2022 se decidió mantener su vigencia, actualizándolo y ajustándolo a las nuevas normativas, políticas y planes establecidos.

La actualización de este Plan se realizó considerando la articulación de diferentes políticas públicas y recomendaciones vinculadas a la planificación sectorial, entre ellas:

- Proceso de adhesión a la OCDE
- Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050
- Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022
- Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Público, Ley No. 9518 y sus reglamentos
- Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030
- Informes de la Contraloría General de la República

EL PNE está elaborado en siete ejes estratégicos, divididos en dos subsectores, el primero de ellos el subsector de electricidad y el segundo, el subsector de transporte y combustible.

a. Subsector electricidad:

Eje 1) En la senda de la eficiencia energética,

Eje 2) En procura de una generación distribuida óptima,

Eje 3) En ruta de la sostenibilidad de la matriz eléctrica y

Eje 4) En torno a la sostenibilidad del desarrollo eléctrico.

En el Eje 1) del PNE 2015-2030 se definió siete objetivos estratégicos, uno de ellos, el 1.4 “Optimizar la eficiencia energética en la oferta” estableció como objetivo específico evaluar la posibilidad de almacenamiento de energía (OE. 1.4.4) en el cual se determinó como una de sus acciones la de elaborar un estudio de opciones para sistemas de almacenamiento de energía, incluyendo el hidrógeno. Resultado de este objetivo, la Universidad de Costa Rica elaboró para el MINAE/SEPSE el “Estudio sobre viabilidad de opciones para almacenamiento de energía” (2018).

Posteriormente, mediante la actualización del PNE 2019-2030 se definió la acción 1.4.2.1 para determinar la necesidad de un marco regulatorio para almacenamiento de energía y la acción 1.4.2.2 para implementar proyectos de almacenamiento de energía en los sistemas de distribución.

b. Subsector transporte y combustible:

Eje 5) Hacia una flota vehicular más amigable con el ambiente,

Eje 6) Con miras a un transporte público sostenible

Eje 7) En la ruta hacia combustibles más limpios.

Para el subsector transporte y combustible, el PNE 2015-2030 estableció en su Eje 5) el objetivo estratégico 5.2 “Modernizar la flota vehicular” donde definió como objetivo específico crear las condiciones técnicas y normativas para la diversificación tecnológica del parque vehicular (OE 5.2.3) cuya acción señaló que debía “Elaborar una hoja de ruta para la incorporación de nuevas tecnologías (híbridos, vehículos eléctricos, GLP, gas natural, hidrógeno, entre otros) en el sector transporte”.

Posteriormente en el PNE 2019-2030 sobre el mismo Eje 5 se modificó el objetivo 5.2.3 señalando en esta oportunidad la Introducción de fuentes de energía alternativas en el transporte de carga cuyas acciones establecieron “Elaborar estudios de viabilidad financiera y tecnológica para la electrificación del transporte de carga mediante vehículos de hidrógeno en el corto y mediano plazo” (5.2.3.1) e “Implementar proyectos piloto con tecnologías alternativas de transporte de carga (electrificación e hidrógeno) (5.2.3.2).

Adicionalmente, el Eje 7) del PNE 2015-2030 se definió su objetivo estratégico 7.3 “Diversificar la matriz energética” objetivo que determinó la necesidad de impulsarla diversificación de la matriz energética por medio de la incorporación paulatina de energías alternativas o bajas en emisiones. En este marco, se estableció el objetivo específico 7.3.5 “Fomentar la investigación sobre producción y uso de combustibles

alternativos (hidrógeno y otros)” en el cual se definió que debía establecerse programas y proyectos de investigación.

Posteriormente, en el PNE 2019-2030 actualizó el objetivo 7.3.5 señalando que para la planificación actual, se realizaría una “Incorporación de combustibles alternativos en la matriz eléctrica” indicando 3 acciones para este fin, la primera 7.3.5.1 Promover la investigación de combustibles alternativos, 7.3.5.2 Impulsar la habilitación de Recope en la incursión de energías alternativas y 7.3.5.3 Implementar el plan de acción interinstitucional para propiciar el uso de hidrógeno para el sector transporte.

Desde 2015 Costa Rica ha descrito en su visión de largo plazo la posible incorporación del hidrógeno como un elemento de importancia en el proceso de transformación del sector energía y transporte.

- **Plan de Descarbonización 2018-2050**

Mediante el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (2019), Costa Rica definió la meta de ser una economía con emisiones netas cero en el 2050 mediante 10 ejes de descarbonización y 8 estrategias transversales. Estas acciones se presentan en tres etapas, a) etapa inicial (2018-2022), b) etapa de inflexión (2023-2030) y c) etapa de normalización del cambio o despliegue masivo (2031-2050).

En esta propuesta, se plantea en el Eje 1) “Desarrollo de un sistema de movilidad basado en transporte público seguro, eficiente y renovable y en esquemas de movilidad activa”, la acción para promover la descarbonización del sector transporte público a través de la electrificación y adopción de tecnologías cero emisiones, donde, una de sus metas para la etapa inicial (2018-2022) es justamente “Diseñar y oficializar la Hoja de Ruta para consolidación de clúster de hidrógeno”.

Puntualmente se definieron las siguientes actividades:

1.2.4 Diseñar un plan de Impulso al hidrógeno y otras tecnologías cero emisiones.

- Definir la Hoja de Ruta para consolidar un clúster de I+D en Hidrógeno
- Implementar el plan de acción interinstitucional para propiciar el uso del hidrógeno en el sector transporte.
- Realizar estudios de prefactibilidad de los proyectos clave identificados, definir modelo de negocio
- Diseño del piloto con buses públicos de hidrógeno
- Dar a conocer las lecciones en materia de costos, rendimiento e infraestructura.

Para la etapa de inflexión (2023-2030) y en la ruta de implementar un plan transformativo para escalar el transporte público urbano cero emisiones, se plantea “establecer un proceso para evaluar opciones tecnológicas innovadoras, entre ellas, definir una visión transformativa a escala para futuros usos de hidrógeno y pilas de combustible como complemento de otras tecnologías cero emisiones”.

En la misma línea de subsector transporte pero en el Eje 2) “Transformación de la flota de vehículos ligeros a cero emisiones, nutrido de energía renovable, no de origen fósil” y en el Eje 3) “Fomento de un transporte de carga que adopten modalidades, tecnologías y fuentes de energía hasta lograr las emisiones cero o las más bajas posibles”, se propone trabajar en la línea de crear una red de recarga eléctrica a lo largo del país y con

infraestructura complementaria para tecnologías cero emisiones como es el caso de las estaciones de hidrógeno.

Aún en esta etapa de inflexión (2023-2030), se plantea lo siguiente:

- Elaborar estudios de viabilidad financiera y tecnológica para la electrificación del transporte de carga mediante vehículos de hidrógeno en el corto y mediano plazo.
- Implementar proyectos piloto con tecnologías alternativas (Electrificación e Hidrógeno para transporte de carga).

El Plan Nacional de Descarbonización enfoca sus esfuerzos en materia de hidrógeno a la transformación del subsector transporte, tanto para transporte público, vehículos ligeros como vehículos de carga.

Esta política también contempla una estrategia transversal que promueve una modernización de la institucionalidad costarricense, donde la Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope) adquiere relevancia en el análisis de las ventajas y desventajas del uso de los biocombustibles y un análisis del uso del hidrógeno en distintas aplicaciones.

- **Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030**

El Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 (2018) tiene como objetivo promover la transición hacia una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética nacional, mediante la electrificación del transporte en todos sus modos. Esta política pretende mejorar la calidad del aire en zonas urbanas, logrando con ello mejores condiciones en la salud pública al tiempo que se contribuye con las políticas de descarbonización del país.

El PNTE no incluye acciones específicas en materia de hidrógeno, sin embargo, se adhiere al Eje 5 del PNE antes mencionado.

Vinculación con el marco regulatorio

- **Decreto Ejecutivo N° 43366-MINAE “Política para el aprovechamiento de los recursos excedentes en el Sistema Eléctrico Nacional para el desarrollo de una economía de hidrógeno verde”**

El Decreto Ejecutivo N°43366-MINAE (2021) está orientada al establecimiento de instrumentos regulatorios que incentiven el desarrollo de una economía de hidrógeno verde como parte de los esfuerzos país en la descarbonización de su matriz energética, el cambio e introducción de tecnologías que utilicen fuentes de energía renovables y bajas en emisiones considerando la reactivación económica.

El aprovechamiento de los recursos existentes en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) para el desarrollo de una economía de hidrógeno verde es un mecanismo que busca promover la descarbonización, esto con el fin de que las empresas distribuidoras de electricidad hagan un mejor uso de los recursos excedentes, entendiéndose por excedente “la capacidad ociosa existente, una vez atendida la demanda y criterios de seguridad operativa según las mejores prácticas internacionales”.

Esta política concluye la existencia de capacidad excedente de generación cercana a los 917,4 GWh/año que, por limitaciones de mercado, de infraestructura o de baja demanda del mercado nacional o del Mercado Eléctrico Regional (MER) no son utilizados y por tanto, pueden ser utilizados por las empresas distribuidoras para generar una demanda adicional: la producción de hidrógeno verde.

Al respecto, esta política establece:

Objetivo general

El objetivo general de esta política es establecer las orientaciones necesarias para el desarrollo de un marco regulatorio flexible por parte de la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP), que facilite a las empresas prestadoras del servicio de electricidad aprovechar sus excedentes del SEN, mediante su gestión comercial, a fin de aplicar a la demanda incremental originada en nuevas operaciones electro intensivas involucradas en la producción de hidrógeno verde.

Lineamientos estratégicos.

- Establecer instrumentos regulatorios flexibles y apropiados que busquen incentivar la demanda incremental en el aprovechamiento de los recursos existentes en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
- Propiciar la absorción de los excedentes del SEN mediante la gestión operativa y comercial de los excedentes por parte de las empresas distribuidoras.
- Desarrollar los instrumentos y vigilar el cumplimiento de esta política.

• Directriz 002-MINAE

En 2018 el Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE) estableció la Directriz 002-MINAE del 08 de mayo 2018 donde se “Establece acciones articuladas en las instituciones del sector ambiente y energía a efectos de desarrollar acciones para propiciar la investigación, la producción y la comercialización del hidrógeno como combustible”. Dicha directriz instruye a las instituciones que comprenden el sector de ambiente y energía para que, dentro del marco de sus competencias, desarrollen un plan de acción a fin de propiciar la investigación, la producción y la comercialización del hidrógeno como combustible. Su alcance es para el sector público (instituciones del sector ambiente y energía).

La Directriz 002-MINAE generó la conformación de la Comisión de Hidrógeno y de ahí la elaboración del “Plan de acción interinstitucional para propiciar el uso de hidrógeno en el sector transporte” que detallaremos más adelante.

Desde el análisis diagnóstico elaborado por la Comisión de Hidrógeno se concluyó lo siguiente respecto a las limitaciones que la investigación, producción y comercialización del hidrógeno tienen en Costa Rica:

- a) En Costa Rica no se cuenta con la normativa técnica necesaria para certificar la calidad y la seguridad a lo largo de los procesos de producción, almacenaje, distribución del hidrógeno como vector energético.
- b) La producción de hidrógeno mediante electrólisis del agua significa para Costa Rica superar una serie de retos:

- o Dotar del marco legal y normativo requerido a las instituciones y empresas del sector energía para habilitarlas en la investigación, producción y comercialización del hidrógeno.
- o Encontrar opciones viables para la producción del hidrógeno por electrólisis.
- o Encontrar opciones viables económicamente para su almacenamiento y distribución.

La valoración antes indicada fue elaborada en 2018, no obstante, las condiciones indicadas en aquel momento aún pueden ser consideradas como brechas del hidrógeno para Costa Rica en 2022.

- **Ley No. 9518 Ley de incentivos y promoción al transporte eléctrico y Proyecto de Ley 21.465 “Ley de incentivos al transporte verde (Reforma al capítulo III de la Ley de incentivos y promoción para el transporte eléctrico)”**

La Ley No. 9518 (2022) data de 2018 y su objetivo es crear el marco normativo para regular la promoción del transporte eléctrico en el país y fortalecer las políticas públicas para incentivar su uso dentro del sector público y en la ciudadanía en general. Como vehículo eléctrico se definió lo siguiente:

“b) Vehículo eléctrico: todo bien mueble impulsado con energía cien por ciento eléctrica o con tecnología de cero emisiones y que no contenga motor de combustión, nuevo, en su versión de automóviles, motocicletas, bicicletas, microbuses, buses, trenes y cualquier otro definido en el reglamento de esta ley.”

Esta Ley fijó originalmente incentivos por un plazo de cinco años, por tal motivo, nace el proyecto de ley 21.465 (2022) que pretende, entre otras cosas, ampliar el periodo de aplicación de dichos incentivos a los vehículos eléctricos.

Anexo 4. Fuentes de Información

Para el desarrollo de esta Estrategia se han analizado más de 19 documentos además de múltiples reuniones con los principales actores del sector energético de Costa Rica (MINAE, MOPT, SEPSE, BID, CRUSA, ICE, MIDEPLAN, ARESEP, RECOPE, etc.) para obtener inputs técnicos adicionales para la elaboración de la Estrategia. A continuación, se muestra un resumen de la información que ha servido como fuente de datos y como referente metodológico para la creación de esta Estrategia:

1. Planes nacionales

- Plan de acción interinstitucional para propiciar el uso del hidrógeno en el sector transporte, (2018)
- Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, (2019)
- Plan Nacional de Energía 2015-2030, (2015)
- Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 (2019)
- Plan nacional de Transporte 2011-2035, (2011)
- Modelado del Plan Nacional de Energía y análisis de impactos sobre el sector energético y eléctrico, (2020)
- Costos y Beneficios de la Descarbonización de la economía de Costa Rica, (2020)

2. Balance energético

- Balance energético Nacional 2020, (2021)
- Cuarta Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, (2021)

3. Demanda

- Informe de evaluación del ciclo de vida de los vehículos eléctricos (hidrógeno y baterías), (2020)
- Informe del análisis de costo total de posesión de los vehículos eléctricos y escenarios de penetración, (2020)
- Hoja de ruta para el despliegue de infraestructura de recarga de hidrógeno, (2020)
- Estudio de mercado para la identificación del potencial de Costa Rica de Adopción y Producción de Hidrógeno y su impacto macroeconómico (2021)

4. Producción

- Análisis del mercado global de hidrógeno verde: el potencial de participación de Costa Rica en dicho mercado y estimaciones asociadas a su impacto macroeconómico, (2021)
- Informe de atención de demanda y producción de energía con fuentes renovables 2021, (2022)
- Plan de Expansión de la Generación Eléctrica 2020-2035, (2021)

5. Guías para elaboración de estrategia nacional

- Guía para la Elaboración de Políticas Públicas, (2016)
- Metodología para Elaborar el Plan Nacional Sectorial, (2021)
- Metodología para Elaborar el Plan Estratégico Nacional, (2021)
- Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes (Ej. de estrategia con metodología de MIDEPLAN), (2021)